

Н. В. ТАРЕЛЬНИК

кандидат економічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-6304-6925

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ НАСОСІВ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

В статті розглядається проблема зчеплення і залипання електроду-інструменту (ЕІ) (анода) з поверхнею деталі, яку легують (катоду). Особливо це проявляється коли необхідно проводити електроіскрове легування (ЕІЛ) деталей з корозійностійких нержавіючих сталей, які переважною більшістю використовуються в насосах на атомних електростанціях (АЕС). При збільшенні енергії розряду (W_p), при легуванні на більш «грубих» режимах ЕІЛ проблема стає більш актуальною. З метою проведення порівняльних випробувань на установці електроіскрового легування моделі «Елітрон 52А» проводили обробку 3-х партій зразків, розміром 15x15x8 мм зі сталі 12X18H10T. В якості ЕІ використовували стержні Ø3 мм і L=30 мм з сталі 12X18H10T і нікелю. В першій партії зразки нічим попередньо не оброблялись. В другій партії зразки попередньо обробляли графітовим ЕІ, а в третій – поверхню, що легують, натирали порошком з дисульфиду молібдену. В результаті проведення досліджень удосконалена технологія ЕІЛ корозійностійких сталей, що використовують для виготовлення деталей обладнання АЕС при якій на поверхню, що легують, шляхом натирання (намазування) наносять порошок дисульфиду молібдену, що різко покращує процес легування за рахунок усунення зчеплення (прилипання) електродів. В цьому випадку при будь-яких значеннях енергії розряду при ЕІЛ зчеплення (прилипання) електродів анода і катоду відсутнє. При порівнянні різних способів ЕІЛ сталі 12X18H10T ЕІ зі сталі 12X18H10T встановлено, що при ЕІЛ без попередньої обробки поверхні зразка, в порівнянні з попередньою обробкою поверхні графітом і дисульфідом молібдену, при однакових значеннях енергії розряду, продуктивність, відповідно в 35 і 44 раз менше, шорсткість в 1,7 і 2,0 раз більше, а суцільність в 1,3 і 1,5 раз менше. При порівнянні різних способів ЕІЛ сталі 12X18H10T ЕІ з нікелю, встановлено, що при ЕІЛ без попередньої обробки поверхні зразка, в порівнянні з попередньою обробкою поверхні графітом і дисульфідом молібдену, при однакових значеннях енергії розряду, продуктивність, відповідно в 177 і 197 раз менше, шорсткість в 2,1 і 2,5 раз більше, а суцільність в 1,9 і 2,1 раз менше.

Ключові слова: електроіскрове легування, енергія розряду, продуктивність, електрод-інструмент, анод, катод, шорсткість, суцільність.

N. V. TARELNYK

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Technical System Designs
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0002-6304-6925

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF ELECTRO-SPARK ALLOYING THE COMPONENT PARTS FOR THE PUMPS OF NUCLEAR POWER PLANTS

The paper deals with the technical challenge of seizing and sticking the tool electrode (TE) (anode) to the surface of the part (cathode) being alloyed. This is especially evident when it is necessary to carry out the electrospark alloying (ESA) process referring the parts made of corrosion-resistant stainless steels, which are mostly used in the pumps at nuclear power plants (NPP). The issue becomes more urgent while alloying under the so-called "coarse" ESA modes when the discharge energy (W_p) increases. To conduct the comparative tests, at the Елітрон 52А (Elytron 52A) model electrospark alloying unit, three (3) batches of 15x15x8 mm steel 12X18H10T (12Kh18N10T) samples were processed. The rods of Ø3 mm and L = 30 mm made of steel 12X18H10T (12Kh18N10T) and nickel were used as the TE. For the first batch, the samples were not pre-treated. For the second batch, the samples were pre-treated with a graphite TE, and for the third one, the surface to be alloyed was rubbed with molybdenum disulfide powder. The result of the research has become an improved ESA technology for processing the corrosion-resistant steels, which are used to manufacture the NPP equipment parts. According to this technology, molybdenum disulfide powder is applied by rubbing (smearing) to the surface to be alloyed. This dramatically improves the alloying process due to elimination of seizing (sticking) of the electrodes. In this case, at any values of the discharge energy while the ESA process, there is no seizing (sticking) events as for the anode and cathode electrodes. When comparing different processes by the ESA method of steel 12X18H10T (12Kh18N10T) with the use of the TE made of steel 12X18H10T (12Kh18N10T), it has been found that at the ESA method without pre-treatment of the surface of the sample, in comparison with the process including the pre-treatment of the surface with graphite and molybdenum disulfide, at the same values of discharge energy, respectively, the productivity is 35 and 44 times less, respectively, the roughness is 1.7 and 2.0 times more, and respectively, the continuity is 1.3 and

1.5 times less. When comparing different ESA methods for processing steel 12X18H10T (12Kh18N10T) by the TE made of nickel, it has been stated that at the ESA process without pre-treatment of the sample surfaces, in comparison with pre-treatment of the above surfaces with graphite and molybdenum disulfide, at the same values of the discharge energy, the productivity is 177 and 197 times less, respectively, the roughness is 2.1 and 2.5 times more, respectively, and the continuity is 1.9 and 2.1 times less, respectively.

Key words: electrospark alloying, discharge energy, productivity, tool electrode, anode, cathode, roughness, continuity.

Постановка проблеми

Розвиток електроенергетики супроводжується появою нового енергетичного обладнання серед якого значну кількість займають насоси різного призначення. Специфічні вимоги, які висуваються до насосів різних технологічних систем атомних електростанцій (АЕС), серед яких основними є забезпечення надійності, ефективності і захисту оточуючого середовища від забрудненості, а також особливості умов їх роботи потребують відокремлювання їх в окрему галузь насособудівництва.

Характерною особливістю роботи насосів АЕС є негативний вплив оточуючого середовища: високий тиск і температура, відповідно до $P = 16,6$ МПа і $t = 289$ °С та радіаційне опромінювання [1]. В зв'язку з цим деталі насосів АЕС виготовляють з корозійностійких нержавіючих сталей. Всі деталі і вузли насосів, що стикаються з теплоносієм і які охолоджуються водою промконтур та запираючою водою, виготовлені зі сталей, стійких до корозії і ерозії [2].

Насособудівництво – галузь яка дуже швидко розвивається. З появою нових і модернізацією існуючих насосів з більш високими параметрами з'являється необхідність в появі нових і більш якісних матеріалів. Такими матеріалами можуть бути композиційні, які складаються з в'язкої основи і зносостійкого захисного покриття. Одним з більш прогресивних сучасних методів нанесення захисних покриттів є екологічно безпечний і енергоефективний метод електроіскрового легування (ЕІЛ) Характерні особливості методу ЕІЛ: міцне зчеплення нанесеного матеріалу з основою, локальність дії, можливість нанесення любых струмопровідних матеріалів тощо дає можливість справедливо займати йому достойне місце серед сучасних відновлюючих і зміцнюючих технологій [3].

До недоліків методу ЕІЛ можна віднести зчеплення і залипання його електроду-інструменту (ЕІ) (анода) з поверхнею деталі, яку легують (катоду). Особливо це проявляється коли необхідно проводити ЕІЛ деталей з корозійностійких нержавіючих сталей, які переважно більшістю використовуються в насосах на АЕС. При збільшенні енергії розряду (W_p), при легуванні на більш «грубих» режимах ЕІЛ, які характеризуються напругою 100–200 В і великою ємністю конденсаторної батареї (100–300 мкФ) [4] проблема стає більш актуальною.

Слід відмітити, що при зчепленні і залипання електродів аноду і катоду зменшуються параметри якості поверхневих шарів, нанесених при легуванні покриттів: шорсткості, суцільності і рівномірності. Крім цього значно зменшується продуктивність процесу ЕІЛ.

Формулювання мети дослідження

Таким чином, метою роботи є удосконалення технології ЕІЛ деталей з корозійних нержавіючих сталей АЕС, за рахунок підвищення продуктивності та покращення параметрів якості їх поверхонь (шорсткості, суцільності і рівномірності), шляхом усунення зчеплення (прилипання) електродів-інструментів з поверхнею деталі, яку легують.

Викладення основного матеріалу дослідження

В попередніх дослідженнях [5] відмічалось, що при відновленні деталей з нержавіючих сталей, які застосовують на АЕС, при використанні ЕІ з нержавіючої сталі 12X18H10T або нікелю при застосуванні енергії розряду $W_p > 0,13$ Дж, відбувається їх прилипання до оброблюваної поверхні, що, у свою чергу, призводить до зниження якості нанесеного покриття (підвищення шорсткості і зменшення суцільності і рівномірності нанесеного шару), а також зниження продуктивності процесу.

Для усунення проблеми було запропоновано наносити покриття на зношену поверхню у два етапи [6]. При цьому перед першим етапом нанесення покриття металевим ЕІ на зношену сталюю поверхню методом ЕІЛ наносять шар покриття графітовим ЕІ з енергією розряду $W_p = 0,02$ Дж і продуктивністю, $Q = 0,3$ см²/хв. Перший етап нанесення шару покриття на отриману поверхню виконують металевим ЕІ при $W_p = 0,20$ – $0,55$ Дж і $Q = 1,6$ – $2,5$ см²/хв, після чого отриману поверхню піддають другому етапу нанесення шару покриття тим же металевим ЕІ з $W_p = 0,55$ – $0,90$ Дж і $Q = 2,5$ – $3,4$ см²/хв. В результаті проведених досліджень [5, 6] залипання частково зменшилось.

В подальших дослідженнях для повного усунення залипання електродів, запропонований новий спосіб [7] при якому на поверхню, що легують, шляхом натирання (намазування) наносять порошок дисульфиду молібдену, що різко покращує процес легування за рахунок усунення зчеплення (прилипання) електродів. В цьому випадку при будь-яких значеннях енергії розряду при ЕІЛ зчеплення (прилипання) електродів аноду і катоду відсутнє.

З метою проведення порівняльних випробувань на установці електроіскрового легування моделі «Елітрон 52А» (рис. 1) проводили обробку 3-х партій зразків, розміром 15x15x8 мм зі сталі 12X18H10T (рис. 2, а). В якості ЕІ використовували стержні Ø3 мм і L = 30 мм з сталі 12X18H10T і нікелю. В першій партії зразки нічим попередньо не оброблялись (рис. 2, б). В другій партії зразки попередньо обробляли графітовим ЕІ (рис. 2, в), а в третій – поверхню, що легують, натирали порошком з дисульфиду молібдену (рис. 2, г).



а



б

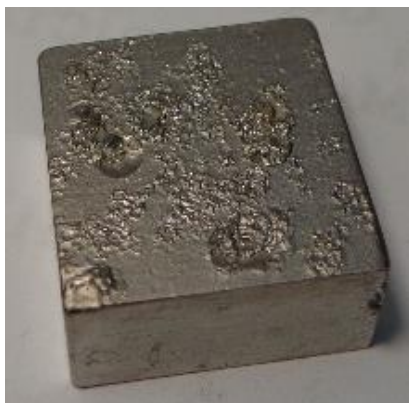
Рис. 1. Фотографія установки «Елітрон 52А» (а)
і профілографа-профілометра мод. 201 заводу 2Еалібр» (б)



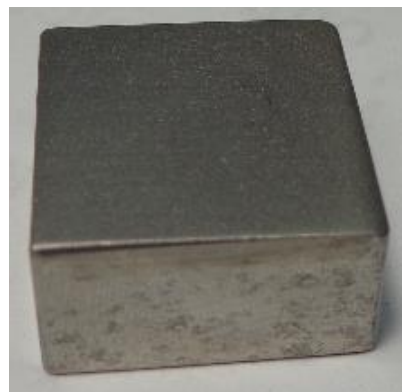
а



б



в



г

Рис. 2. Зразки сталі 12X18Н10Т: а – без покриття, б – без попередньої обробки і ЕІЛ сталю 12X18Н10Т,
в – після ЕІЛ графітом і сталю 12X18Н10Т, г – після натирання порошком дисульфіду молібдену
і ЕІЛ сталю 12X18Н10Т

При ЕІЛ зразка зі сталі 12Х18Н10Т ЕІ зі сталі 12Х18Н10Т і нікелем без попередньої обробки енергія розряду змінювалась з 0,04 до 0,9 Дж, а при обробці графітом і порошком дисульфиду молібдену, відповідно з 0,04 до 0,9 Дж і з 0,55 до 0,9 Дж. Шорсткість поверхонь зразків з покриттями і без покриття оцінювали за допомогою профілографа-профілометра заводу Калібр.

Результати параметрів якості при ЕІЛ поверхневого шару сталі 12Х18Н10Т ЕІ з сталі 12Х18Н10Т і нікелю зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати параметрів якості поверхні при ЕІЛ сталі 12Х18Н10Т ЕІ з сталі 12Х18Н10Т і нікелю

Енергія розряду, W_p , Дж	Продуктивність, cm^2/hv	Матеріал		Шорсткість, Rz , мкм	Суцільність, %
		Анод	Катод		
Без попередньої обробки поверхні зразка					
0,04	0,1	Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х18Н10Т	16	85
0,11	0,07			27	80
0,20	0,05			49	70
0,35	0,03			72	60
0,55	0,02			81	50
0,90	0,01			97	45
0,04	0,15	Нікель	Сталь 12Х18Н10Т	15	90
0,11	0,08			24	80
0,20	0,06			43	70
0,35	0,03			65	65
0,55	0,02			79	50
0,90	0,01			93	45
Обробка поверхні зразка ЕІЛ графітом					
0,02	0,3	Графіт	Сталь 12Х18Н10Т	1	100
0,04	0,4	Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х18Н10Т	7	100
0,11	1,5			12	95
0,20	1,6			19	90
0,35	1,6			41	80
0,55	2,0			51	70
0,90	2,7			62	60
0,02	0,3	Графіт	Сталь 12Х18Н10Т	1	100
0,55	2,3	Нікель	Сталь 12Х18Н10Т	38	100
0,90	3,0			49	85
Обробка поверхні зразка порошком дисульфиду молібдену					
0,04	0,4	Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х18Н10Т	4	100
0,11	1,7			9	100
0,20	2,0			11	100
0,35	2,3			31	100
0,55	2,5			41	100
0,90	3,4			52	100
0,55	2,5	Нікель	Сталь 12Х18Н10Т	31	100
0,90	3,4			42	100

В результаті аналізу таблиці встановлено, що при ЕІЛ сталі 12Х18Н10Т ЕІ зі сталі 12Х18Н10Т і нікелю без попередньої обробки поверхні зразка графітом або порошком дисульфиду молібдену при зростанні енергії розряду W_p з 0,04 до 0,35 Дж продуктивність ЕІЛ знижувалась відповідно з 0,1 до 0,01 і з 0,15 до 0,03 cm^2/hv , шорсткість Rz збільшувалась з 16 до 72 і з 15 до 65 мкм, суцільність зменшувалась з 85 до 60 і з 90 до 65 %. При ЕІЛ поверхні зразка зі сталі 12Х18Н10Т ЕІ зі сталі 12Х18Н10Т з попередньою обробкою поверхні зразка графітом при зростанні енергії розряду з 0,04 до 0,9 Дж, продуктивність ЕІЛ збільшувалась відповідно з 0,4 до 2,7 cm^2/hv ; шорсткість, Rz збільшується з 7 до 62 мкм; суцільність зменшувалась з 100 до 60 %. При ЕІЛ поверхні зразка зі сталі 12Х18Н10Т ЕІ з нікелю з попередньою обробкою поверхні зразка графітом при зростанні енергії розряду з 0,55 до 0,9 Дж, продуктивність ЕІЛ збільшувалась відповідно з 2,3 до 3,0 cm^2/hv , шорсткість Rz збільшувалась з 38 до 49 мкм, суцільність зменшувалась з 100 до 85 %. При ЕІЛ поверхні зразка зі сталі 12Х18Н10Т ЕІ зі сталі 12Х18Н10Т з попередньою обробкою поверхні зразка натиранням порошком дисульфиду молібдену при зростанні енергії розряду з 0,04 до 0,9 Дж продуктивність ЕІЛ збільшувалась відповідно з 0,4 до 3,4 cm^2/hv , шорсткість Rz збільшувалась з 4 до 52 мкм, суцільність при всіх значеннях енергії розряду становила 100 %. При ЕІЛ поверхні

зразка зі сталі 12X18N10T EI з нікелю, з попередньою обробкою поверхні зразка натиранням порошком дисульфиду молібдену, при зростанні енергії розряду з 0,55 до 0,9 Дж, продуктивність ЕІЛ збільшується відповідно з 2,5 до 3,4 см²/хв; шорсткість, Rz збільшується з 31 до 42 мкм; суцільність при всіх значеннях енергії розряду становила 100 %.

Висновки

1. Удосконалена технологія ЕІЛ корозійностійких сталей, що використовують для виготовлення деталей обладнання АЕС при якій на поверхню, що легують, шляхом натирання (намазування) наносять порошок дисульфиду молібдену, що різко покращує процес легування за рахунок усунення зчеплення (прилипання) електродів. В цьому випадку при будь-яких значеннях енергії розряду при ЕІЛ зчеплення (прилипання) електродів аноду і катода відсутне.

2. При порівнянні різних способів ЕІЛ сталі 12X18N10T EI зі сталі 12X18N10T встановлено, що при ЕІЛ без попередньої обробки поверхні зразка, в порівнянні з попередньою обробкою поверхні графітом і дисульфідом молібдену, при однакових значеннях енергії розряду, продуктивність, відповідно в 35 і 44 раз менше, шорсткість в 1,7 і 2,0 раз більше, а суцільність в 1,3 і 1,5 раз менше.

3. При порівнянні різних способів ЕІЛ сталі 12X18N10T EI з нікелю, встановлено, що при ЕІЛ без попередньої обробки поверхні зразка, в порівнянні з попередньою обробкою поверхні графітом і дисульфідом молібдену, при однакових значеннях енергії розряду, продуктивність, відповідно в 177 і 197 раз менше, шорсткість в 2,1 і 2,5 раз більше, а суцільність в 1,9 і 2,1 раз менше.

Acknowledgement

Результати частково отримано в рамках науково-дослідного проекту «Розробка екологічно безпечних технологій модифікації поверхні деталей обладнання електростанцій комбінованими методами, заснованими на електроіскровому легуванні» за фінансування Міністерства освіти і науки України (держ. реєстр. № 0124U000539, Сумський державний університет).

Список використаної літератури

1. Насосне устаткування в технологічній схемі АЕС. Режим доступу: <https://vseosvita.ua/library/embed/0100a91v-0886.docx.html>

2. Чалий Д.О., Тарнавський А.Б., Сукач Р.Ю., Веселівський Р.Б. Техногенна безпека АЕС: Навч. посібн.; Ч. II; Держ. служба України з надзвичайних ситуацій; Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. Львів: Каменяр, 2020. 340 с.

3. Tarelnyk V.B. Improving Ecological Safety when Forming Wear-Resistant Coatings on the Surfaces of Rotation Body Parts of 12Kh18N10T Steel Using a Combined Technology Based on Electrospark Alloying / V.B. Tarelnyk, O.P. Gaponova, V.B. Loboda, E.V. Konoplyanchenko, V.S. Martsinkovskii, Yu.I. Semirnenko, N.V. Tarelnyk, M.A. Mikulina, B.A. Sarzhanov // *Surf. Engin. Appl. Electrochem.* 2021. № 57, P. 173–184.

4. Глушко С.П. Дослідження технології електроіскрового нанесення покриттів, легування та зміцнення / С.П. Глушко // *Advanced Engineering Research*. 2021. № 21 (3). С. 253–259.

5. Пат. України на корисну модель 150213. Спосіб відновлення зношених поверхонь сталених деталей обладнання, яке підлягає радіаційному опроміненню. Тарельник Н.В. заяв. № у 202105262; опубл. 12.01.2022, Бюл. № 2.

6. Tarelnyk N.V., Properties of Surfaces Parts from X10CrNiTi18-10 Steel Operating in Conditions of Radiation Exposure Retailored by Electrospark Alloying. I. Features of Topography and Mechanical Properties of Coatings/ Tarelnyk N.V., *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2022. № 44 (8). P. 1037–1058. (in Ukrainian). DOI: 10.15407/mfint.44.08.1037

7. Пат. України на корисну модель 155134. Спосіб усунення зчеплення електродів при електроіскровому легуванні сталевих деталей обладнання, яке підлягає радіаційному опромінюванню. Тарельник Н.В. заяв. № у 2023 04455 (22); опубл. 17.01.2024, Бюл. № 3.

References

1. Nasosne ustatkuvannia v tekhnolohichnii skhemi AES [Pumping equipment in the technological scheme of nuclear power plants]. Retrieved from <https://vseosvita.ua/library/embed/0100a91v-0886.docx.html> [in Ukrainian].

2. Chalyi D.O., Tarnavskiy A.B., Sukach R.Iu., Veselivskiy R.B. (2020) *Tekhnohenna bezpeka AES [Man-made safety of nuclear power plants]*; Navch. posibn.; Ch. II; Derzh. sluzhba Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii; Lviv. derzh. un-t bezpeky zhyttiedialnosti. Lviv: Kameniar, 340 p. [in Ukrainian].

3. Tarelnyk V.B., Gaponova O.P., Loboda V.B., Konoplyanchenko E.V., Martsinkovskii V.S., Semirnenko Yu.I., Tarelnyk N.V., Mikulina M.A., Sarzhanov B.A. (2021) Improving Ecological Safety when Forming Wear-Resistant Coatings on the Surfaces of Rotation Body Parts of 12Kh18N10T Steel Using a Combined Technology Based on Electrospark Alloying. *Surf. Engin. Appl. Electrochem.*, 57, 173–184.

4. Hlushko S.P. (2021) Doslidzhennia tekhnolohii elektroiskrovoho nanesennia pokryttiv, lehuвання ta zmitsnennia [Research of the technology of electrospark coating, alloying and strengthening]. *Advanced Engineering Research*, 21 (3), p. 253–259. [in Ukrainian].
5. Tarel'nyk N.V. (2022). Pat. Ukrainy na korysnu model 150213. Sposib vidnovlennia znoshenykh poverkhon stalnykh detalei obladnannia, yake pidliahaie radiatsiinomu oprominenniu. Zaiav [The method of restoration of worn surfaces of steel parts of equipment subject to radiation exposure]. № u 202105262; opubl. 12.01.2022, Biul.№ 2.
6. Tarel'nyk N.V. (2022). Properties of Surfaces Parts from X10CrNiTi18-10 Steel Operating in Conditions of Radiation Exposure Retailored by Electrospark Alloying. I. Features of Topography and Mechanical Properties of Coatings, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol. Metallophysics and advanced technologies*, 44 (8), 1037–1058. [in Ukrainian].
7. Tarel'nyk N.V. (2024). Pat. Ukrainy na korysnu model 155134. Sposib usunennia zcheplennia elektrodів pry elektroiskrovomu lehuванні stalevykh detalei obladnannia, yake pidliahaie radiatsiinomu oprominiuvanniu [The method of eliminating adhesion of electrodes during electrospark alloying of steel parts of equipment subject to radiation exposure]. zaiav. № u 2023 04455 (22); opubl. 17.01.2024, Biul.№ 3.