

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ З АУСТЕНІТНИХ ХРОМОНІКЕЛЕВИХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ

Тарельник В.Б., Гапонова О.П., Мисливченко О.М., Голуб Н.Р., Мельник І.О.

Сумський національний аграрний університет

В роботі представлені результати досліджень, спрямованих на розробку способу захисту деталей зі сталі 12Х18Н10Т від зносу, шляхом нанесення на їх зношувальні поверхні зносостійких шарів методом електроіскрового легування (ЕІЛ) і збільшення товщини зони підвищеної твердості. Покриття, отримані в послідовності $C \rightarrow Al \rightarrow T15K6$ мають найбільшу зону підвищеної твердості (320-360 мкм) і найменшу шорсткість поверхні (7,5 мкм). Досліджено фазовий склад отриманих покриттів. Показано, що в поверхневому шарі утворюються карбід TiC і інтерметаліди, що підвищують мікротвердість поверхневого шару до 11500 МПа.

Ключові слова: електроіскрове легування, мікроструктура, рентгеноструктурний аналіз, мікротвердість, сталь, шорсткість.

Вступ

Проблема підвищення надійності технологічного обладнання є актуальною, у зв'язку з підвищенням його продуктивності та збільшенням робочих навантажень. Надійність машин залежить від стану та фізико-механічних властивостей поверхневих шарів деталей, де зароджуються процеси зносу і втомного руйнування.

Основною перевагою сталей аустенітного класу, таких як 12Х18Н10Т, є їх високі службові характеристики: міцність, пластичність, корозійна стійкість в більшості робочих середовищ і хороша технологічність. Тому ці сталі знайшли широке застосування як конструкційний матеріал в різних галузях машинобудування, приладобудування, медицини та ін. [1].

Низькі поверхнева твердість, зносостійкість, антифрикційні властивості корозійностійких аустенітних хромонікелевих сталей не можуть бути поліпшені термічною обробкою. Розроблені і застосовувані методи поверхневого деформаційного зміцнення (ультразвукові ударні, дробоструминні та ін.) як правило, не забезпечують необхідної якості оброблених поверхні. Методами хіміко-термічної обробки не вдається досягти необхідної товщини зміцненого шару, за рахунок високого легування твердого розчину і зменшення дифузії компонентів насичення. Основними труднощами при наплавленні цих сталей є схильність до утворення кристалізаційних тріщин, можлива втрата корозійної стійкості [2].

Тому завдання розробки технологій підвищення терміну служби деталей з аустенітних хромонікелевих сталей сучасними економічними, високопродуктивними й екологічно безпечними методами поверхневого зміцнення є актуальною та своєчасною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Перспективними методами поверхневого зміцнення і модифікування є методи, засновані на обробці матеріалів концентрованими потоками енергії і речовини (КПЕ). До числа сучасних методів поверхневої обробки металевих поверхонь КПЕ відноситься електроіскрове легування (ЕІЛ), що дозволяє отримувати поверхневі структури з унікальними фізико-механічними і трибологічними властивостями [3-6].

Незважаючи на незаперечні переваги ЕІЛ, такі як висока міцність зчеплення легованого шару і матеріалу основи, можливість нанесення на зміцнювальні поверхні будь-яких струмопровідних матеріалів, низька енергоємність процесу, екологічна чистота, простота виконання технологічної операції та ін., метод має недоліки – підвищення шорсткості поверхні, зниження втомної міцності, обмеження товщини нанесеного шару, які нерідко стримують його застосування для більш широкої номенклатури деталей машин і інструментів [7-9].

У роботі [10] для використання методу електроіскрового легування в ремонтних цілях, розглянуто застосування способу формування товстошарових покриттів методом ЕІЛ при відновленні зношених деталей, що працюють в умовах тертя ковзання, засноване на аналізі відомих публікацій про причини обмеженої товщини електроіскрових покриттів [11] і способи збільшення їх товщини [12]. Апробація покриттів проводилася на прикладі відновлення зношених деталей пар тертя силових гідроциліндрів зі зносами і локальними дефектами глибиною понад 300 мкм. Встановлена перевага бронзи БрКМц3-1 при нанесенні «горбистих» покриттів.

Слід зазначити, що при ЕІЛ зміцнений поверхневий шар зі зміненою структурою і властивостями може формуватися як за рахунок дифузії, наприклад, при використанні електрода інструменту з графіту, насичуючи поверхню вуглецем і здійснюючи свого роду цементацію методом ЕІЛ (ЦЕІЛ) [13], так і при нанесенні покриттів з тугоплавких зносостійких металів або їх комбінації з м'якими антифрикційними металами [14].

Крім цього, при ЕІЛ, наприклад, алюмінієм, поверхневий шар виробу залежно від енергії розряду (W_p), може видозмінюватися не тільки від дифузії (при «м'яких» режимах легування), а також від спільного впливу: формування дифузійного шару і утворення покриття, шляхом перенесення алюмінію на поверхню. Встановлено, що зі збільшенням кількості вуглецю в поверхні, що піддається легуванню, і енергії розряду при алітуванні методом ЕІЛ, збільшується мікротвердість, суцільність, товщина зони підвищеної твердості і шорсткість поверхневого шару [15].

У роботах [16-17] описані способи збільшення товщини зміцненого поверхневого шару сталі 12X18H10T при нанесенні квазібагатошарових електроіскрових покриттів (КЕП), що складаються з твердого сплаву ВК8 і міді, сформованих у послідовності ВК8 → Cu → ВК8 і ВК8 → ВК8 → Cu, відповідно.

Слід зазначити, що товщина зони підвищеної твердості поверхневого шару має істотне значення для деталей пар тертя при абразивному й інших видах зношування, і завдання її збільшення залишається актуальним.

Метою роботи

Вдосконалення технології підвищення якості поверхонь деталей, виготовлених із аустенітних хромонікелевих сталей, шляхом розробки нового способу формування товстошарових композиційних квазібагатошарових покриттів, нанесених методом

електроіскрового легування у послідовності вуглець-алюміній-твердий сплав на сталі 12Х18Н10Т.

Методика досліджень

Електроіскрове легування проводили на зразках зі сталі 12Х18Н10Т розміром 10х10х8 на установці з ручним вібратором «Елітрон-52А». Тривалість процесу легування становила 1,0 хв, енергія розряду – $W_p = 3,4$ Дж.

Як електрод для проведення ЦЕЛ використовували графіт марки ЕГ-4, для алітування методом ЕЛ – алюмінієвий дріт марки СВА99.

З метою отримання покриттів на сталі 12Х18Н10Т легування здійснювали в такій послідовності:

–ЦЕЛ при $W_p = 3,4$ Дж;

–ЦЕЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування ЕЛ при $W_p = 3,4$ Дж;

–ЦЕЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування ЕЛ при $W_p = 3,4$ Дж + ЕЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж.

Металографічний і дюрOMETричний аналізи отриманих покриттів проводили за стандартними методиками з використанням оптичного мікроскопа «МІМ-7» і приладу ПМТ-3, відповідно.

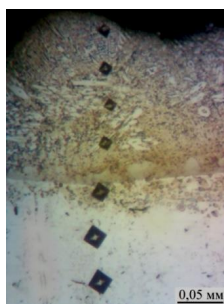
Рентгенографічні дослідження проводили в СоКа-випромінюванні на дифрактометрі ДРОН-УМ1. Дифрактограми знімали методом покрокового сканування. Крок сканування становив $0,05^{\circ}$, час експозиції у точці – 3с. Обробку експериментальних результатів виконували за допомогою програми для повнопрофільного аналізу рентгенівських спектрів від суміші полікристалічних фазових складових Powdercell 2.4.

Шорсткість поверхні вимірювали на приладі профілографі-профілометри мод. 201 заводу «Калібр» шляхом зняття і обробки профілограм.

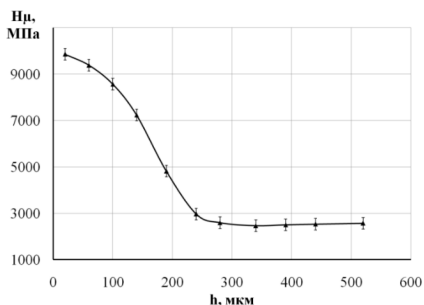
Результати досліджень

Металографічний аналіз покриттів після цементації методом ЕЛ на сталі 12Х18Н10Т показав, що мікроструктура складається з 3-х зон: зміцнений шар, дифузійна зона та основний метал, що має аустенитну структуру (рис. 1).

Проведені дюрOMETричні дослідження свідчать про те, що зміцнений шар має підвищену твердість 9000-9500 МПа, і становить 90-160 мкм. В середньому глибина шару підвищеної твердості становить ~ 100 мкм. Шорсткість поверхні після ЦЕЛ $Ra=9,5$ мкм (табл. 1).



а



б

Рис.1. Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12Х18Н10Т після ЦЕЛІ з $W_p = 3,4$ Дж

На рис. 2 подана мікроструктура і розподіл мікротвердості поверхневого шару сталі 12Х18Н10Т після послідовного ЦЕЛІ і ЕЛІ алюмінієм з енергією розряду, що дорівнює 3,4 Дж. Металографічний та діаметричний аналізи С + Al покриттів, свідчать про те, що вони складаються з 4-х зон: м'який (темний); зміцнений (світлий); дифузійна зона; основний метал.

Таблиця 1

Якісні параметри покриттів, отриманих методом ЕЛІ, на сталі 12Х18Н10Т

Матеріал електрода - інструмента	Товщина зони підвищеної твердості поверхневого шару, мкм	Максимальна мікротвердість зміцненого поверхневого шару, МПа	Фазовий склад покриття	Шорсткість поверхні, Ra, мкм
С	90-160	9500	-	9,5
С + Al	80-120	7500	твердий розчин ОЦК, твердий розчин ГЦК, (Fe_4Al_{13}) , $((Cr,Fe)_7C_3)$, $(AlFe_3C)$	25,5
С+Al+Т15К6	320-360	11500	твердий розчин ОЦК, $(NiCoFe)Al$, TiC, Fe_7W_6	7,5

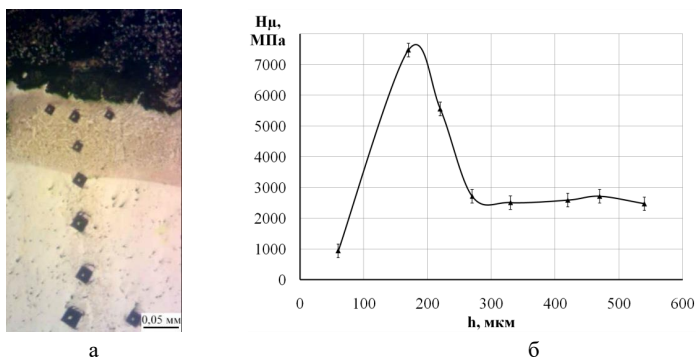


Рис.2. Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12Х18Н10Т після ЦЕЛЛ і ЕЛЛ алюмінієм

На поверхні розташований нерівномірний м'який і пористий шар, товщина якого становить на різних ділянках 70 – 100 мкм, а мікротвердість 1000-2500 МПа. Під ним розташований світлий шар, що має підвищену мікротвердість (до 7500 МПа), його товщина 80 – 120 мкм (табл. 1).

Проведені дослідження фазового складу зміцненого шару показали, що поверхня покриття є багатофазною і складається з двох твердих розчинів з ОЦК і ГЦК ґратками, інтерметалевої сполуки ($\text{Fe}_4\text{Al}_{13}$) і двох карбідів з гексагональною ($(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$) і кубічною (AlFe_3C) кристалічною ґраткою (рис. 3). Періоди ґраток утворених фаз подані в табл. 2. Необхідно відзначити, що період кристалічної ґратки ГЦК твердого розчину становить 36,123 нм, що дещо більше періоду ґратки сталі 12Х18Н10Т до оброблення ($a = 35,936$ нм), що, очевидно, пов'язано з легуванням твердого розчину. Провести кількісний фазовий аналіз є неможливим, оскільки поверхня покриття багатофазна і дифракційні максимуми від різних фаз накладаються між собою.

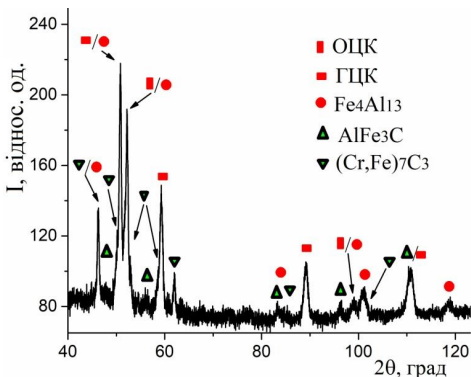
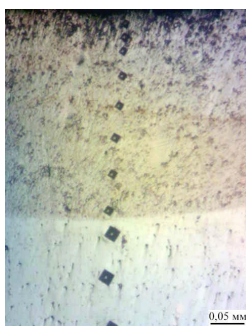


Рис.3. Дифрактограми поверхні сталі 12Х18Н10Т після ЦЕЛЛ і ЕЛЛ алюмінієм

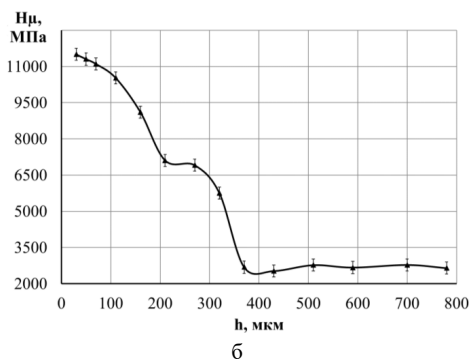
Параметри кристалічних ґраток фаз після ЦЕЛІ і ЕЛІ алюмінієм сталі 12Х18Н10Т

Фаза	Періоди ґраток, нм			
	a	b	c	β
ОЦК	28,812	28,812	28,812	90
ГЦК	36,123	36,123	36,123	90
Fe_4Al_{13}	154,92	80,78	124,71	107,69
$AlFe_3C$	37,90	37,90	37,90	90
$(Cr,Fe)_7C_3$	45,14	69,82	121,11	90

При послідовному легуванні сталі по схемі ЦЕЛІ \rightarrow ЕЛІ АІ \rightarrow ЕЛІ Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж спостерігається формування масивного шару завтовшки 320-360 мкм з максимальною мікротвердістю на поверхні 10500-11500 МПа (рис. 4). Результати фазового аналізу свідчать про те, що в квазібагатошаровому покритті основними фазами є карбід титану (62% мас.) і впорядкована сполука $(NiCoFe)Al$ (25% мас.) (рис. 5 і табл. 3). Також встановлено наявність інтерметаліда Fe_7W_6 (μ -фаза) у кількості 9% мас. і невелика кількість ОЦК твердого розчину (4% мас.). Утворення значної кількості карбідної фази, а також інтерметалідів обумовлює збільшення мікротвердості отриманих шарів (рис. 4 і табл. 1).



а



б

Рис.4. Мікροструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12Х18Н10Т після ЦЕЛІ, ЕЛІ алюмінієм і ЕЛІ твердим сплавом Т15К6

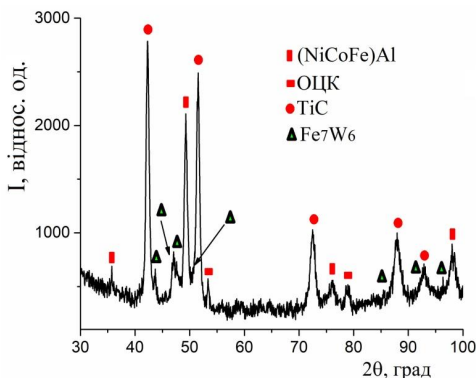


Рис.5. Дифрактограми поверхні сталі 12X18N10Т після ЦЕЛ, ЕЛ алюмінієм і твердим сплавом Т15К6

Таблиця 3

Параметри кристалічних ґраток фаз і кількісний фазовий аналіз після ЦЕЛ, ЕЛ алюмінієм і твердим сплавом Т15К6 сталі 12X18N10Т

Фаза	Періоди ґраток, нм				Вміст фази, % (мас.)
	a	b	c	β	
ОЦК	28,22	28,22	28,22	90	4
(NiCoFe)Al	29,112	29,112	29,112	90	25
TiC	42,84	42,84	42,84	90	62
Fe ₇ W ₆	47,80	47,80	259,88	90	9

Висновки:

1. Розглянуті можливості застосування енергоефективного та екологічно чистого методу електроіскрового легування з метою підвищення якості робочих поверхонь деталей з аустенітних хромонікелевих сталей.

2. Встановлено закономірності формування покриттів при електроіскровому легуванні в умовах чергування легуючих електродів для послідовного нанесення на підкладку зі сталі 12X18N10Т. Досліджені схеми: цементація електроіскровим легуванням (ЦЕЛ); ЦЕЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом при $W_p = 3,4$ Дж; ЦЕЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом при $W_p = 3,4$ Дж + ЕЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж.

3. Зміцнений шар покриття, отриманого в послідовності ЦЕЛ → ЕЛ Al, має мікротвердість до 7500 МПа, його товщина 80 – 120 мкм і складається з двох твердих розчинів з ОЦК і ГЦК ґратками, інтерметалевої сполуки (Fe₄Al₁₃) і двох карбідів з гексагональною ((Cr, Fe)₇C₃) і кубічною (AlFe₃C) кристалічною ґраткою.

4. Запропоновано новий спосіб захисту сталевих виробів від абразивного та інших видів зносу шляхом нанесення на їх зношувані поверхні методом електроіскрового легування зносостійких покриттів з тугоплавких зносостійких металів, проводячи попередню ЦЕЛ і ЕЛ алюмінієм.

5. Покриття, сформовані в послідовності ЦЕЛ → ЕЛ Al → ЕЛ Т15К6 мають найбільшу зону підвищеної твердості (320-360 мкм) і найменшу шорсткість поверхні (7.5

мкм). За рахунок утворення, 62% (мас.) TiC та інтерметалідів забезпечується отримання максимальної мікротвердості поверхневого шару (більше 11500 МПа). ЕЛ за описану технологією дозволяє збільшити дифузійну зону вуглецю й алюмінію, підвищити твердість і товщину зміцненого шару.

Список використаних джерел

1. Гольдштейн М.И. Специальные стали: Учебник для вузов / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1999. – 408 с.
2. Кусков В.Н. Переход легирующих элементов в наплавленный металл при сварке стали 12X18H10T / В.Н. Кусков, Р.А. Мамадалиев, А.Г. Обухов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11-9. – С. 1794-1797.
3. Tarel'nyk V.B. Investigation of Regularities of the Processes of Formation of Surface Layers with Electroerosive Alloying. Part I. / V.B. Tarel'nyk, O.P. Gaponova, Ye.V. Kopolyanchenko, M.Ya. Dovzhyk // Metallofiz. Noveishie Tekhnol.– 2016. – Vol. 38. – No. 12. – P. 1611–1633 <https://doi.org/10.15407/mfint.38.12.1611>
4. Коротаев Д.Н. Субструктурное поверхностное упрочнение деталей трибоси- стем методом электроискрового легирования / Д.Н. Коротаев, Е.В. Иванова // Перспективные материалы. – 2011. –№ 2.– С. 38-102.
5. Повышение качества покрытий нанесенных электроискровым методом / Т. С. Скобло, А. Д. Мартыненко, А. В. Харьяков, А. В. Тихонов, А. Н. Килимник // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – 2004. – Вип. 23. – 2004. – С. 191-196.
6. Скобло Т. С. Нанесение покрытий методом ЭИО электродами с различным составом / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, А. А. Науменко, А. Д. Мартыненко // Физические и компьютерные технологии: труды 9-й Международной научно-технической конференции, 3-4 июня 2004г. – Харьков : ХНПК «ФЭД» – 2004. – С. 170-176.
7. Мезенцов С.А. Особенности применения метода электроискрового легирования при формировании износостойких покрытий / С.А. Мезенцов, В.Н. Лясников, И.Ю. Гоц // Вестник СГТУ. – 2015. – №4 (81). – С. 107-113.
8. Особенности электромассопереноса при электроискровом легировании в системе керамика-керамика / В.М. Панашенко, И.А. Подчерняева, А.Д. Панасюк, Д.В. Юречко // Электрические контакты и электроды. – К.: ИПМ НАН Украины, 2010. – С. 160-171.
9. Структурообразование и массоперенос износостойких покрытий при электроискровом легировании Al-Si сплавов композиционной керамикой LaB₆-ZrB₂ / И.А.Подчерняева, А.Д. Панасюк, С.С. Затуловский и др. // Сверхтвёрдые материалы. – 2003. – № 6. – С. 50–59.
10. Формирование толстослойных электроискровых покрытий для восстановления изношенных деталей силовых гидроцилиндров / С.А.Величко, П.В.Сенин, В.И.Иванов, П.В.Чумаков // Электронная обработка материалов. – 2016. - № 52(5). – С. 13–20.

11. Иванов В.И. Увеличение толщины электроискровых покрытий. Состояние вопроса: Часть 1. Причины ограничения толщины покрытий / В.И. Иванов // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 113. – С. 429–434.

12. Иванов В.И. Увеличение толщины электроискровых покрытий. Состояние вопроса: Часть 2. Методы увеличения толщины покрытий / В.И. Иванов // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 113. – С. 450–456.

13. Electrospark Graphite Alloying of Steel Surfaces: Technology, Properties, and Application / V.B. Tarel'nik, A.V. Paustovskii, Y.G. Tkachenko et al. // Surf. Engin. Appl. Electrochem. – 2018. – Vol. 54. – P. 147-156. <https://doi.org/10.3103/S106837551802014X>

14. Electrode Materials for Composite and Multilayer Electrospark-Deposited Coatings from Ni–Cr and WC–Co Alloys and Metals / Tarelnyk V.B., Paustovskii A.V., Tkachenko Y.G. et al. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2017. – Vol. 55. – P. 585-595. <https://doi.org/10.1007/s11106-017-9843-2>

15. Quality Analysis of Aluminized Surface Layers Produced by Electrospark Deposition / G. V. Kirik, O. P. Gaponova, V. B. Tarelnyk, O. M. Myslyvchenko, B. Antoszewski // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2018. – Vol. 56. – P. 688-696. <https://doi.org/10.1007/s11106-018-9944-6>

16. Tarel'nik V. B. Increase in the Reliability and Durability of Metal Impulse Seals. Part 2 / V. B. Tarel'nik, V. S. Martsinkovskii, A. N. Zhukov // Chemical and Petroleum Engineering. – 2017. – Vol. 53. – P. 266–272. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0333-7>

17. Tarel'nik V. B. Increase in the Reliability and Durability of Metal Impulse Seals. Part 3 / V. B. Tarel'nik, V. S. Martsinkovskii, A. N. Zhukov // Chemical and Petroleum Engineering. – 2017. – Vol. 53. – P. 385–389. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0351-5>

Аннотация

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АУСТЕНИТНЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Тарельник В.Б., Гапонова О.П., Мисливченко А.Н., Голуб Н.Р., Мельник И.А.

В работе представлены результаты исследований, направленных на разработку способа защиты деталей из стали 12Х18Н10Т от износа, путем нанесения на их изнашиваемые поверхности износостойких слоев методом электроискрового легирования (ЭИЛ) и увеличения толщины зоны повышенной твердости. Покрытия, полученные в последовательности С→Al→Ti5K6 имеют наибольшую зону повышенной твердости (320-360 мкм) и наименьшую шероховатость поверхности (7,5 мкм). Исследован фазовый состав полученных покрытий. Показано, что в поверхностном слое образуются карбид TiC и интерметаллиды, повышающие микротвердость поверхностного слоя до 11500 МПа.

Ключевые слова: электроискровое легирование, микроструктура, рентгеноструктурный анализ, микротвердость, сталь, шероховатость.

Abstract

IMPROVING THE QUALITY OF THE WORKING SURFACES PARTS FROM AUSTENITIC CHROMIUM-NICKEL STEELS BY ELECTROSPARK ALLOYING

V.Tarelnyk, O.Gaponova, O.Myslyvchenko, N.Holub, I.Melnyk

The paper presents the results of studies to developing a method of protecting parts from 12Kh18N10T steel from wear by deposition of wear-resistant coatings to their wearing surfaces by electrospark alloying (ESA) and increasing the thickness of the hardened zone. Coatings obtained in the sequence C → Al → Ti5K6 have the largest hardened zone (320-360 μm) and the smallest surface roughness (7.5 μm). The phase composition of the coatings was studied. It was shown that TiC carbide and intermetallic compounds are formed in the surface layer and increased the microhardness of the coating to 11500 MPa.

Keywords: *electrospark alloying, microstructure, X-ray diffraction analysis, microhardness, steel, roughness.*