

## *Вплив послідовності нанесення титану та хрому при електроіскровому легуванні на структуру та властивості приповерхневих шарів сталі Ст.3*

Г. Г. Лобачова, кандидат технічних наук

Є. В. Іващенко, кандидат технічних наук

В. М. Гурська

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”, Київ

*Виявлено, що послідовність нанесення титану та хрому в процесі електроіскрового легування впливає на структуру, фазовий склад, мікротвердість та стійкість до зношування приповерхневої зони сталі Ст.3. При обробці у послідовності Ti – Cr формуються леговані шари товщиною 10 – 15 мкм з мікротвердістю 10 ГПа, стійкістю до зношування у 19 разів більшою за необроблену основу, у той час, як при обробці у послідовності Cr – Ti товщина шару складає 15 – 20 мкм, мікротвердість – 6,6 ГПа, а зносостійкість зростає у 25 разів.*

Електроіскрове легування (ЕІЛ) є одним з ефективних методів зміцнення металевих виробів, під час якого відбуваються значні перетворення структурного та фазового складу приповерхневих об'ємів матеріалів, що, відповідно, дозволяє одержати комплекс нових поліпшених властивостей локальних зон, залишаючи основу у вихідному стані [1]. Невід'ємною перевагою ЕІЛ є екологічність, простота реалізації технологічного процесу та значне скорочення витрат цінних матеріалів, які наносяться на більш дешеву основу.

Ефективність формування легованого шару зумовлена кількістю анодного матеріалу, перенесеного та закріпленого на катоді, що залежить від електричних та часових параметрів обробки, природи матеріалу легувального електроду, складу середовища та ін. [1].

Все частіше у сучасній періодиці зустрічаються відомості про багатофазні композиційні покриття на сталях, одержані під час легування компактованими твердосплавними електродами спеціально розробленого складу [2, 3], або пошаровим нанесенням з варіюванням кількох анодних матеріалів в межах одного технологічного процесу [4].

Відомо, що наявність у поверхневих зонах сталей карбідних та інтерметалідних сполук підвищує їх твердість та зносостійкість [2, 5]. Як показали наші попередні дослідження, завдяки використанню різних анодів

## Структура і фізико-механічні властивості

з перехідних металів, з урахуванням їх взаємодії з елементами середовища [6] та утворенням між ними твердих розчинів необмеженої розчинності [7], можна досягти підвищення фізико-механічних властивостей.

Метою даної роботи є виявлення впливу послідовності нанесення титану та хрому в процесі ЕІЛ на структуру, фазовий склад, мікротвердість та стійкість до зношування приповерхневих шарів сталі Ст.3.

Зважаючи на хорошу зварюваність, матеріалом для дослідження обрано низьковуглецеву сталь звичайної якості Ст.3 (0,14 – 0,22 % по масі С; 0,17 % по масі Si; 0,37 % по масі Mn, 0,08 % по масі S; 0,06 % по масі Cr).

Обробку здійснювали на установці “Элитрон-26 А” у атмосфері повітря за струму обробки 2,0 – 2,2 А, напруги 60 В. Як легувальні аноди використовували хром (до 99,9 мас. %) та титан (до 99,9 мас. %).

Проведено дві серії експериментів: ЕІЛ титаном та хромом; ЕІЛ хромом та титаном. Тривалість обробки кожним анодом складала 3 хвилини.

Мікроструктурним аналізом встановлено, що поверхневі шари сталі Ст.3 складаються з легованого шару, зони термічного впливу та основи. Після ЕІЛ у послідовності Cr – Ti формуються шари товщиною 15 – 20 мкм, які характеризуються суцільністю та рівномірністю (рис. 1 а). Вочевидь, це відбувається через утворення твердого розчину необмеженої розчинності при взаємодії хрому з залізом. Зміна послідовності нанесення матеріалів анодів (Ti – Cr) приводить до утворення нерівномірних легованих шарів товщиною 10 – 15 мкм (рис. 1 б).

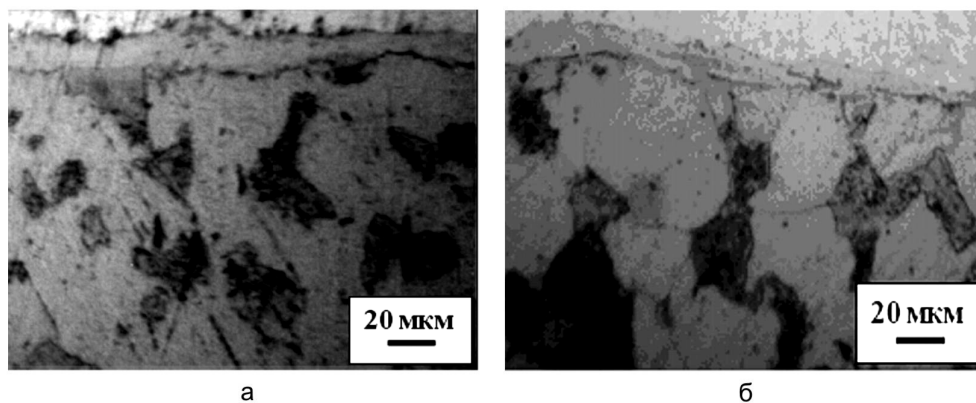


Рис. 1. Мікроструктура приповерхневої зони сталі Ст. 3 після ЕІЛ у послідовності: а – Cr – Ti; б – Ti – Cr.

За результатами рентгенівського аналізу сталі Ст.3 після ЕІЛ Cr – Ti анодами на повітрі, виявлено фазу твердого розчину  $\alpha$ -(Fe, Cr) та карбід хрому  $Cr_7C_3$ ; після ЕІЛ у послідовності Ti – Cr – фази:  $\alpha$ -Fe, карбід хрому  $Cr_7C_3$  та інтерметаліди  $Fe_2Ti$ ,  $Cr_2Ti$ .

Встановлено зростання мікротвердості сталевих поверхні за будь-якої послідовності нанесення титану та хрому пов'язане з утворенням твердих розчинів на основі матеріалів електродів та основи, карбідів та інтерметалідів. Легований шар, одержаний за схемою нанесення Cr – Ti,

## Структура і фізико-механічні властивості

має мікротвердість 5,2 – 6,6 ГПа, а після легування у послідовності Ti – Cr мікротвердість знаходиться в інтервалі 7 – 10 ГПа. З графіків розподілу мікротвердості (рис. 2) видно, що окремі ділянки у межах легованого шару відрізняються за значеннями. Це свідчить про неоднорідний концентраційний розподіл елементів у легованому шарі, який з'явився за екстремальних умов дії електроіскрового розряду.

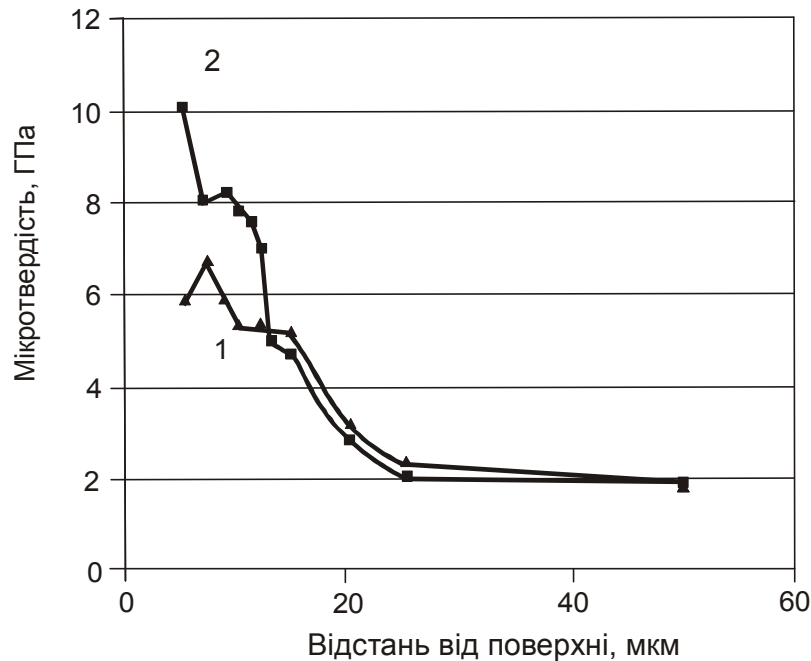


Рис. 2. Розподіл мікротвердості у приповерхневій зоні сталі Ст.3 після ЕІЛ у послідовності: 1 – Cr-Ti; 2 – Ti-Cr.

За співвідношенням максимальних значень мікротвердості покриття та нелегованої основи розраховано коефіцієнт зміцнення. Для поверхні сталі Ст.3 з нанесеним Cr – Ti покриттям він становить 3,3, а з нанесеним Ti – Cr покриттям – 4,6.

Той факт, що мікротвердість покриття після ЕІЛ у послідовності Cr – Ti є меншою, ніж при легуванні у послідовності Ti – Cr може бути пояснений природою металів анодів при взаємодії з основою та елементами міжелектродного середовища. Це пов'язаною з утворенням карбідів та твердих розчинів різного типу з матеріалом основи, а також формуванням інтерметалідних сполук. Ключову роль при цьому відіграє перша стадія процесу обробки. Так, при легуванні на першій стадії титановим анодом вуглець дифундує з основи Ст.3 і утворює з титаном дисперсні карбіди, які підвищують твердість. На другій стадії хром реагує з азотом повітря і утворює дисперсні нітриди, що теж призводить до збільшення мікротвердості.

При легуванні у послідовності Cr – Ti інтенсивність взаємодії Cr-аноду з вуглецем, що дифундує зі сталі Ст.3, є меншою, оскільки

## Структура і фізико-механічні властивості

карбідоутворююча здатність хрому менша, ніж у титану. Як наслідок, в легованому шарі утворюється менше дисперсних карбідів і мікротвердість буде мати нижчі значення.

Для виявлення стійкості до зношування сталі Ст.3 з легованими шарами проводили випробування в умовах сухого тертя-ковзання (матеріал контртіла – гартована сталь Р6М5). Інтенсивність зношування оцінювали за втратою маси через кожні 20 хвилин випробування та будували відповідні криві (рис. 3). Встановлено, що після ЕІЛ нанесені шари мають незначне зношування на відміну від необробленого зразка. Після однакового часу випробувань за співвідношенням інтенсивностей зношування зразків після ЕІЛ та без нього виявлено, що стійкість до зношування легованого шару Cr – Ti у 25 разів, а Ti – Cr у 19 разів більша за сталь Ст.3 без покриття.

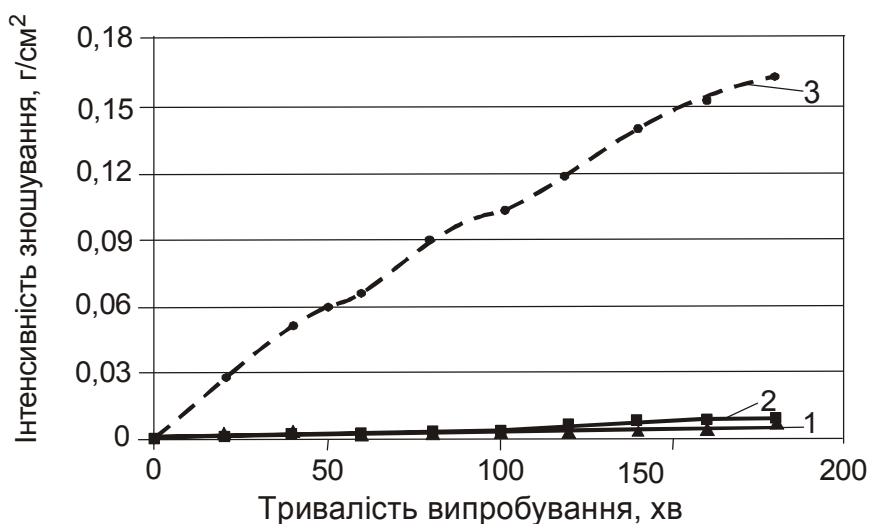


Рис. 3. Криві інтенсивності зношування поверхні сталі Ст.3. 1 – з легованим шаром Cr – Ti; 2 – з легованим шаром Ti – Cr; 3 – без обробки.

**Висновки** Послідовність нанесення металу аноду (Ti, Cr) під час електроіскрового легування змінює його вплив на структуру, фазовий склад, мікротвердість та стійкість до зношування приповерхневої зони сталі Ст.3. Показана можливість формування в процесі ЕІЛ у послідовності Cr – Ti рівномірних та суцільних легованих шарів більшої товщини (15 – 20 мкм), ніж під час ЕІЛ у послідовності Ti – Cr (10 – 15 мкм), внаслідок утворення твердих розчинів необмеженої розчинності.

В процесі послідовного нанесення хрому та титану мікротвердість поверхневої зони сталі Ст.3 зростає до 6,6 ГПа, а під час легування титаном та хромом – до 10 ГПа завдяки утворенню карбіду  $Cr_7C_3$ , інтерметалідів  $Cr_2Ti$ ,  $Fe_2Ti$ , твердих розчинів на базі матеріалів електродів, що, відповідно у 3,3 та 4,6 разів перевищує значення необробленої основи.

Після ЕІЛ у послідовності Cr – Ti стійкість до зношування поверхні сталі Ст.3 збільшується у 25 разів, а у послідовності Ti – Cr у 19 разів у порівнянні із зразком, що обробці не підлягав.

## Література

1. Самсонов Г.В. , Верхотуров А.Д. , Бовкун Г.А. , Сычев В.С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Киев: Наукова думка, 1976. – 220 с.
2. Верхотуров А.Д., Мулин Ю.И. Исследование поверхностного слоя после электроискрового легирования новыми электродными материалами, полученными из минерального сырья // Перспективные материалы. – 2002. – № 4. – С. 84 – 89.
3. Гадалов В.Н., Болдырев Ю.В. , Иванова Е.В. Износо- и коррозионно-стойкие электроискровые покрытия из эвтектических сплавов на стали 30ХГСА // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 1. – С. 22 – 25.
4. Подчерняева И.А., Тепленко М.А., Костенко А.Д. Влияние послойного электроискрового легирования на свойства композиционного электролитического покрытия системы Ni – В // Порошковая металлургия. – 2004. – № 1/2. – С. 42 – 46.
5. 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.
6. Лобачова Г.Г., Иващенко Є.В., Гаврилюк Ю.М. Вплив складу міжелектродного середовища на структуру та мікротвердість сплавів заліза при електроіскровому легуванні цирконієм, титаном, хромом // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 3 (68), ч. 1. – С. 86 – 90.
7. Иващенко Є.В., Лобачова Г.Г. , Мазанко В.Ф. Формування зміцнених поверхневих шарів на залізі пошаровим електроіскровим легуванням // Проблеми тертя та зношування. – 2009. – Вип. 52. – С. 210 – 215.

## References

1. Elektroiskrovoye legirovaniye metallicheskih poverhnostey / [G.V. Samsonov, A.D. Verhoturov, G.A. Bovkun, V.S. Syichev]. – K.: Naukova dumka, 1976. – 220 s.
2. Verhoturov A.D. Issledovaniye poverhnostnogo sloya posle elektroiskrovogo legirovaniya novyimi elektrodnyimi materialami, poluchennyimi iz mineralnogo syiryia / A.D. Verhoturov, Yu.I. Mulin // Perspektivnyie materialyi. – 2002. – 4. – S. 84 – 89.
3. Iznoso- i korrozionno-stoykie elektroiskrovyye pokryitiya iz evtekticheskikh splavov na stali 30HGSA / V.N. Gadalov, Yu.V. Boldyirev, E.V. Ivanova // Uprochnyayuschie tehnologii i pokryitiya. – 2006. – 1. – S. 22 – 25.
4. Podchernyaeva I.A. Vliyanie posloynogo elektroiskrovogo legirovaniya na svoystva kompozitsionnogo elektroliticheskogo pokryitiya sistemy Ni – В / I.A. Podchernyaeva, M.A. Teplenko, A.D. Kostenko, Yu.A. Gusilenko, V.K. Kostenko, I.V. Uvarov // Poroshkovaya metallurgiya. – 2004. – 1/2. – S. 42 – 46.
5. Mihaylyuk A.I. Prevrashcheniye v poverhnostnyih sloyah splavov zheleza pri elektroiskrovom legirovanii / A.I. Mihaylyuk, A.E. Gitlevich, A.I. Ivanov, E.I.

- Fomichyova, G.I. Dimitrova, A.N. Gripachevskiy // Elektronnaya obrabotka materialov. – 1986. – 2. – S. 23 – 27.
6. Lobachova G.G. Vpliv skladu mizhelektrodnogo seredovischa na strukturu ta mikrotverdist splaviv zaliza pri elektroiskrovomu leguvanni tsirkoniem, titanom, hromom / G.G. Lobachova, E.V. Ivaschenko, Yu.M. Gavrilyuk // Visnik Kremenchutskogo natsionalnogo universitetu imeni Mihayla Ostrogradskogo. – 2011. – Vip. 3 (68), chast. 1. – S. 86 – 90.
7. Ivaschenko E.V. Formuvannya zmitsnenih poverhnevih shariv na zalizi posharovim Problemi tertya ta znoshuvannya. – 2009. – 52. – S. 210 – 215.

Одержано 20.12.17

**Г. Г. Лобачёва, Е. В. Иващенко, В. Н. Гурская**

**Влияние последовательности нанесения титана и хрома в процессе электроискрового легирования на структуру и свойства приповерхностных слоев стали Ст.3**

**Резюме**

Показано, что последовательность нанесения титана и хрома в процессе электроискрового легирования (ЭИЛ) влияет на структуру, фазовый состав, микротвердость и износостойкость приповерхностной зоны стали Ст.3. При обработке в последовательности Ti – Cr формируются легированные слои толщиной 10 – 15 мкм с микротвердостью 10 ГПа, стойкостью к износу в 19 раз больше необработанной основы, в то время, как при обработке в последовательности Cr – Ti толщина слоя составляет 15 – 20 мкм, микротвердость – 6,6 ГПа, а износостойкость возрастает в 25 раз.

**G.G. Lobachova, Ie.V. Ivashchenko, V.M. Hurska**

**Influence of Ti and Cr deposition sequence in the process electric-spark alloying on the structure and properties of steel art.3 near-surface layers**

**Summary**

It was found that titanium and chromium deposition sequence in the process of Electric-spark alloying (ESA) affects the structure, phase composition, microhardness and wear resistance of the near-surface steel zone of steel Art.3. When processed in the Ti – Cr sequence, alloyed layers is 10 – 15 microns thickness with a microhardness of 10 GPa, wear resistance of 19 times greater than the unprocessed basis, are formed, while when processed in the Cr – Ti sequence, the thickness of the layer is 15 – 20 microns, microhardness – 6.6 GPa, and wear resistance increases 25 times.