

¹С. В. Іващенко, канд. техн. наук, доц.,

¹Г. Г. Лобачова, асп.,

²В. Ф. Мазанко, д-р техн. наук

ФОРМУВАННЯ ЗМІЦНЕНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ НА ЗАЛІЗІ ПОШАРОВИМ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ЛЕГУВАННЯМ

¹Національний технічний університет України «КПІ»,

lgg22@ukr.net, ivashchenko@kpm.ntu-kpi.kiev.ua

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

Досліджено мікроструктура, мікротвердість та фазовий склад легованих шарів, отриманих на поверхні заліза пошаровим електроіскровим легуванням анодами з Zr, Ti, Cr, Fe та вуглецю в різних насичувальних атмосферах (пропан-бутан, повітря). Установлено, що пошарове електроіскрове легування зумовлює утворення зміцнених легованих зон протяжністю до 0,1 мм з підвищеною мікротвердістю (7–10 ГПа), які можуть бути використані в парах тертя.

Вступ. Важливим завданням сучасного машинобудування є підвищення довговічності та надійності робочих поверхонь деталей машин та механізмів, що працюють в умовах тертя. Одним із способів розв'язання цієї проблеми є вдосконалення наявних технологій зміцнення та підвищення експлуатаційних характеристик виробів методами високоенергетичної обробки. До таких методів належить електроіскрове легування (ЕІЛ) [1 – 5], яке дозволяє створювати зміцнені покриття з унікальним комплексом фізико-механічних властивостей з використанням будь-яких електропровідних матеріалів. Існуючі літературні джерела містять недостатньо інформації про процеси пошарового формування легованої зони методом ЕІЛ окремими елементами в насичувальних середовищах [2]. За допомогою такої обробки поверхонь можна створити зміцнені поверхневі шари, стійкі до зносу. Тому становить інтерес варіювання легувальними електродами з різних елементів при нанесенні їх методом пошарового ЕІЛ для підвищення поверхневої твердості та зносостійкості.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є дослідження впливу матеріалів легувальних електродів (анодів) та послідовності їх нанесення на структуру, фазовий склад та мікротвердість леґо-

ваної зони заліза після пошарового ЕІЛ у різних міжелектродних середовищах (повітря та пропан-бутан).

Дослідження поверхні зразків після пошарового ЕІЛ проводилося мікроструктурним, мікродюрOMETричним та фазовим рентгеноструктурним аналізом. Зразки Fe-армко обробляли Zr, Ti, Cr, Fe та вуглецевим анодами на установці “Елітрон-22” за струму розряду 2,5 – 3 А, напруги в міжелектродному проміжку 60 – 70 В, частоти механічних коливань 50 Гц, тривалості обробки окремим електродом 3 хв.

Процес пошарового ЕІЛ з проміжною стадією легування вуглецем в атмосфері, що містить вуглець у послідовності Zr–C–Zr, зумовлює виникнення поверхневих легованих шарів з підвищеною мікротвердістю до 9 ГПа (рис. 1). За даними рентгенофазового аналізу у поверхневому шарі спостерігаються фази: Zr, γ -Fe та карбід ZrC. Наявність залишкового аустеніту може свідчити про насичення заліза вуглецем та проходження процесу гартування під час надшвидкого охолодження.

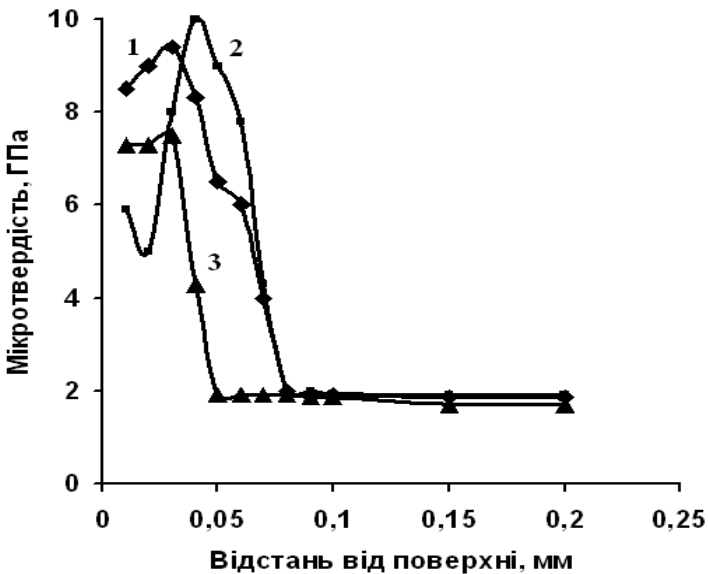


Рис. 1. Розподіл мікротвердості в поверхневій зоні заліза методом пошарового ЕІЛ: 1 – Zr–C–Zr (у пропан-бутані); 2 – Ti–C–Ti (у пропан-бутані); 3 – Zr–Fe–Zr (на повітрі)

Пошарове ЕІЛ заліза у послідовності Ti–C–Ti збільшує мікротвердість легованої зони до 10 ГПа (рис. 1). У поверхневому шарі виявлено γ -Fe, інтерметалід Fe_2Ti , карбід TiC.

Проміжна стадія ЕІЛ вуглецевим електродом та наявність міжелектродного середовища, що містить вуглець, приводять до насичення ним поверхні зразка. Оскільки ЕІЛ вуглецем здійснювалося після попереднього нанесення сильного карбідоутворювального елемента (Ti або Zr), то це може сприяти формуванню на залізі шарів з підвищеною кількістю дрібнодисперсних карбідів легувальних елементів, що збільшує мікротвердість, а отже, й зносостійкість.

Для підвищення адгезії нанесеного шару цирконію, який утворює із залізом твердий розчин обмеженої розчинності, проводилося пошарове ЕІЛ у послідовності Zr–Fe–Zr на повітрі. Після такої обробки мікротвердість поверхнього шару становила 7,4 – 7,6 ГПа (рис. 1), а протяжність зміцненої зони – 0,035 мм. У легованому шарі виявлено фази: Zr, Fe, ZrN та ZrO_2 , Fe_2O_3 . У разі ЕІЛ на повітрі характер та інтенсивність формування легованого шару визначаються здатністю матеріалу електродів розчиняти кисень та азот повітря. Якщо залізо обробляти Fe-анодом [2], відбувається взаємна розчинність матеріалу катода та анода, що приводить до зменшення окрихчення та руйнування нанесеного шару. Отримане покриття буде мати високу адгезію до поверхні, оскільки до складу легованого шару входить елемент, ідентичний матеріалу основи.

Почергове ЕІЛ Ti–Cr–Ti–Cr в атмосфері пропан-бутану зумовлює створення на поверхні заліза легованої зони протяжністю до 0,05 мм з мікротвердістю 7–7,7 ГПа (рис. 2). Рентгенофазовим аналізом виявлено фази: Cr, α -Ti, а також інтерметалід Cr_2Ti .

У разі пошарового легування в послідовності Ti–Cr–Ti–Cr за високих температур утворюються необмежені розчини Ti та Cr, що сприяє адгезійній міцності легованого шару. Почергове нанесення цих елементів призводить до виникнення в легованій зоні ділянок Ti, збагачених Cr, та ділянок Cr, збагачених Ti. Оскільки в процесі ЕІЛ відбувається насичення поверхневих шарів вуглецем, то можна припустити, що поєднання сильного карбідоутворювального елемента (Ti) та менш схильного до утворення карбідів елемента (Cr) зумовлює формування поверхневої легованої зони, крихкість якої буде невисокою.

У випадку пошарового ЕІЛ на повітрі перехідними металами у послідовності Zr–Ti–Zr–Ti на поверхні залізного зразка утворюється легований шар з мікротвердістю до 7,9 ГПа (рис. 2).

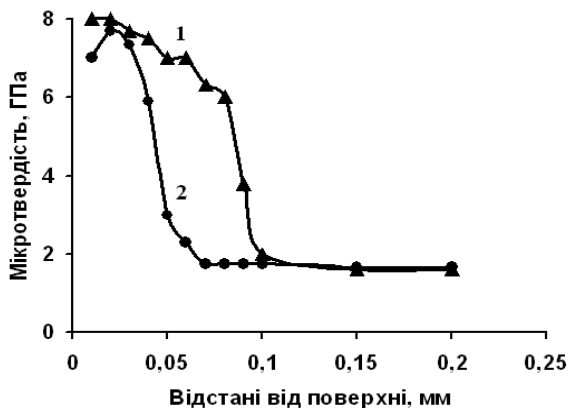


Рис. 2. Розподіл мікротвердості в поверхневій зоні заліза методом пошарового ЕІЛ: 1 – Zr–Ti–Zr–Ti (на повітрі); 2 – Ti–Cr–Ti–Cr (в пропан-бутані)

Отримане покриття має такий фазовий склад: Zr, Ti, Fe, ZrN, TiO₂, Fe₂Ti, FeO. Послідовне легування Ti та Zr приводить до утворення неперервного ряду твердих розчинів компонентів, що відповідає подвійній діаграмі стану. Тому отримана зона легування не повинна мати тенденції до розшаровування та виникнення тріщин. При ЕІЛ на повітрі може відбуватися іонізація молекул азоту та насичення ними твердих розчинів Ti та Zr. Розчинення азоту у твердому розчині в процесі надшвидкого охолодження спричинить виділення дисперсних частинок нітриду легувальних елементів. Оскільки взаємна розчинність Ti та Zr в Fe досить низька (до 0,15 %), то з охолодженням розплаву виділятимуться інтерметалідні фази Fe₂Zr, Ti₂Fe та TiFe. Отже, обробка сильними нітридоутворювальними елементами, які між собою утворюють твердий розчин необмеженої розчинності та обмеженої розчинності з матеріалом основи, спричиняє зміцненню поверхні внаслідок формування нітридів та інтерметалідів.

У процесі ЕІЛ відбуваються складні процеси нагрівання, розплавлення, механічного перемішування та дифузії матеріалів елек-

тродів, у результаті чого можуть виникати пересичені тверді розчини і фази, які відрізняються від твердих розчинів і фаз, що відповідають діаграмі рівноважного стану. Це зумовлено високою температурою нагрівання і надвисокими швидкостями охолодження під час обробки. В цьому випадку можуть утворюватися локальні ділянки, в яких легувальні елементи розподілені нерівномірно. Підвищений вміст дрібнодисперсних карбідів, що утворилися при обробці у вугленасичувальному середовищі або внаслідок ЕІЛ вуглецевим анодом, сприятиме виникненню високих внутрішніх напружень. Наявність локальних ділянок з підвищеним вмістом карбідоутворювальних елементів у результаті надасть поверхневому шару високої адгезійної міцності, твердості та зносостійкості.

Висновки. Установлено, що поширене ЕІЛ призводить до виникнення поверхневих легованих шарів підвищеної мікротвердості (7 – 10 ГПа) з протяжністю зміцненої зони (0,07 – 0,1 мм). Електроискрове легування сильними карбідоутворювальними елементами у вуглецевому насичувальному середовищі дає змогу створювати леговані шари з високими триботехнічними характеристиками за рахунок дрібнодисперсних твердих карбідних, нітридних частинок, що виділилися в твердих розчинах необмеженої розчинності. Запропонована обробка може бути використана для пар тертя.

Список літератури

1. *Самсонов Г.В.* Электроискровое легирование металлических поверхностей / Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С. – К.: Наук. думка, 1976. – 220 с.
2. *Подчерняева И.А.* Влияние послойного электроискрового легирования на свойства композиционного электролитического покрытия системы Ni – В / Подчерняева И.А., Тепленко М.А., Костенко А.Д., Гусиленко Ю.А., Костенко В.К., Уваров И.В. // Порошковая металлургия. – 2004. – № 1/2. – С. 42 – 46.
3. *Михайлюк А.И.* Уменьшение шероховатости электроискровых покрытий при последующей обработке графитовым электродом / Михайлюк А.И. // Электронная обработка материалов. – 2003. – № 3. – С.21– 23.
4. *Михайлюк А.И.* Формирование износостойких гафитизированных слоев на поверхности деталей из сплавов железа и титана методом электроискрового легирования / Михайлюк А.И. // Металловедение и термическая обработка. – 2000. – № 7. – С. 23 – 26.

5. Михайлюк А.И. Превращение в поверхностных слоях сплавов железа при электроискровом легировании / Михайлюк А.И., Гитлевич А.Е., Иванов А.И., Фомичёва Е.И., Димитрова Г.И., Грипачевский А.Н. // Электронная обработка материалов. – 1986. – № 2. – С. 23 – 27.

УДК 621.9.048.4

Иващенко Е.В., Лобачёва Г.Г., Мазанко В.Ф. **Формирование упрочненных поверхностных слоев на железе послойным электроискровым легированием**// Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2009. – Вип. 52. – С.210–215.

Исследованы микроструктура, микротвердость и фазовый состав легированных слоев, полученных на поверхности железа методом послойного электроискрового легирования анодами из Zr, Ti, Cr, Fe и углерода в различных насыщающих атмосферах (пропан-бутан, воздух). Установлено, что послойное электроискрового легирования приводит к образованию упрочненных легированных зон протяженностью до 0,1 мм с повышенной микротвердостью (7–10 ГПа), которые могут быть использованы в парах трения.

Рис.: 2, список літ.: 5 найм.

Ivashchenko Ie.V., Lobachova G.G., Mazanko V.F. **Formation of hardening surface layers on iron by layer-by-layer Electric-spark alloying**

The microstructure, microhardness and phase composition of alloyed layers obtained on the iron surface by layer-by-layer Electric-spark alloying (ESA) by Zr, Ti, Cr, Fe and carbon anodes in different saturated atmospheres (in propane-butane, in air) were investigated. It was established that the layer-by-layer ESA leads to the formation hardened alloyed zones to 0.1 mm length with high microhardness (7 - 10 GPa) which can be used on friction pairs.

Стаття надійшла до редакції 19.10.09.