

УДК 621.9:539.219.3:534.2

Поверхнєве зміцнення сталі Ст. 3 шляхом створення багатокomпонентних електроіскрових покриттів з вольфраму, міді та графіту

Г. Г. Лобачова, кандидат технічних наук

Є. В. Іващенко, кандидат технічних наук

К. Є. Ігнасюк

Національний технічний університет України "КПІ", Київ

Встановлено можливість створення багатокomпонентних покриттів на сталі Ст. 3 в процесі послідовного електроіскрового легування вольфрамом, міддю, графітом та досліджено кінетику їх формування, мікроструктуру, мікротвердість та стійкість до зношування.

Актуальним напрямком сучасного матеріалознавства є пошук нових способів зміцнення сталевих поверхонь деталей машин та механізмів, які працюють в складних умовах, для підвищення їх надійності та строку служби.

Одним з перспективних та ефективних методів поверхневої обробки є електроіскрове легування (ЕІЛ), яке забезпечує формування локального покриття при використанні електродів з будь-яких струмопровідних матеріалів, є ресурсо- та енергозберігаючим процесом [1 – 3].

Зазвичай під час ЕІЛ застосовують компактовані електроди, що складаються переважно з карбідних або нітридних сполук [4]. Наявність у легуваному шарі одного типу фаз проникнення (карбідів або нітридів) не завжди задовольняє вимогам, що висуваються до покриттів у плані функціональності [4, 5]. Це викликає потребу у створенні багатокomпонентних покриттів з перемінним хімічним складом по їх товщині, що, в свою чергу, здійснює суттєвий вплив 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 погіршується створення покриття [2, 3, 6].

Зважаючи на це, як альтернативу, можна запропонувати почергове нанесення чистих матеріалів, ерозія яких значно перевищує ерозію

компактованих анодів, тим самим забезпечуючи ефективне формування покриття навіть за низьких енергетичних параметрів обробки.

Метою даної роботи є дослідження впливу послідовності пошарового нанесення елементів вольфраму, міді, графіту на кінетику формування, мікроструктуру, мікротвердість та стійкість до зношування поверхневих шарів сталі Ст. 3 після ЕІЛ у повітряному середовищі.

Для досягнення поставленої мети процеси ЕІЛ проводили у дві та три стадії нанесення вольфраму, міді та графіту, що відбувалися у різних послідовностях за технологічними схемами: W – С, W – Cu, С – W, С – Cu, Cu – С, Cu – W, W – С – Cu, W – Cu – С, С – W – Cu, С – Cu – W, Cu – С – W, Cu – W – С.

ЕІЛ відбувалось із застосуванням лабораторної установки «ЭЛИТРОН-26А» за струму розряду 2 А, напруги 60 – 70 В, амплітуди коливань аноду 50 ± 3 Гц, енергії розряду 1 Дж, тривалості одиничного імпульсу 200 мкс. Тривалість обробки на кожній стадії процесу складала 3 хв (з розрахунку 1 хв/см²).

Матеріалами легувальних електродів обрано вольфрам (до 99,9 % по масі), мідь (до 99,9 % по масі) та графіт (марка МПГ-6). Передбачалось, що під час взаємодії вольфраму та графіту утворюватиметься карбід WC, під час взаємодії заліза та міді, заліза та вольфраму – тверді розчини обмеженої розчинності або інтерметаліди, що дозволить створити покриття з високою твердістю [7]. Наявність міді в легованому шарі, яка не розчиняє вуглець, відіграватиме роль центра графітизації та сприятиме перебуванню деякої кількості графіту у вільному стані, що сприятиме підвищенню зносостійкості [8 – 9].

Кінетику формування покриттів в процесі ЕІЛ вивчали гравіметричним методом за сумарною зміною маси легувальних електродів (анодів) та сумарною зміною маси зразка (катода) після кожної хвилини обробки. Встановлено, що найбільший приріст маси катода спостерігається під час стадії легування міддю. Це можна пояснити найнижчою температурою плавлення міді (1083,4 °С) порівняно з іншими матеріалами обраних легувальних електродів – вольфрамом (3422 °С) та графітом (3547 °С). Отже, в результаті значної ерозії міді під час електроіскрового розряду забезпечується перенесення більшої кількості матеріалу аноду та збільшується ефективність формування покриття саме на даній стадії процесу на відміну від стадій легування вольфрамом та графітом.

Мікроструктурним аналізом встановлено, що одержані покриття є рівномірними по всій поверхні досліджуваних зразків. Їх товщина становить 10 – 15 мкм після двостадійної обробки та 15 – 20 мкм після трістадійної.

МікродюрOMETричний аналіз показав підвищення мікротвердості поверхневої зони сталі Ст. 3 після всіх проведених процесів, що можна пояснити інтенсивною взаємодією матеріалів обраних анодів (вольфрам, мідь, вуглець) між собою і матеріалу основи під час іскрового розряду, внаслідок чого утворюються тверді розчини обмеженої розчинності та карбіди.

Нові технологічні процеси і матеріали

Як видно з табл. 1, найвищі значення мікротвердості мають покриття, отримані в процесах послідовного нанесення вольфраму та графіту, при взаємодії яких виникає твердий карбід WC. Найменша мікротвердість зафіксована для мідно-вольфрамових покриттів. Зважаючи на те, що мідь та вольфрам не утворюють між собою сплавів, ймовірно, за екстремальних умов процесу ЕІЛ (надвисокі температури, великі швидкості нагрівання та охолодження, високі концентраційні градієнти, циклічна дія ударних хвиль) на сталевій поверхні могли з'явитись ділянки неоднорідні за хімічним складом, які містять матеріал анодів та заліза, що й приводить до зміцнення поверхні до 5,5 – 6,3 ГПа. Серединне положення за значеннями мікротвердості займають C – Cu та Cu – C покриття. В цьому випадку вуглець може взаємодіяти з матеріалом основи (залізом) з утворенням карбиду Fe₃C, а мідь виступатиме центром графітизації.

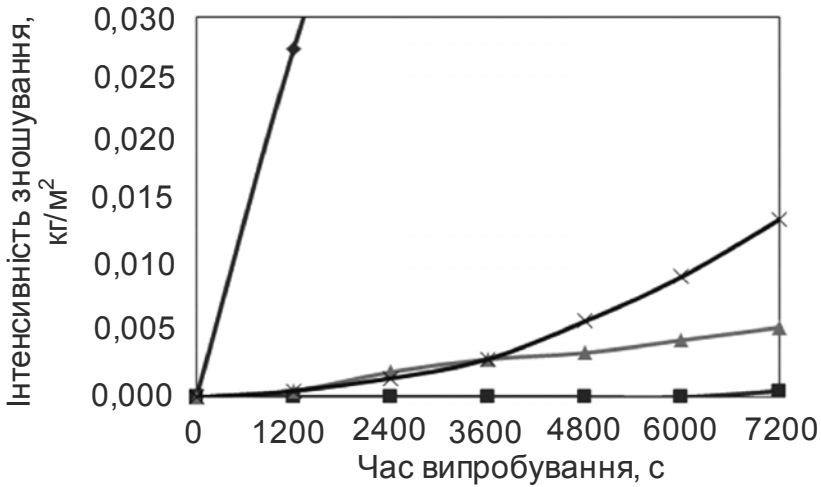
Таблиця 1

Мікротвердість покриттів після послідовного ЕІЛ

Двостадійне ЕІЛ		Тристадійне ЕІЛ	
Послідовність нанесення матеріалів	Мікротвердість покриття, ГПа	Послідовність нанесення матеріалів	Мікротвердість покриття, ГПа
W – Cu	5,5	C – W – Cu	6,7
Cu – W	6,3	C – Cu – W	7,0
C – Cu	7,8	W – C – Cu	7,4
Cu – C	8,2	W – Cu – C	8,3
C – W	9,3	Cu – C – W	8,6
W – C	12,0	Cu – W – C	9,9

Помічено, що після тристадійних процесів ЕІЛ вплив на значення мікротвердості здійснює послідовність нанесення матеріалів електродів, що застосовувалися на двох останніх стадіях обробки. При цьому тенденція до зростання мікротвердості в ряду покриттів W – Cu (Cu – W) – C – Cu (Cu – C) – C – W (W – C) зберігається.

Для порівняння стійкості до зношування одержаних покриттів проводили випробування зразків після ЕІЛ у послідовності W – Cu – C, C – W – Cu та Cu – C – W за умов сухого тертя-ковзання плоских поверхонь під навантаженням 4 кг протягом двох годин. Матеріалом контртіла слугувала гартована відпущена інструментальна сталь Р6М5. Інтенсивність зношування оцінювалася гравіметричним методом за втратою маси зразка через кожні 20 хвилин випробування з використанням лабораторних вагів AXIS AD 50. Аналіз кривих інтенсивності зношування (рисунок) показав, що найнижче значення серед випробуваних має покриття, отримане при послідовному нанесенні W – Cu – C. На нашу думку, це пов'язано з наявністю на поверхні графіту у вільному стані, який під час випробування виступає у ролі твердого мастила.



Криві інтенсивності зношування покриттів після тристадійного ЕІЛ та вихідної поверхні сталі Ст. 3 без обробки. —◆— Ст. 3 без обробки, —■— W – Cu – C, —▲— C – W – Cu, —×— Cu – C – W.

Щоб оцінити кількісну характеристику зносостійкості покриттів, знаходили співвідношення їх інтенсивності зношування до інтенсивності зношування зразка сталі Ст. 3 без покриття після загального часу випробувань (табл. 2). Як видно з таблиці, зносостійкість сталевих зразків з нанесеними покриттями після двох годин сухого тертя у кілька разів перевищує зносостійкість зразка без покриття.

Таблиця 2

Порівняння зносостійкості поверхні сталі Ст. 3 після тристадійного ЕІЛ за дві години випробувань за умов сухого тертя-ковзання

Послідовність нанесення матеріалів	Інтенсивність зношування, кг/м ²	Підвищення зносостійкості у порівнянні з поверхнею без ЕІЛ, рази
W – Cu – C	0,0005	240
C – W – Cu	0,0055	21,82
Cu – C – W	0,014	8,57
Сталь Ст. 3 (без покриття)	0,12	–

Висновки Виявлено вплив послідовності нанесення матеріалів анодів вольфраму, міді, вуглецю в процесі ЕІЛ на кінетику формування, структуру, мікротвердість та стійкість до зношування поверхневого шару сталі Ст. 3. Встановлено, що найвищу мікротвердість мають покриття, одержані під час ЕІЛ у послідовності W – C (12 ГПа) та Cu – W – C (9,9 ГПа) за рахунок утворення карбиду WC.

Найбільшу стійкість до зношування має покриття W – Cu – C через наявність у поверхневому шарі графіту, який під час випробування виступає у ролі твердого мастила.

Література

1. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Київ: Наукова думка, 1976. – 220 с.
2. Верхотуров А.Д., Подчерняева И.А., Прядко Л.Ф. Электродные материалы для электроискрового легирования. – М.: Наука, 1988. – 224 с.
3. Верхотуров А.Д., Муха И.М. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей. – Киев: Техніка, 1982. – 181 с.
4. Береснев В.М., Береснев В.М., Толоч В.Т. Некоторые аспекты повышения стойкости рабочих поверхностей трения // ФИП. – 2004. – 2, № 1 – 2. – С. 42 – 48.
5. Борисов Ю.С., Лабунец В.Ф., Сычев В.С. Триботехнические характеристики композиционных карбидных покрытий // Автоматическая сварка. – 2002. – № 2. – С. 56 – 58.
6. Гитлевич А.Е., Топала П.А., Снегирев В.А. Особенности электрической эрозии электродов при импульсных разрядах, протекающих в режиме недонапряжения // Электронная обработка материалов. – 2006. – № 4. – С. 60 – 66.
7. Мулин Ю.И. Особенности формирования структуры и свойства покрытий, нанесенных методом электроискрового легирования на сталь // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – № 4. – С. 60 – 66.
8. Михайлюк А.И., Гитлевич А.Е., Иванов А.И. Превращение в поверхностных слоях сплавов железа при электроискровом легировании // Электронная обработка материалов. – 1986. – № 2. – С. 23 – 27.
9. Михайлюк А.И. Формирование износостойких гафитизированных слоев на поверхности деталей из сплавов железа и титана методом электроискрового легирования // МиТОМ. – 2000. – № 7. – С. 23 – 26.

Одержано 16.12.15

Г. Г. Лобачёва, Е. В. Иващенко, Е. Е. Игнасюк

Поверхностное упрочнение стали Ст. 3 путем создания многокомпонентных электроискровых покрытий из вольфрама, меди и графита

Резюме

Установлена возможность создания многокомпонентных покрытий на стали Ст. 3 в процессе последовательного электроискрового легирования вольфрамом, медью, графитом и исследованы кинетика их формирования, микроструктура, микротвердость и стойкость к износу.

G. G. Lobachova, Ie. V. Ivashchenko, Ie. Ie. Ihnasyuk

Surface hardening of steel mark 3 by multi-components electric-spark coatings creation of tungsten, copper and graphite

Summary

The possibility of multi-components coatings creating on steel Mark 3 at successive Electric-spark alloying by tungsten, copper, graphite was found and kinetics of their formation, microstructure, microhardness and resistance to wear were investigated.