МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО І РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

УДК 621.9.048.4

СТВОРЕНЕННЯ ЗМІЦНЕНИХ ПОКРИТТІВ НА НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВІЙ СТАЛІ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ У СЕРЕДОВИЩАХ ЗМІННОГО СКЛАДУ

С.І. Сидоренко, Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут".
Ю.М. Гаврилюк. Кременчуцький університет економіки, інформаційних технологій і управління

The structure, phase composition, parameters of substructure (D; a d/d) and microhardness of the steel surface area after Electric-spark alloying (ESA) by Zr-,Ti-, Cr-anodes in saturate environments with nitrogen and carbon. Revealed the ability to control the distribution of carbides and nitrides depth coverage by double changes in saturate environment (from nitrogen-containing to carbon-containing environment or from carbon-containing to nitrogen-containing environment that effect on the increase of surface microhardness of 4.5 GPa (ESA chrome) to 9 GPa (ESA zirconium).

Keywords: *electric-spark alloying, nitrogen-containing (carbon-containing) environment, coating, steel, carbides, nitrides.*

Вступ

Прискорені темпи розвитку сучасного виробництва висувають високі вимоги щодо надійності та збільшення ресурсу роботи деталей машин та різального інструменту. Враховуючи такий факт, зростає необхідність покращення їх експлуатаційних характеристик, що у більшості випадків стосується лише робочих поверхонь. Одним з ефективних методів зміцнення металевих поверхонь шляхом нанесення адгезійно стійких покриттів є метод електроіскрового легування (ЕІЛ), який дозволяє значно зменшити витрати цінних металів, що наносяться на менш дорогу основу. Важливу роль при цьому відіграють структурно-фазові перетворення металевої поверхні, що відбуваються під дією електроіскрового розряду. Отже, цілеспрямоване прогнозування структури, фазового складу, а, відтак, й фізико-механічних властивостей покриттів, є актуальним завданням як у теоретичному, так і у практичному аспекті.

1. Постановка задачі

Наукові публікації свідчать,, що традиційне ЕІЛ здійснюють компактованими анодами, які містять у своєму складі карбіди або нітриди, завдяки чому виникають зміцнені покриття з карбідними або нітридними сполуками. Але суттєвими недоліками таких анодів є мала ерозія при низьковольтних імпульсних розрядах, що знижує ефективність формування легованого шару, а розробка їх складу та виготовлення потребує додаткових технічних операцій.

Зважаючи на це, в даній роботі запропоновано альтернативний спосіб отримання зміцнених покриттів, суть якого полягає у створенні умов для активної взаємодії перехідних металів (Zr, Ti, Cr) – анодів, що мають здатність до карбідо- та нітридоутворення, з елементами втілення (азотом, вуглецем), що містяться у насичувальному середовищі. В результаті такого процесу під час ЕІЛ покриття збагачуються фазами проникнення, що підвищує їх фізико-механічні властивості. Логічно передбачити, що одночасне існування у покритті фаз проникнення різної природи може забезпечити комплекс підвищених експлуатаційних характеристик поверхні.

Мета даної роботи полягає у дослідженні закономірностей формування покриттів, отриманих під час ЕІЛ сталі Ст.3 цирконієм, титаном, хромом у змінних насичувальних середовищах, що містять азот або вуглець.

Для досягнення поставленої мети проведено процеси ЕІЛ у азоті з наступною стадією легування у пропан-бутані (азот – пропан-бутан) та у пропан-бутані з наступною стадією легування у азоті (пропан-бутан – азот).

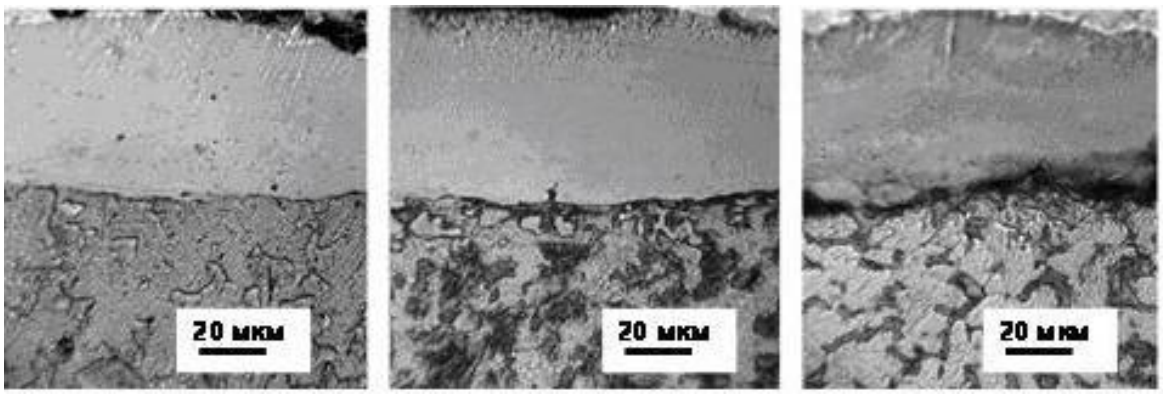
ЕІЛ здійснювалося на установці “Елитрон–26 А” за сили струму розряду $I = 2 – 2{,}5 \pm 0{,}54$ А; напруги в міжелектродному проміжку $U \approx 60 – 70$ В; частоти механічних коливань аноду $f = 50 \pm 3$ Гц; $E = 1$ Дж; відносної тривалості окремої стадії обробки 3 хв./см^2.

Для дослідження застосовували комплексну методику, яка включає: мікроструктурний, мікродюрометричний, рентгеноструктурний, мікрорентгеноспектральний аналіз, растрову електронну мікроскопію.

2. Основний матеріал та результати

2.1. Структурно-фазові перетворення у поверхневих шарах сталі Ст.3 під час ЕІЛ у змінних насичувальних середовищах

Мікроструктурний аналіз показав, що після ЕІЛ зі зміною середовищ у послідовності азот – пропан-бутан можна отримати рівномірні покриття товщиною до 50-60 мкм (рис. 1).



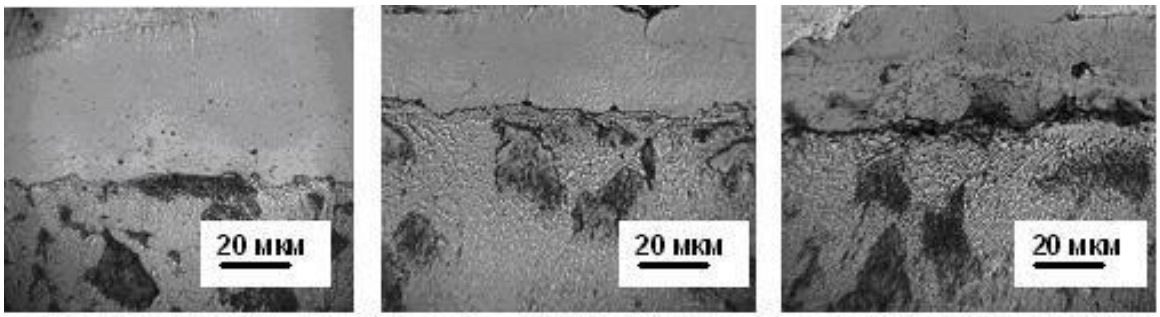
а) б) в)

Рис. 1. Мікроструктура поверхневих зон сталі Ст.3 після двостадійного ЕІЛ зі зміною атмосфер у послідовності азот – пропан-бутан: а) Cr; б) Ti; в) Zr

Після процесів зі зворотною послідовністю стадій обробки (пропан-бутан – азот) покриття є нерівномірними (рис. 2), до того ж товщина покриття при обробці цирконієм та титаном становить 30-35 мкм (рис. 2б, 2в), що можна пояснити низьким рівнем розчинності Zr та Ti у залізі, а також інтенсивним формуванням вторинних структур на аноді, що уповільнює процес масоперенесення розплавленого матеріалу на катод.

Виявлено, що хромові покриття мають найбільшу товщину (50 мкм) та суцільність після обох проведених процесів що можна пояснити утворенням неперервних твердих розчинів заліза (матеріалу основи) з хромом.

За даними рентгенофазового аналізу у поверхневих шарах сталевих зразків, легованих хромом, зафіксовано фази: α-(Fe,Cr), γ-Fe, CrN, Cr_7C_3, Cr_3C_2 (при зміні середовища у послідовності азот – пропан-бутан) та α-(Fe,Cr), γ-Fe, CrN, Cr_7C_3, Cr_3C_2, $Cr_{23}C_6$ (при зміні середовища у послідовності пропан-бутан – азот); у зразках, легованих титаном – α-Fe, γ-Fe, TiC, TiN, Fe_2Ti, α-Ti (при обробці у атмосфері азот – пропан бутан) та α-Fe, TiN (при обробці у середовищі пропан-бутан – азот); у зразках, легованих цирконієм – при зміні середовища у послідовності азот – пропан-бутан та пропан-бутан – азот реєструються фази γ-Fe, ZrN, ZrC, Zr.



а) б) в)

Рис. 2. Мікроструктура поверхневих зон сталі Ст.3 після двостадійного ЕІЛ зі зміною атмосфер у послідовності пропан-бутан – азот: а) Cr; б) Ti; в) Zr

Використовуючи дані дифракційних максимумів $(110)_\alpha$ та $(220)_\alpha$ методом апроксимації визначено середні розміри блоків когерентного розсіювання (ОКР) *D* та величину мікровикривлень кристалічної гратки (Δd/d) (табл. 1).

Таблиця 1. Середні розміри блоків ОКР та мікровикривлення у покриттях, одержаних на сталі Ст.3 в процесі ЕІЛ

Послідовність зміни насичувальних середовищ	Матеріал аноду			
	Cr		Ti	
	D, Å	(ad/d)ё10^{-3}	D, Å	(ad/d)ё10^{-3}
Азот – пропан-бутан	782,82	1,58	211,98	0,55
Пропан-бутан – азот	515,88	4,33	80,2	0,89

Як видно з таблиці, електроіскрове легування в середовищах, що змінюються у послідовності азот – пропан-бутан, приводить до утворення блоків більшого розміру та з меншими значеннями мікровикривлень, ніж при обробці у зворотній послідовності. Це підтверджує відмінність механізмів формування покриттів металами з різним ступенем взаємодії з елементами проникнення, що містяться у середовищі. Титан є більш сильним карбідо- та нітридоутворюючим елементом, ніж хром, і його активна взаємодія з вуглецем та азотом приводить до інтенсивнішого формування частинок нітридних та карбідних фаз, кількість яких під час обробки зростає настільки, що втрачається когерентний зв'язок з матрицею, що й приводить до зменшення мікровикривлень гратки.

Виявлено, що значення *D* та Δd/d для титанових покриттів є меншими, ніж для хромових, що можна пояснити втратою когерентного зв'язку фаз проникнення з матеріалом основи, в той час як після легування хромом такий зв'язок з матрицею ще зберігається.

2.2. Мікротвердість покриттів на сталі Ст.3, отриманих при ЕІЛ у змінних насичувальних середовищах

Як відомо, фізико-механічні властивості покриттів цілком залежить від їх структури та фазового складу.

Мікродюрометричним аналізом встановлено, що зростання мікротвердості поверхневої зони сталі Ст.3 спостерігається після усіх процесів ЕІЛ у змінних під час обробки середовищах.

При зміні азот- та вуглецьвмісної атмосфер в процесі ЕІЛ відбувається формування покриттів, в яких розподіл нітридних та карбідних фаз за глибиною залежить від послідовності стадій обробки, що впливає й на розподіл мікротвердості (рис. 3).

Оскільки взаємодія металів аноду з азотом є менш інтенсивною, ніж взаємодія з вуглецем, що пояснюється різною енергією зв'язку, температурою плавлення, то при ЕІЛ у вуглецьвмісному середовищі формується більша кількість карбідів, ніж при ЕІЛ у азотвмісному середовищі нітридів. Це приводить до того, що області покриття, в яких переважно існують нітриди, мають меншу твердість, ніж ті, де є карбіди. Як видно з графіків, розподіл мікротвердості за глибиною покриття змінюється в залежності від послідовності стадій насичення – обробки у азот- або у вуглецьвмісному середовищі.

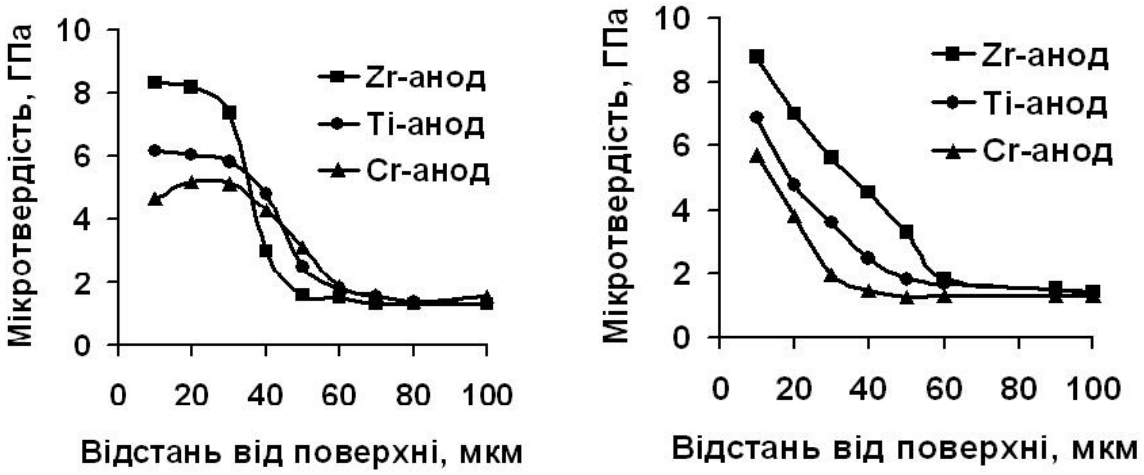


Рис. 3. Мікротвердість приповерхневої зони сталі Ст.3 після двостадійного ЕІЛ в середовищі: а) азот – пропан-бутан; б) пропан-бутан – азот

Встановлено, що мікротвердість залежить від матеріалу аноду: найбільші значення мають цирконієві покриття, а найнижчі – хромові.

Висновки

1. Встановлено, що зміна насичувального середовища в процесі ЕІЛ сталі Ст.3 перехідними металами (Zr, Ti, Cr) відкриває можливість управління розподілом карбідів та нітридів за глибиною покриття.

2. Виявлена залежність товщини покриття від матеріалу аноду: для хромових покриттів вона становить 50-60 мкм, що пояснюється утворенням неперервних твердих розчинів хрому з матеріалом основи (залізом); для титанових та цирконієвих – 30-35 мкм, що зумовлено утворенням вторинних структур на поверхні легувальних Ti- та Zr-анодів в процесі обробки, що перешкоджає нанесенню великої кількості матеріалу на оброблювану поверхню.

3. Виявлений вплив природи матеріалу легувального електроду та послідовності зміни насичувального середовища на розміри блоків когерентного розсіювання D та величину мікровикривлень кристалічної гратки ($\Delta d/d$) в поверхневих ділянках сталі Ст.3: значення після ЕІЛ Ti-анодом менше, ніж після ЕІЛ Cr-анодом, що пояснюється втратою або збереженням когерентного зв'язку фаз проникнення з матеріалом основи, відповідно.

4. Встановлено, що поверхнева мікротвердість та зміна її розподілу у поверхневій зоні сталі залежать від розподілу карбідів та нітридів, які утворилися при взаємодії металу легувального електроду з вуглецем та азотом під час дії електроіскрового розряду. Значення мікротвердості зростають від 4,5 ГПа (Cr-анод) до 8 ГПа (Zr-анод) після ЕІЛ зі зміною середовища у

послідовності азот – пропан-бутан та від 5,5 ГПа (Cr-анод) до 9 ГПа (Zr-анод) після ЕІЛ зі зміною середовища у послідовності пропан-бутан –азот.

5. Запропоновані схеми обробки можна рекомендувати для зміцнення поверхонь штампового та різального інструменту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов / [В. С. Коваленко, А. Д. Верхотуров, Л. Ф. Головко, И. А. Подчерняева]. – М. : Наука, 1986. – 276 с.

2. Николенко, С. В. Формирование поверхностного слоя при механизированном электроискровом легированиии переходными металлами / С. В. Николенко, А. Д. Верхотуров, С. Б. Коваленко // Перспективные материалы. – 2002. – № 5. – С. 59-67.

3. Особенности электрической эрозии электродов при импульсных разрядах, протекающих в режиме недонапряжения / А. Е. Гитлевич, П. А. Топала, В. А. Снегирев [и др.] // Электронная обработка материалов. – 2006. – № 4. – С. 60-66.

4. Мулин, Ю. И. Особенности формирования структуры и свойства покрытий, нанесенных методом электроискрового легирования на сталь / Ю. И. Мулин // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – № 4. – С. 60-66.

5. Подлесов, В. В. Электроискровое легирование сталей электродными материалами TiC – интерметаллид. Свойства легированных слоев / В. В. Подлесов, А. Е. Кудряшов, Е. А. Левашов // Электронная обработка материалов. – 1995. – № 4. – С. 19-22.

Отримано редакцією 10.10.2013 р.

Сидоренко Сергій Іванович, член-кореспондент Національної академії наук України, заслужений діяч науки і техніки України, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізики металів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».
E-mail: sidorenko@kpi.ua

Іващенко Євген Вадимович, кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики металів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».
E-mail: ivashchenko@kpm.kpi.ua

Лобачова Галина Геннадіївна, кандидат технічних наук, асистент кафедри фізики металів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».
E-mail: galyna@kpm.kpi.ua

Гаврилюк Юрій Миколайович, професор, кандидат технічних наук, лауреат Державної премії України, ректор Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління.
E-mail: kueitu@kueitu.com