

## *Формування функціональних Cr – Zr та Cr – Ti електроіскрових покриттів на поверхні сталі Ст.3*

Г. Г. Лобачова, кандидат технічних наук

Є. В. Іващенко, кандидат технічних наук

С. С. Мороз

Національний технічний університет України “КПІ”, Київ

*Досліджено структуру, мікротвердість та стійкість до зношування покриттів на сталі ст. 3, отриманих під час електроіскрового легування (ЕІЛ) хромом на повітрі та подальшого нанесення цирконію або титану у рідинних вуглецевмісних сумішах з порошковими компонентами (графіт, карбід, вольфрам, алюміній).*

Як відомо, карбідні, нітридні, карбонітридні покриття широко застосовуються для підвищення твердості та зносостійкості деталей, працюючих в умовах тертя [1 – 3]. Для створення таких покриттів зазвичай обирають компактовані аноди, недоліком яких є висока ерозійна стійкість, крихкість та тугоплавкість, що уповільнює ефективне формування легованого шару за низьких електричних параметрів обробки.

Дані літературних джерел [4, 5] та результати наших попередніх особистих експериментів [6, 7] доводять ефективність поверхневого зміцнення сталей електроіскровим легуванням (ЕІЛ) перехідними металами, в процесі якого відбувається взаємодія атомів елементів аноду, катоду та компонентів вуглецевмісного рідинного міжелектродного середовища. Під час електричного розряду відбувається іонізація молекул рідини, утворюється плазмовий канал, генеруються інтенсивні локальні електричні поля внаслідок структурних флуктуацій всередині діелектрика, що посилює масоперенесення матеріалу аноду на катод [8]. Таке явище здійснює суттєвий вплив на хімічний склад, структурно-фазові перетворення металевих поверхонь, що цілком зумовлює їх фізико-механічні властивості [5].

Мета даної роботи полягає у дослідженні структури, мікротвердості, стійкості до зношування Cr – Zr та Cr – Ti покриттів на сталі Ст. 3, отриманих під час двостадійного ЕІЛ у насичувальних середовищах.

Для досягнення поставленої мети були проведені чотири серії експериментів. Схеми обробки та склад середовищ наведено у таблиці.

Процес ЕІЛ здійснювався на стандартній лабораторній установці “Элитрон-26 А” за струму розряду 2,0 – 2,5 А, напруги 60 – 70 В, амплітуди коливань аноду  $50 \pm 3$  Гц, енергії розряду 1 Дж, тривалості одиничного імпульсу 200 мкс. Тривалість кожної стадії обробки складала 3 хв.

## Структура, зношування, руйнування

Схеми процесів ЕІЛ сталі ст. 3 у середовищах

Номер серії	I стадія ЕІЛ		II стадія ЕІЛ	
	Анод	Середовище	Анод	Середовище
1	Cr	повітря	Zr, Ti	50 об. % гліцерин + 50 об. % графіт
2	Cr	повітря	Zr	50 об. % гліцерин + 25 об. % графіт + 25 об. % ZrC
			Ti	50 об. % гліцерин + 25 об. % графіт + 25 об. % TiC
3	Cr	повітря	Zr, Ti	50 об. % гліцерин + 25 об. % графіт + 25 об. % Al
4	Cr	повітря	Zr, Ti	50 об. % гліцерин + 25 об. % графіт + 25 об. % W

Перехідні метали анодів (% по масі): цирконій (до 99,9 % Zr), титан (до 99,9 % Ti), хром (до 99,9 % Cr) обрано нами з міркувань про різну схильність їх до карбідоутворення під час взаємодії з вуглецем, який міститься у міжелектродному проміжку.

При проведенні процесів ЕІЛ враховувався той факт, що попереднє нанесення хрому сприятиме формуванню покриття з високою адгезією до основи через подібність його ґратки та заліза, які утворюють між собою твердий розчин необмеженої розчинності. Оскільки обробка поверхні сталі Ст. 3 хромом здійснюється у середовищі повітря, то передбачається утворення покриття, яке містить нітриди та оксиди легувального елемента. Не менш важливим є урахування можливості утворення твердих розчинів необмеженої розчинності під час наступної стадії ЕІЛ титаном або обмеженої розчинності під час наступної стадії ЕІЛ цирконієм з попередньо нанесеним хромом.

Оскільки титан або цирконій здатні інтенсивно взаємодіяти з вуглецем, друга стадія обробки проводилася у вуглецевмісних сумішах на основі гліцерину, який здатен частково дисоціювати під дією іскрового розряду [5].

Для підвищення поверхневої твердості обробка відбувалася у комплексних середовищах гліцерину з порошком графіту (перша серія зразків) або суміші порошоків графіту та карбіду перехідного металу (друга серія зразків), відповідно до матеріалу легувального електроду (ZrC або TiC).

В основу проведення третьої серії експериментів покладено ідею формування у покритті графіту у вільному стані [9] за наявності графітизуючих елементів – металів, які не розчиняють вуглець та не утворюють карбідів. Одним з таких металів є алюміній. В цьому випадку алюміній відіграє роль центру кристалізації графіту, що перешкоджає утворенню великої кількості карбідів, внаслідок чого деяка кількість графіту залишається у вільному стані. Беручи до уваги таку обставину, проведено

серію двостадійних процесів ЕІЛ, в яких друга стадія обробки титаном (або цирконієм) відбувалася у середовищі гліцерину з порошками графіту та алюмінію.

Зважаючи на те, що найчастіше для ЕІЛ використовують твердосплавні композити на базі карбіду вольфраму [2 – 4], ерозія яких під час низьковольтної (до 100 В) обробки є незначною. Наявність надмірної кількості карбіду вольфраму WC у легованому шарі іноді може суттєво підвищувати його крихкість і, як наслідок, призводити до розтріскування. На нашу думку, альтернативним технологічним прийомом може бути послідовне ЕІЛ хромом на повітрі з подальшим нанесенням титану або цирконію у комплексному середовищі гліцерину з сумішшю порошків графіту та вольфраму (четверта серія зразків).

Дослідження мікроструктур поверхневих зон сталі Ст. 3 після зазначених процесів електроіскрового легування показали формування рівномірних Cr – Ti та Cr – Zr покриттів товщиною 20 – 30 мкм.

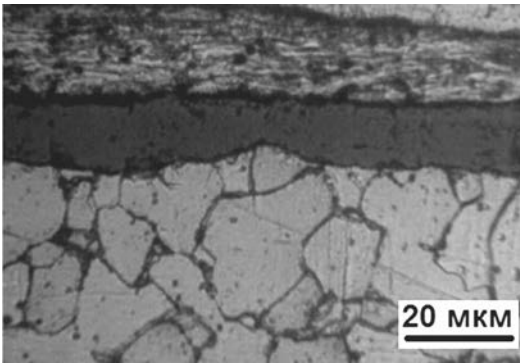


Рис. 1. Мікроструктура поверхневої зони сталі Ст. 3 після ЕІЛ хромом на повітрі та цирконієм у середовищі гліцерину з порошком графіту.

Характерною особливістю мікроструктури таких покриттів є наявність двох зон різної травимості, які мають між собою розмежування. У випадку послідовного нанесення хрому та цирконію, що утворюють тверді розчини обмеженої розчинності, границя є чіткою (рис. 1). У тій частині легованого шару, що знаходиться на поверхні, спостерігаються темнотравлені виділення.

З аналізу графіків розподілу мікротвердості покриттів після усіх зазначених процесів (рис. 2) випливає, що більшу мікротвердість

(6,3 – 9,3 ГПа) мають Cr – Zr покриття, ніж Ti – Cr покриття (5,2 – 6,5 ГПа). Це пояснюється більш інтенсивною взаємодією цирконію з вуглецевмісним насичувальним середовищем, внаслідок якого утворюється більша кількість карбідів цирконію.

Випробування на стійкість до зношування досліджуваних зразків сталі Ст. 3 після ЕІЛ проводилися в умовах сухого тертя-ковзання за схемою «площина по площині» протягом 5 годин (матеріал контртіла – сталь Р6М5). Інтенсивність зношування покриттів оцінювалася гравіметричним методом через кожні 20 хвилин випробування. Було встановлено, що після всіх проведених процесів покриття, нанесені у послідовності Cr – Zr, менш інтенсивно зношуються, ніж покриття, нанесені у послідовності Cr – Ti.

Щоб оцінити кількісну характеристику зносостійкості легованих шарів, знаходили співвідношення їх інтенсивності зношування з інтенсивністю зношування зразка сталі Ст. 3 без покриття після загального часу випробувань (рис. 3). Встановлено, що стійкість до зношування сталевих

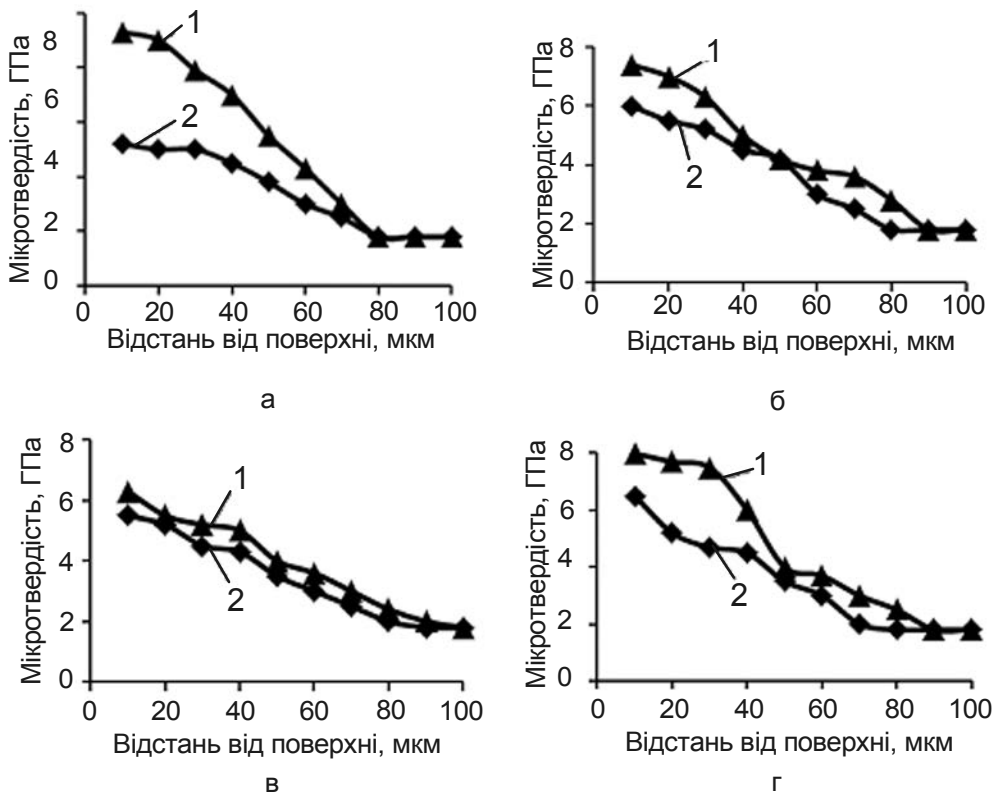


Рис. 2. Розподіл мікротвердості у поверхневій зоні сталі Ст. 3 після ЕІЛ хромом на повітрі та титаном (або цирконієм) у середовищі суміші гліцерину з порошками: а – графіту, б – графіту та карбіду ТiС (або ZrC), в – графіту та вольфраму, г – графіту та алюмінію. 1 – Cr – Zr покриття, 2 – Cr – Ti покриття.

зразків з нанесеними покриттями у 15 – 69 разів перевищує зносостійкість зразка без покриття за 5 годин випробувань.

Як видно, саме покриття після ЕІЛ з першою стадією легування хромом на повітрі, а з другою стадією легування цирконієм у всіх насичувальних середовищах мають більшу зносостійкість (від 40 до 69 разів), ніж при легуванні у тих же середовищах з другою стадією легування титаном (від 15 до 28,5 разів). Високі значення зносостійкості після ЕІЛ з додавання графіту, пояснюється наявністю в покритті дисперсних карбідних фаз, виділених в твердих розчинах елементів аноду та катоду.

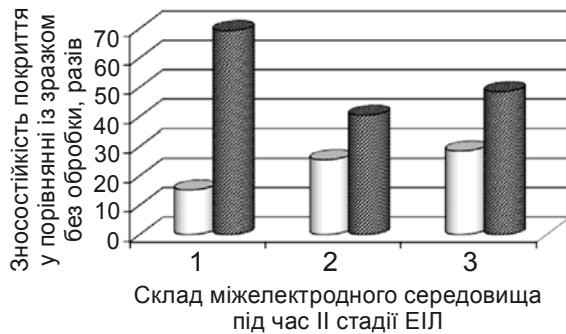


Рис. 3. Зносостійкість Cr – Ti (□) та Cr – Zr (▨) покриттів у порівнянні із зразком сталі Ст. 3 без обробки. 1 – суміш гліцерину з порошком графіту, 2 – суміш гліцерину з порошком графіту та алюмінію, 3 – суміш гліцерину з порошком графіту та вольфраму.

Висновки Встановлена можливість управління

формування функціональних покриттів в процесі двостадійного електроіскрового легування, першою стадією в якому є нанесення хрому на повітрі, а другою – нанесення цирконію або титану у рідинних насичувальних середовищах з порошкоподібними сполуками (графіт, карбіди ZrC та TiC, вольфрам, алюміній).

Показано, що після ЕІЛ хромом з другою стадією легування цирконієм, мікротвердість є більшою (6,3 – 9,3 ГПа), ніж при нанесенні титану (5,2 – 6,5 ГПа). Це пояснюється наявністю у покритті більшої кількості виділень карбідів, що утворилися в результаті інтенсивної взаємодії цирконію з вуглецем насичувального середовища.

Виявлено вплив матеріалу аноду (титану або цирконію) та рідинного насичувального середовища з порошкоподібними компонентами на зносостійкість покриттів. Зносостійкість покриттів Cr – Zr підвищується у 40 – 69 разів, а Cr – Ti покриттів у 15 – 28,5 разів у порівнянні з поверхнею сталі Ст. 3 без покриття.

## Література

1. Белый А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.
2. Ахмедпашаев М.У. Исследование структурных составляющих в диффузионном слое сложнолегированных сталей // Материаловедение. – 2007. – № 6. – С. 40 – 43.
3. Борисов Ю.С., Лабунец В.Ф., Сычев В.С. Триботехнические характеристики композиционных карбидных покрытий // Автоматическая сварка. – 2002. – № 2. – С. 56 – 58.
4. Костин Б.А. Электроискровое легирование с предварительным нанесением пасты на поверхность катода // Электронная обработка материалов. – 1988. – № 6. – С. 13 – 15.
5. Мазанко В.Ф. Искровой разряд и диффузионные процессы в металлах. – Киев: Наук. думка, 2014. – 192 с.
6. Сидоренко С.І. Вплив хімічного складу комплексного насичувального середовища на формування структури в об'ємі приповерхневого шару сплавів заліза в процесі електроіскрового легування // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір наукового характеру № 56620 від 24.09.2014 р.
7. Сидоренко С.І. Особливості формування структури та властивості покриттів на сталі після електроіскрового легування у рідинних насичувальних середовищах з вуглецьвмісними порошками // Металознавство та обробка металів. – 2014. – № 3. – С. 27 – 34.
8. Ушаков В.Я. Физика пробоя жидких диэлектриков (история и современное состояние, вклад советских и российских ученых) // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – 307, № 2. – С. 80 – 87.
9. Михайлюк А.И. Формирование износостойких гафитизированных слоев на поверхности деталей из сплавов железа и титана методом электроискрового легирования // Металловедение и термическая обработка. – 2000. – № 7. – С. 23 – 26.

Одержано 26.10.15

Г. Г. Лобачёва, Е. В. Иващенко, С. С. Мороз

**Формирование функциональных Cr – Zr и Cr – Ti электроискровых покрытий на поверхности стали Ст. 3**

**Резюме**

Исследована структура, микротвердость и износостойкость покрытий на стали Ст. 3, полученных при электроискровом легировании (ЭИЛ) хромом на воздухе и последующем нанесении циркония или титана в жидкостных углеродсодержащих смесях с порошковыми компонентами (графит, карбид, вольфрам, алюминий).

G. G. Lobachova, Ye. V. Ivashchenko, S. S. Moroz

**Formation of Cr – Zr and Cr – Ti functional electric-spark coatings on the surface of steel mark 3**

**Summary**

The structure, microhardness and wear resistance of coatings for steel 3 received during electric-spark alloying (ESA) by chromium in air and subsequent deposition of titanium or zirconium in liquid carbon contained mixtures with powder components (graphite, carbide, tungsten, aluminum) were investigated.

***Шановні колеги!***

**Тривас передплата на науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів» на 2016 р.**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України. Вартість одного номера журналу – 40 грн., передплата на рік – 160 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2014 рр. – 10 грн.

**Розрахунковий рахунок для передплатників, спонсорів і рекламодавців:**

банк ГУДКСУ в м. Києві, р/р 31257201112215, код банку 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал "ММ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника просимо надсилати до редакції, вказавши номер і дату платіжного документа.