

Формування поверхневого зміцненого шару при хіміко-термічній обробці заліза, поєднаній з електроіскровим легуванням

Є.В. Іващенко, кандидат технічних наук

Г.Г. Лобачова

В.Ф. Мазанко*, доктор технічних наук

Національний технічний університет України "КПІ", Київ

*Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Київ

Досліджено структуру поверхневих шарів заліза, отриманих при комплексній обробці, яка включала електроіскрове легування цирконієм, титаном, хромом на повітрі, в атмосфері пропан-бутану та хіміко-термічну обробку – азотування. Встановлено підвищення мікротвердості легованих шарів до 5,5 – 12,0 ГПа. Виявлено збільшення проникнення цирконію вглиб матеріалу основи до 200 мкм.

Одним з методів підвищення надійності та довговічності деталей машин та інструменту є обробка поверхні виробів концентрованими потоками енергії. Електроіскрове легування (ЕІЛ) дозволяє при використанні будь-яких електропровідних матеріалів отримувати локальні покриття, які мають підвищені фізико-механічні властивості та високу адгезію до основи [1, 2].

Останнім часом набула поширення розробка новітніх методів обробки поверхні шляхом поєднання декількох технологій зміцнення, зокрема, хіміко-термічної обробки (ХТО) [3] та ЕІЛ [4 – 5], але кількість інформації з цього питання обмежена.

У зв'язку з цим метою даної роботи є дослідження особливостей формування структури та властивостей поверхневої зони заліза при комплексній обробці ЕІЛ та ХТО. В роботі проведено ЕІЛ зразків армо-заліза цирконієм, титаном та хромом (з використанням відповідних анодів) в атмосфері пропан-бутану та на повітрі з подальшим проведенням ХТО (азотування). ЕІЛ здійснювали на установці "Елітрон-22" ($I = 2 \text{ А}$, $U = 60 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$, $t = 3 \text{ хв}$). Азотування відбувалося в атмосфері 20 % аміаку + 80 % аргону при температурі 853 К (580 °С) протягом двох годин. Дослідження поверхневих шарів проводили методами мікроструктурного, мікродюрOMETричного, локального мікрорентгено-спектрального, рентгеноструктурного аналізу та растрової електронної мікроскопії.

У поверхневих зонах заліза після ХТО з попереднім ЕІЛ на повітрі цирконієм виявлені фази: Zr, α -Fe, ZrO₂, FeO, ZrN; при легуванні титаном – α -Ti, Fe₂Ti, TiN, Fe₄N; при легуванні хромом – α -Fe, FeCr, Fe₃O₄, Cr₂O₃, Fe₄N.

МікродюрOMETричним аналізом було встановлено, що після ЕІЛ заліза цирконієм, титаном та хромом на повітрі поверхнева мікротвердість становить 8,0 ГПа, 6,0 ГПа та 4,0 ГПа відповідно. Подальша ХТО призводить до зростання поверхневої мікротвердості при попередньому ЕІЛ цирконієм до 10,0 ГПа, титаном до 9,5 ГПа, хромом до 5,5 ГПа (рис. 1).

Після азотування зразків, які пройшли ЕІЛ в атмосфері пропан-бутану, рентгенівським аналізом були виявлені фази: при легуванні цирконієм – Zr , ZrC , Fe_4N ; титаном – α - Ti , Fe_2Ti , TiC , Fe_4N ; хромом – $FeCr$, Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , Fe_4N .

Проведення ЕІЛ у газовому середовищі, що містить вуглець (пропан-бутані), без наступної ХТО призводить до підвищення значень поверхневої мікротвердості отриманих шарів до 8,5 ГПа (при ЕІЛ цирконієм), 7,3 ГПа (при ЕІЛ титаном) та 4,5 ГПа (при ЕІЛ хромом). Мікротвердість легованої зони заліза при комплексній обробці ЕІЛ титаном азотування досягає 12,0 ГПа, при ЕІЛ цирконієм та азотування

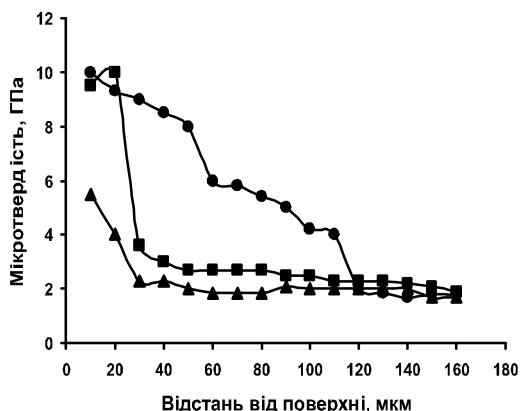


Рис. 1. Мікротвердість заліза після ЕІЛ на повітрі та азотування. а – цирконієвий анод (●); б – титановий анод (■); в – хромовий анод (▲).

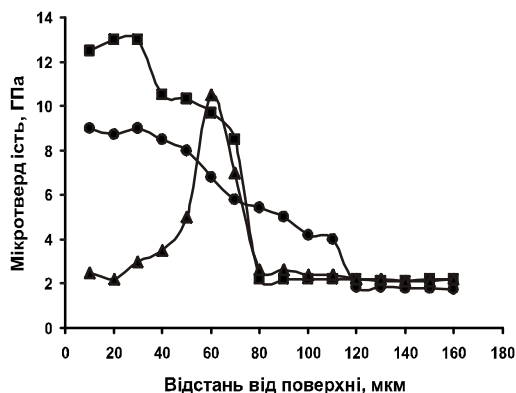


Рис. 2. Мікротвердість заліза після ЕІЛ в пропан-бутані та азотування. а – цирконієвий анод (●); б – титановий анод (■); в – хромовий анод (▲).

– 9,0 ГПа (рис. 2). При попередньому ЕІЛ хромом максимального значення (10,5 ГПа) мікротвердість досягає на відстані 60 мкм від поверхні.

Значне підвищення мікротвердості, на нашу думку, зумовлене виникненням локальних об'ємів, збагачених різною кількістю матеріалу легуючого електроду. При наступній ХТО ці області матимуть високу мікротвердість внаслідок виникнення включень нітриду легуючого елемента. Наявність таких локальних областей буде приводити до значних напружень в легованому шарі і до підвищення мікротвердості всієї поверхневої зони.

За допомогою растрової електронної мікроскопії поперечного шліфа зразка заліза після ЕІЛ цирконієм та азотування була виявлена складна будова легованого шару, перехідної області та азотованої зони. Під легованим шаром у α -твердому розчині заліза спостерігається виділення надлишкової фази у вигляді розорієнтованих "голок" різної довжини (від 10 до 80 мкм), товщина яких складає приблизно 3 – 5 мкм (рис. 3, 4). В межах певних областей ці "голочки" мають переважну орієнтацію. Така структура нагадує виділення γ' -фази в α -залізі при його азотуванні. Глибина азотованого шару, визначена за глибиною розповсюдження виділень, складає 190 – 220 мкм.

Мікрорентгеноспектральним аналізом виявлено характер розподілу цирконію та заліза у легованому шарі, перехідній області та дифузійній зоні заліза після комплексної обробки (ЕІЛ цирконієм на повітрі та азотування). Порівняння графіку концентраційних кривих (рис. 5) з фотографією мікроструктури (рис. 4) дозволило встановити, що світлотравленим "голкоподібним" виділенням надлишкової фази відповідає локальне підвищення концентрації цирконію. Як відомо, цирконій активно

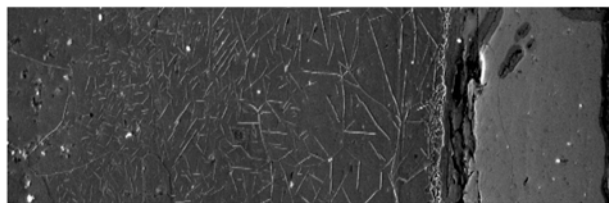


Рис. 3. Мікроструктура поверхні заліза після комплексної обробки ЕІЛ цирконієм в пропан-бутані та азотування.

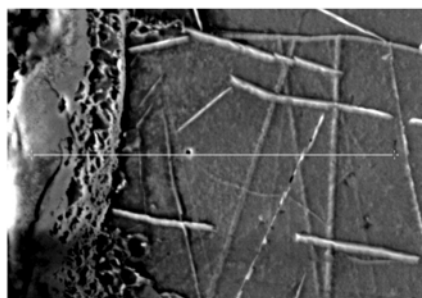


Рис. 4. Фрагмент мікроструктури поверхневої зони заліза після комплексної обробки ЕІЛ цирконієм на повітрі та азотування.

взаємодіє з вуглецем (при ЕІЛ в пропан-бутані) та азотом (при ЕІЛ на повітрі та азотуванні). Тому можна припустити, що в склад виділення входить нітрид, карбід або карбонітрид цирконію.

За даними мікрорентгеноспектрального аналізу області з підвищеним вмістом цирконію виявлені на відстані приблизно 200 мкм від границі розділу між легованою зоною та основою. Поясненням такої великої протяжності зони може стати наступне. В процесі ЕІЛ дія імпульсних розрядів спричиняє перемінне надшвидке розігрівання та охолодження поверхневих шарів зразка, результатом чого є виникнення періодичних знакоперемінних напружень в приповерхневій зоні, які спричиняють появу та переміщення дислокацій. Зміна дислокаційної структури в цих областях може призводити до значного підвищення дифузійної рухливості легуючого елемента (цирконію), концентрація якого на поверхні може досягати 100 %. Такому перебігу процесу сприяє те, що під час дії іскрового розряду цирконій на поверхні знаходиться одночасно у твердому, рідкому та іонізованому стані. Саме екстремальні умови процесу ЕІЛ, які викликають виникнення розвиненої дислокаційної структури та переміщення дислокацій вглиб зразка, можуть сприяти аномально високій швидкості дифузії атомів легуючого елемента. Наявність вуглецю в міжелектродному середовищі при ЕІЛ може додатково сприяти підвищенню значень напружень в поверхневих шарах легової зони.

В процесі наступного азотування, ймовірно, відбувається перерозподіл цирконію на дислокаціях, густина яких найбільша в зонах площин легкого ковзання. При взаємодії цирконію з вуглецем та азотом відбувається виникнення в цих ділянках області передвиділень (подібних до зон Гін'є-Престона) або дрібнодисперсних карбідів, нітридів, карбонітридів. Цьому процесу сприятиме й наявність "хмар Котрелла" біля скупчень дислокацій.

Таким чином встановлено, що ХТО заліза, поєднана з ЕІЛ цирконієм, титаном та хромом призводить до створення на поверхні зразка легованих

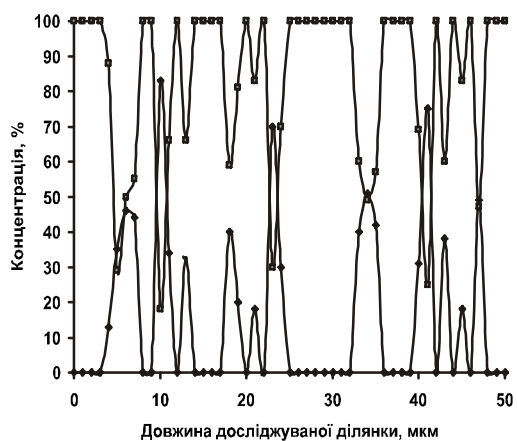


Рис. 5. Концентраційний розподіл елементів у поверхневій ділянці заліза після комплексної обробки ЕІЛ цирконієм на повітрі та азотування. —●— Zr, —■— Fe.

шарів підвищеної мікротвердості (5,5 - 12,0 ГПа). Виявлено ефект прискорення дифузії цирконію в залізі в результаті комплексної обробки ЕІЛ у пропан-бутані та азотування та його розподіл по "голчастим" виділенням на глибину до 200 мкм. Комплексна обробка ЕІЛ та ХТО може бути запропонована для поверхневого зміцнення деталей машин та механізмів, що працюють в умовах тертя.

Література

1. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Киев: Наук. думка, 1976. – 220 с.
2. Верхотуров А.Д., Муха И.М. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей. – Киев: Техніка, 1982. – 181 с.
3. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Шпис Г.-И. Теория и технология азотирования. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.
4. Михайлов В.В., Игнатьков Д.А., Пасинковский Е.А. Структурно-фазовые превращения и остаточные напряжения после комбинированного упрочнения стальных деталей электроискровым легированием и электролитной химико-термической обработкой // Электронная обработка материалов. – 1999. – № 3. – С. 4 – 9.
5. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Факторович А.А. Об эффекте увеличения глубины диффузии через поверхность, подвергнутую электроискровому легированию // Электронная обработка материалов. – 1991. – № 4. – С. 28 – 30.

Одержано 11.01.10

Е.В. Иващенко, Г.Г. Лобачова, В.Ф. Мазанко

Формирование поверхностного упрочненного слоя при химико-термической обработке железа, совмещенной с электроискровым легированием

Резюме

Исследована структура поверхностных слоев железа, полученных при проведении комплексной обработки, которая включала электроискровое легирование цирконием, титаном, хромом на воздухе, в атмосфере пропан-бутана и химико-термическую обработку – азотирование. Установлено повышение микротвердости легированных слоев до 5,5 – 12,0 ГПа. Выведено увеличение глубины проникновения циркония вглубь материала основы до 200 мкм.

E.V. Ivashchenko, G.G. Lobachova., V.F. Mazanko

The surface hardened layer formation a the chemical-heat treatment of iron, combined with electric-spark alloying

Summary

The iron surface layers, obtained during the complex processing that includes electric-spark alloying by zirconium, titanium, chromium in the air, in the atmosphere of propane-butane and chemical-heat treatment (nitriding) were studied by the microstructural, microhardness, X-ray analysis and scanning electron microscopy. Increasing of alloyed layers microhardness to 5,5 – 12,0 GPa was found. It was revealed the increasing zirconium penetration depth into the material base up to 200 μ m.