

PACS numbers: 62.20.Qr, 68.35.Ct, 68.35.Gy, 68.55.J-, 81.40.Pq, 81.65.Lp

Властивості поверхонь деталей із криці 12Х18Н10Т, які працюють в умовах радіаційного опромінювання, відновлених методом електроіскрового легування. Ч. 3. Рентгеноспектральна аналіза відновлених покриттів

В. Б. Тарельник, О. П. Гапонова*, Є. В. Коноплянченко,
Н. В. Тарельник, М. О. Мікуліна, В. О. Герасименко,
О. О. Василенко, В. М. Зубко, В. І. Мельник**

*Сумський національний аграрний університет,
вул. Герасима Кондратьєва, 160,
40021 Суми, Україна*

**Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2,
40007 Суми, Україна*

***Державний біотехнологічний університет,
вул. Алчевських, 44,
61002 Харків, Україна*

В статті представлено результати локальної рентгеноспектральної аналізи покриттів, що одержані методом електроіскрового легування (ЕІЛ) при енергії розряду $W_p = 0,13, 0,52$ і $0,9$ Дж анодами з ніклю і неіржавійної криці 12Х18Н10Т на поверхні катоди із криці 12Х18Н10Т. При ЕІЛ еле-

Corresponding author: Nataliya Vyacheslavivna Tarelnyk
E-mail: natasha-tarelnik@ukr.net

*Sumy National Agrarian University,
160 Gerasym Kondratiev Str., UA-40021 Sumy, Ukraine*

**Sumy State University,
2 Rymsky-Korsakov Str., UA-40007 Sumy, Ukraine*

***State Biotechnological University,
44 Alchevskikh Str., UA-61002 Kharkiv, Ukraine*

Citation: V. B. Tarelnyk, O. P. Gaponova, Ye. V. Konoplianchenko, N. V. Tarelnyk, M. A. Mikulina, V. A. Gerasimenko, O. O. Vasylenko, V. M. Zubko, and V. I. Melnyk, Properties of Surfaces Parts from X10CrNiTi18-10 Steel Operating in Conditions of Radiation Exposure Retailored by Electrospark Alloying. Pt. 3. X-ray Spectral Analysis of Retailored Coatings, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **44**, No. 10: 1323–1333 (2022) (in Ukrainian). DOI: [10.15407/mfint.44.10.1323](https://doi.org/10.15407/mfint.44.10.1323)

ктродою-інструментом із криці 12X18H10T зі збільшенням Wp як в характерних точках, так і зі всієї дослідженої поверхні покриття, кількісний елементний склад суттєво не змінюється. Аналіза розподілу елементів по глибині сформованого шару показала, що при використанні в якості електроди-інструменту криці 12X18H10T, зі збільшенням Wp в поверхневому шарі відбувається незначне зменшення вмісту Хрому і збільшення Нікелю та Титану. При заміні криці 12X18H10T на нікель зі збільшенням Wp кількість Нікелю на поверхні покриття зменшується з 95,38 до 89,04%. По мірі поглиблення з поверхні покриття кількість Нікелю поступово зменшується, відповідно при $Wp = 0,13, 0,52$ і $0,9$ Дж з 96,29, 90,29 і 89,04% на поверхні до 9,0, 10,30 і 9,9% на глибині: 120, 165 і 240 мкм. При цьому кількість Хрому, Титану та Феруму поступово збільшується.

Ключові слова: електроіскрове легування, нікель, криця, рентгеноспектральна аналіза, крок сканування, топографія, спектер.

In article we present the results of studies of the local x-ray spectral analysis of coatings formed by the electrospark alloying (ESA) method at the discharge energy $Wp = 0.13, 0.52$ and 0.9 J by anodes from nickel and stainless steel X10CrNiTi18-10 on the cathode surface from X10CrNiTi18-10 steel. During ESA by stainless steel X10CrNiTi18-10 anode with an increase Wp in characteristic points and from the entire investigated surface of the coating, the quantitative elemental composition is not changed. The analysis of elements distribution over the depth of the formed layer is showed that when using the electrode tool from steel X10CrNiTi18-10 with an increase in Wp , there are a slight decrease in chromium and an increase in nickel and titanium in the surface layer. When steel X10CrNiTi18-10 is replaced by nickel with an increase in Wp , the concentration of nickel on the coating surface decreases from 95.38 to 89.04%. As the recession deepens from the coating surface, the concentration of nickel gradually decreases, respectively, at $Wp = 0.13, 0.52$ and 0.9 J from 96.29, 90.29 and 89.04% on the surface to 9.0, 10.30 and 9.9% at depth: 120, 165 and 240 μm . At the same time, the concentration of chromium, titanium and iron gradually increases.

Key words: electrospark alloying, nickel, steel, x-ray spectral analysis, scan step, topography, spectrum.

(Отримано 28 травня 2022 р.; остаточн. варіант — 11 липня 2022 р.)

1. ВСТУП

В частині 1 статті представлені результати дослідження нового способу відновлення методом електроіскрового легування (ЕІЛ) деталей із криці 12X18H10T, які працюють в умовах радіаційного опромінювання і який може бути застосованим для ремонту деталей машин атомних електростанцій [1].

Спосіб включає нанесення покриття на зношену поверхню деталю методом ЕІЛ електродою-інструментом з матеріалу (криця

12Х18Н10Т або нікель), який не містить спеціальних добавок Кобальту та інших елементів, які утворюють довго живучі ізотопи в активному робочому середовищі.

Використання нового способу відновлення деталей здійснюють у два етапи. Перед першим етапом на зношену крицеву поверхню методом ЕІЛ наносять шар покриття графітовим електроодю-інструментом з енергією розряду $Wp = 0,02$ Дж і продуктивністю $0,3 \text{ см}^2/\text{хв}$. При ЕІЛ електроодю-інструментом із криці 12Х18Н10Т перший і другий етапи проводять, відповідно при $Wp = 0,20$ Дж з продуктивністю $1,6 \text{ см}^2/\text{хв}$. і $Wp = 0,55$ Дж з продуктивністю $2,5 \text{ см}^2/\text{хв}$. В результаті, товщина покриття $\Delta H = 0,19$ мм, суцільність $S = 100\%$ і шерсткість $Rz = 57$ мкм. При ЕІЛ електроодю-інструментом з нікелю перший і другий етапи проводять, відповідно при $Wp = 0,55$ Дж з продуктивністю $2,5 \text{ см}^2/\text{хв}$ і $Wp = 0,90$ Дж з продуктивністю $3,4 \text{ см}^2/\text{хв}$. В результаті одержують $\Delta H = 0,20$ мм, $S = 100\%$ і $Rz = 38$ мкм.

Збільшення енергії розряду при ЕІЛ супроводжується пониженням межі текучості та межі міцності і збільшенням відносного подовження і відносного звуження зразка. При ЕІЛ зразка з $Wp = 0,90$ Дж, порівняно з нелегованим зразком, межа текучості та межа міцності зменшується при легуванні крицею 12Х18Н10Т, відповідно на 11,7 і 8,3%, а відносне подовження і відносне звуження збільшується, відповідно на 15 і 14,7%. При ЕІЛ нікелем межа текучості та межа міцності зменшується, відповідно на 13,3 і

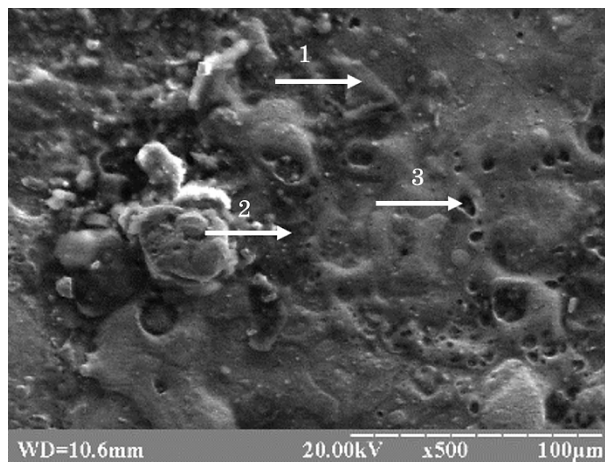


Рис. 1. Топографія ділянки поверхні покриття, сформованого із криці 12Х18Н10Т при енергії розряду 0,52 Дж і продуктивності $2,5 \text{ см}^2/\text{хв}$.

Fig. 1. Topography of the coating surface formed from steel X10CrNiTi18-10 at a discharge energy of 0.52 J and a productivity of $2.5 \text{ cm}^2/\text{min}$.

8,6%, а відносне подовження і відносне звуження збільшується, відповідно на 14,7 і 16,7%.

В частині 2 статті представлені результати досліджень структурного стану покриттів, що одержані методом ЕІЛ при енергії розряду $W_p = 0,13, 0,52$ і $0,9$ Дж анодами з нікелю і неіржавійної криці 12Х18Н10Т на поверхні катоди із криці 12Х18Н10Т [2]. Аноди, як нікель, так і криця 12Х18Н10Т, належать до матеріалів якими доцільно відновлювати поверхні деталей із криці 12Х18Н10Т, які працюють в умовах радіаційного опромінювання. Металографічна аналіза, сформованих покриттів показала, що їх мікроструктура складається з 3-х зон: 1) «білий шар» — шар, що не піддається травленню звичайними реактивами, 2) перехідна зона або дифузійна зона, 3) основний метал. При використанні в якості електродоінструмента нікелю і криці 12Х18Н10Т зі збільшенням енергії розряду товщина зміцненого шару, мікротвердість, суцільність і товщина «білого» шару, а також величина шерсткості поверхні збільшуються. Заміна аноди з нікелю на крицю 12Х18Н10Т приводить до збільшення шерсткості поверхні і зменшення товщини зміцненого шару.

Відомо, що фізико-механічні властивості матеріалів визнача-

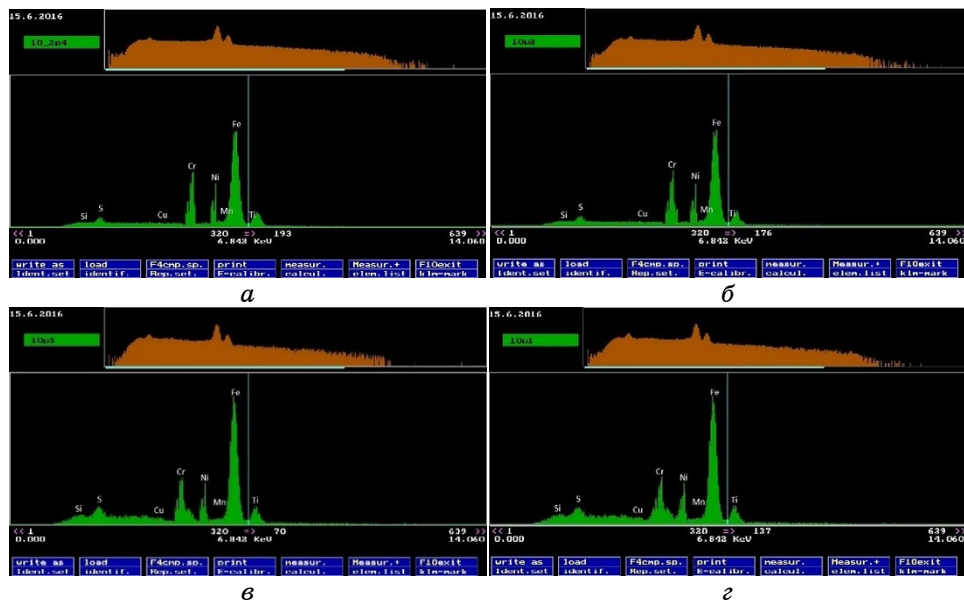


Рис. 2. Спектри з поверхні в характерних точках: гладка поверхня (а), шерстка поверхня (б), пора (в) і зі всієї поверхні (г).

Fig. 2. Spectrums from the surface at characteristic points: smooth surface (а), rough surface (б), pore (в) and from entire surface (г).

ються їх мікроструктурою, яка залежить від електронної будови, хемічного складу і технології їх одержання. Для вивчення змін мікроструктури і складу поверхні зразків із криці 12Х18Н10Т з відновлювальними покриттями із криці 12Х18Н10Т і ніклю проводили подальші дослідження на сканувальному електронному мікроскопі, обладнаному системою локальної рентгеноспектральної аналізи.

Методи сканувальної електронної мікроскопії для аналізу матеріалів знайшли широке застосування у вирішенні конкретних наукових і технологічних завдань внаслідок їх високої інформативності та достовірності одержаних результатів дослідження [3].

Отже, метою цієї роботи є експериментальне дослідження методами електронної мікроскопії мікроструктури відновлювальних покриттів на криці 12Х18Н10Т електродами із криці 12Х18Н10Т і ніклю, а також їх якісної і кількісної елементної аналізи.

ТАБЛИЦЯ 1. Елементний склад покриття із криці 12Х18Н10Т і ніклю в характерних точках і зі всієї досліджуваної поверхні: 1 — гладка поверхня, 2 — шерстка поверхня, 3 — пора.

TABLE 1. Elemental composition of the coating from steel X10CrNiTi18-10 and Nickel in characteristic points and from the entire studied surface: 1—smooth surface, 2—rough surface, 3—pore.

Досліджувана точка та ділянка (Σ) поверхні	Елементи, %							
	S	Cu	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe
Криця 12Х18Н10Т, $W_p = 0,13$ Дж, продуктивність 1,6 см ² /хв.								
1	0,01	0,25	0,23	0,59	17,10	9,11	0,67	72,04
2	0,01	0,27	0,21	0,57	17,15	9,15	0,63	72,01
3	0,02	0,26	0,24	0,59	16,41	9,21	0,88	72,39
Σ	0,01	0,31	0,25	0,61	17,21	9,33	0,79	71,49
Криця 12Х18Н10Т, $W_p = 0,52$ Дж, продуктивність 2,5 см ² /хв.								
1	0,02	0,20	0,24	0,60	16,20	9,30	0,71	72,70
2	0,01	0,21	0,22	0,58	17,21	8,89	0,69	72,19
3	0,02	0,23	0,18	0,62	15,23	9,19	0,83	73,70
Σ	0,01	0,87	0,21	0,60	16,87	9,07	0,89	71,48
Криця 12Х18Н10Т, $W_p = 0,90$ Дж, продуктивність 3,4 см ² /хв.								
1	0,02	0,20	0,24	0,60	16,51	10,31	1,12	71,00
2	0,01	0,21	0,22	0,58	16,72	9,83	0,93	71,50
3	0,02	0,23	0,18	0,62	15,31	9,95	0,81	72,88
Σ	0,01	0,87	0,21	0,60	16,83	9,98	0,89	70,61

ПРОДОВЖЕННЯ ТАБЛИЦІ 1.

CONTINUATION OF TABLE 1.

Нікель, $W_p = 0,13$ Дж, продуктивність $1,6 \text{ см}^2/\text{хв}$.									
1	0,02	0,25	0,29	0,56	0,41	96,58	0,13	1,76	
2	0,01	0,31	0,22	0,61	0,17	96,30	0,16	2,22	
3	0,01	0,27	0,23	0,59	0,92	95,87	0,21	1,90	
Σ	0,01	0,23	0,26	0,57	0,74	96,69	0,10	1,40	
Нікель, $W_p = 0,52$ Дж, продуктивність $2,5 \text{ см}^2/\text{хв}$.									
1	0,02	0,22	0,28	0,55	0,71	90,58	0,17	7,47	
2	0,02	0,37	0,25	0,63	0,27	91,39	0,06	7,01	
3	0,01	0,27	0,29	0,61	0,90	90,77	0,11	7,04	
Σ	0,01	0,33	0,27	0,59	0,54	90,59	0,12	7,55	
Нікель, $W_p = 0,90$ Дж, продуктивність $3,4 \text{ см}^2/\text{хв}$.									
1	0,01	0,24	0,24	0,53	1,11	90,22	0,38	7,27	
2	0,01	0,30	0,27	0,60	1,27	91,31	0,15	6,09	
3	0,02	0,25	0,23	0,59	1,92	88,07	0,37	8,55	
Σ	0,01	0,29	0,25	0,59	1,35	89,14	0,25	8,12	

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Зразки з неіржавійної криці аустенітного класу марки 12X18H10T, розміром $10 \times 10 \times 8$ мм і з твердістю після остаточного термооброблення 140–170 НВ, шліфували до шерсткості поверхні $Ra = 0,50$ мкм. Для нанесення покриттів електродами-інструментами з неіржавійної криці 12X18H10T і ніклю використовували установку ЕІЛ моделю «Елітрон-52А», що забезпечує енергію розряду W_p в діапазоні 0,05–6,80 Дж. При цьому для досліджень застосовували енергію розряду $W_p = 0,13, 0,52$ та $0,90$ Дж.

Для запобігання схоплення легуючої електроди і підкладинки при ЕІЛ криці 12X18H10T електродами-інструментами з неіржавійної криці 12X18H10T і ніклю всі зразки попередньо оброблювали графітовим електродою-інструментом при енергії розряду $W_p = 0,02$ Дж і продуктивності $0,3 \text{ см}^2/\text{хв}$.

З метою визначення елементного складу покриття в характерних точках проводився якісна та кількісна локальна аналіза.

Якісна аналіза і кількісний склад покриттів із криці 12X18H10T і ніклю на зразках із криці 12X18H10T проводився на електронному мікроскопі РЕММА-102 виробництва ВАТ «SELMІ», оснащеного рентгенівським спектрометром на базі кремній-літійового напівпровідникового детектора. Мікрофотографії ділянок поверхні зраз-

ків одержані в режимі формування зображення током вторинних електронів при прискорюваній напрузі на електронній пушці мікроскопу 20 кВ і струмі зонду (пучка) 200 пА. При цьому на поверхні покриття вибирали 3 точки (гладка поверхня, шерстка поверхня і пора) і в кожній точці визначався елементний склад нанесеного покриття.

Крім цього, розподіл елементів по глибині в поверхневому шарі визначали на електронному мікроскопі з камерою низького вакууму і системою енергодисперсійної мікроаналізи РЕМ-106. Мікроскоп призначений для дослідження рельєфу поверхні різних об'єктів у твердій фазі і визначення елементного складу об'єктів методом рентгенівської мікроаналізи по енергіях квантів характеристичного випромінювання в двох режимах: високого вакууму і низького вакууму. Дослідження об'єктів у вторинних електронах забезпечує топографічний контраст, у відбитих електронах — елементний контраст. Встановлений на приладі детектор XR-100FASTSSD фірми Amptek (США) дає змогу проводити якісну і кількісну елементну аналізу досліджуваної області об'єкта.

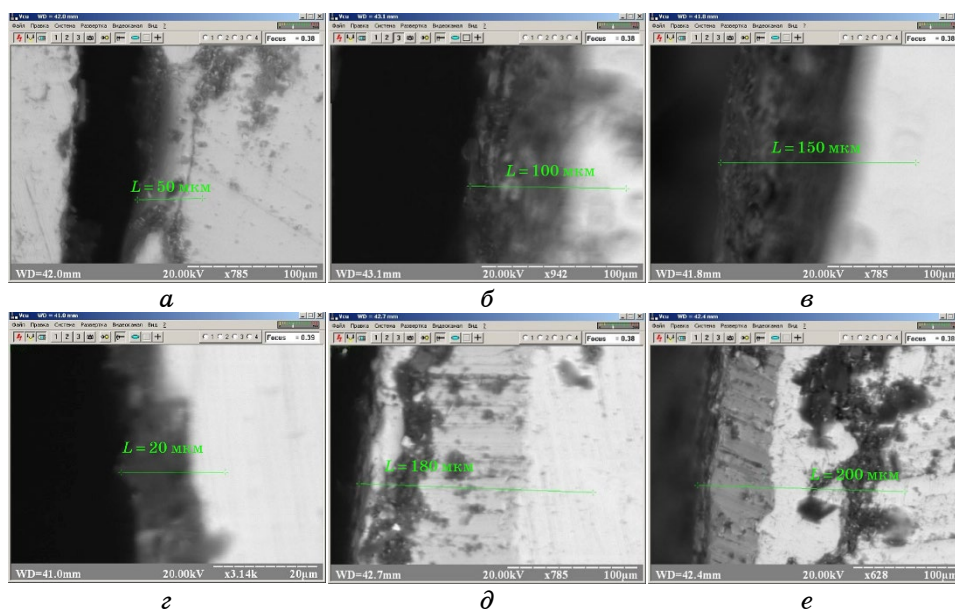


Рис. 3. Мікроструктури ділянок зразків із криці 12Х18Н10Т з покриттями із криці 12Х18Н10Т (а, б, в) та нікелю (г, д, е), нанесеними методом ЕІЛ.

Fig. 3. Microstructures of steel samples sections from X10CrNiTi18-10 with coatings from steel X10CrNiTi18-10 (a, б, в) and nickel (г, д, е), applied by ESA method.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На рисунку 1 показано топографію ділянки поверхні покриття з неіржавійної криці 12Х18Н10Т, на якій обрані три характерних ділянки (1 — гладка поверхня, 2 — шерстка поверхня, 3 — пора). Спектри поверхні в характерних точках і зі всієї дослідженої поверхні показані на рис. 2.

В зведеній таблиці 1 представлено елементний склад покриттів із криці 12Х18Н10Т і ніклю, сформованих при різних режимах ЕІЛ в характерних точках і зі всієї дослідженої поверхні.

Аналіза таблиці 1 показала, що зі збільшенням енергії розряду при ЕІЛ електродою-інструментом з неіржавійної криці 12Х18Н10Т, як в характерних точках, так і зі всієї досліджуваної поверхні, кількісний елементний склад суттєво не змінюється. Інші результати при ЕІЛ зразків із криці 12Х18Н10Т ніклем. При збільшенні енергії розряду з 0,13 до 0,90 Дж, кількість Ніклю зме-

ТАБЛИЦЯ 2. Результати локальної енергодисперсійної аналізи покриттів на криці 12Х18Н10Т із криці такої самої марки і ніклю.

TABLE 2. Results of local energy dispersion analysis of coatings on steel 12Х18Н10Т cover with a cover of the same brand and nickel.

С	Cr	Ni	Ti	Fe	Σ , %	С	Cr	Ni	Ti	Fe	Σ , %	С	Cr	Ni	Ti	Fe	Σ , %														
Покриття із криці 12Х18Н10Т, крок сканування 10 мкм																															
Зразок а						Зразок б						Зразок в																			
0,13	17,6	9,8	0,67	1,87	1000,13	17,5	10,9	0,97	0,57	1000,13	16,7	11,2	1,57	0,47	100	0,13	17,5	9,3	0,97	2,17	1000,13	17,4	10,5	0,97	1,07	1000,13	16,4	10,7	1,47	1,37	100
0,12	17,7	9,1	0,87	2,28	1000,14	17,5	10,3	0,87	1,26	1000,14	17,1	10,6	1,17	1,06	100	0,15	17,0	9,3	0,57	3,05	1000,15	16,9	10,5	0,57	1,95	1000,15	17,3	11,3	0,97	0,35	100
0,15	17,4	9,9	0,77	1,85	1000,16	17,1	10,9	0,77	1,14	1000,16	16,4	11,5	0,77	1,24	100	0,14	17,5	9,7	0,97	1,76	1000,17	17,2	10,7	0,97	1,03	1000,17	16,2	10,9	0,97	1,83	100
0,17	16,8	9,9	0,87	2,33	1000,17	16,7	10,9	0,87	1,43	1000,15	16,3	11,3	1,07	1,25	100	0,17	17,2	9,8	0,87	2,03	1000,17	17,0	10,8	0,87	1,23	1000,14	16,2	11,4	1,17	1,16	100
0,12	17,9	9,0	0,97	2,08	1000,12	17,1	10,0	0,97	1,88	1000,16	16,1	10,9	1,27	1,64	100	0,17	17,3	10,3	0,97	1,33	1000,15	16,3	11,3	1,37	0,95	100					
																		0,17	16,7	10,5	0,97	1,73	1000,16	15,8	10,9	1,17	2,04	100			
																		0,16	17,3	11,0	1,27	0,34	100								
																		0,17	17,3	10,7	1,27	0,63	100								
																		0,17	17,5	10,9	0,97	0,53	100								

ПРОДОВЖЕННЯ ТАБЛИЦІ 2.
CONTINUATION OF TABLE 2.

Покриття з нікелю, крок сканування 15 мкм		
Зразок <i>z</i>	Зразок <i>d</i>	Зразок <i>e</i>
0,13 1,2 95,280,2 3, 19 1000,13 1,3 90,280,1 8,19 1000,13 1,7 83,140,314,73100		
0,13 1,4 95,060,2 3,21 1000,13 1,9 90,070,2 7,90 1000,13 1,9 81,200,416,37100		
0,14 1,7 94,190,3 3,67 1000,14 2,5 91,310,3 5,75 1000,14 2,5 80,010,217,15100		
0,13 2,1 93,260,4 4,11 1000,15 3,7 89,560,5 6,09 1000,15 3,1 80,160,316,29100		
0,15 2,5 92,120,3 4,93 1000,16 5,1 82,520,411,821000,16 3,0 76,120,520,22100		
0,18 3,1 83,350,712,671000,17 4,9 80,780,513,651000,17 4,7 74,430,620,10100		
0,1716,221,800,851,031000,17 6,7 71,070,621,461000,15 5,1 70,170,623,98100		
0,1317,9 9,0 0,972,071000,17 8, 7 51,800,638,731000,14 6,9 61,810,730,45100		
	0,1210,937,140,751,141000,16 7,9 57,170,634,17100	
	0,1717,0 20,8 1,160,931000,1711,751,090,836,24100	
	0,1217,1 10,3 1,071,481000,1715,740,810,942,42100	
		0,1817,133,330,848,59100
		0,1717,419,141,062,29100
		0,1316,114,170,958,70100
		0,1218,011,031,259,65100
		0,1217,8 9,91 1,171,07100

ншується з 95,38 до 89,04%. Кількість легуючих елементів Хрому і Титану незначно зменшується, відповідно з 1,74 до 1,35 і з 0,50 до 0,35%, а кількість Феруму при цьому збільшується з 2,40 до 8,12%.

На рисунку 3 представлені ділянки мікроструктури, на яких проводилася енергодисперсійна мікроаналіза поверхневого шару зразків із криці 12Х18Н10Т з покриттями із криці 12Х18Н10Т (*a*, *b*, *e*) та нікелю (*z*, *d*, *e*), нанесеними методом ЕІЛ. Крок сканування становив для зразків на рис. 3, *a*, *b*, *e* — 10 мкм, а для зразків на рис. 3, *z*, *d* та *e* — 15 мкм. Розподіл хемічних елементів, що входять до складу покриттів зразків представлений у табл. 2.

Аналіза таблиці 2 показала, що при використанні в якості електроди-інструменту із криці 12Х18Н10Т зі збільшенням енергії розряду з 0,13 до 0,90 Дж в поверхневому шарі відбувається незначне зменшення Хрому і збільшення Нікелю і Титану.

При використанні в якості електроди-інструменту нікелю його кількість по мірі поглиблення поступово зменшується з 96,29, 90,29 і 89,04% на поверхні до 9,0, 10,30 і 9,9%, відповідно на гли-

бині 120, 165 і 240 мкм і енергії розряду, відповідно 0,13, 0,52 і 0,90 Дж. При цьому кількість Хрому поступово збільшується, відповідно з 0,74, 0,54 і 1,35% на поверхні до 17,9%, 17,1 і 17,8% на відповідних глибинах і енергіях розряду. Кількість Титану також поступово збільшується, відповідно з 0,1, 0,12, 0,25% на поверхні до 0,9, 1,0 і 1,1% на відповідних глибинах і енергіях розряду. В свою чергу кількість Феруму на відповідних глибинах і енергіях розряду збільшується з 1,4, 7,55 і 8,12% до 72,07, 71,48 і 71,07%.

4. ВИСНОВКИ

1. При ЕІЛ неіржавійної криці 12Х18Н10Т електродою-інструментом із криці такої самої марки зі збільшенням енергії розряду, як в характерних точках, так і зі всієї дослідженої поверхні покриття, кількісний елементний склад суттєво не змінюється.

2. При ЕІЛ зразків із криці 12Х18Н10Т ніклем зі збільшенням енергії розряду з 0,13 до 0,90 Дж, кількість Ніклю, як в характерних точках поверхні покриття, так і зі всієї дослідженої поверхні, зменшується з 95,38 до 89,04%. В той же час кількість легувальних елементів Хрому і Титану незначно зменшується, відповідно з 1,74 до 1,35 і з 0,50 до 0,35%, а кількість Феруму збільшується з 2,40 до 8,12%.

3. Аналіза розподілу елементів по глибині сформованого шару показала, що при використанні в якості електроди-інструменту із криці 12Х18Н10Т зі збільшенням енергії розряду з 0,13 до 0,90 Дж в поверхневому шарі відбувається незначне зменшення Хрому і збільшення Ніклю і Титану.

4. При використанні в якості електроди-інструменту ніклю і енергії розряду: 0,13, 0,52 і 0,90 Дж його кількість по мірі поглиблення поступово зменшується, відповідно з 96,29, 90,29 і 89,04% на поверхні до 9,0, 10,30 і 9,9% на глибині: 120, 165 і 240 мкм. При цьому кількість Хрому поступово збільшується, відповідно з 0,74, 0,54 і 1,35% на поверхні до 17,9, 17,1 і 17,8% на відповідних глибинах і енергіях розряду. Кількість Титану також поступово збільшується, відповідно з 0,1, 0,12, 0,25% на поверхні до 0,9, 1,0 і 1,1% на відповідних глибинах і енергіях розряду. В свою чергу кількість Феруму на відповідних глибинах і енергіях розряду збільшується з 1,4, 7,55 і 8,12% до 72,07, 71,48 і 71,07%.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Н. В. Тарельник, *Металлофиз. новейшие технол.*, 44, № 8: 1037 (2022).
2. О. П. Гапонова, Н. В. Тарельник, *Металлофиз. новейшие технол.*, 44, № 9: 1103 (2022).
3. Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эчлин, Д. Джой, Ч. Фиори, Э. Лифшин,

Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ (Москва: Мир: 1984).

REFERENCES

1. N. V. Tarelnyk, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **44**, No. 8: 1037 (2022) (in Ukrainian).
2. O. P. Gaponova and N. V. Tarelnyk, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **44**, No. 9: 1103 (2022) (in Ukrainian).
3. J. Goldstein, D. Newbury, P. Echlin, D. Joy, Ch. Fiori, and E. Lifshin, *Rastrovaya Elektronnaya Mikroskopiya i Rentgenovskiy Mikroanaliz* [Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis] (Moscow: Mir: 1984).