



УДК 621.9.048

STUDY OF THE INFLUENCE OF ELECTRODE MATERIALS ON THE PROPERTIES SURFACE OF PARTS DURING RECOVERY BY THE METHOD OF ELECTRO SPARK TREATMENT

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОЇ ОБРОБКИ

Ivankova O.V. / Іванкова О. В.

c. t. s. as. prof / к. т. н., доц.

ORCID ID (0000-0003-1825-0262)

ResearcherID (Q-6470-2016)

Velit I. A. / Велит І. А.

c. t. s. as. prof / к. т. н., доц.

ORCID ID (0000-0003-1825-0262)

ResearcherID (Q-6470-2016)

Bartosh V. Yu. / Бартош В. Ю.

Automotor company, 12, Komarova str., Poltava, 36008, Ukraine

Автомоторна компанія, м. Полтава, вул. Комарова, 12, 36008

Yakimenko D.I. / Якименко Д. І.

Poltava State Agrarian Academy, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36000, Ukraine

Полтавська державна аграрна академія, Полтава, в. Сковороди 1/3, 36000

Анотація. Сучасне ремонтне виробництво потребує впровадження нових технологій відновлення поверхонь зношених деталей машин для підвищення їх експлуатаційних характеристик, надійності та довговічності. Тому, актуальними є дослідження з метою отримання оптимальних рішень по вибору електродних матеріалів та параметрів режимів при електроіскровому легуванні. В результаті проведених досліджень розроблена математична модель, яка описує вплив основних параметрів обробки і хімічного складу електродів на якість обробки. Встановлено, що при нарощуванні електродами із сплаву 150Х30 твердість підвищується у 2,2 рази у порівнянні з твердістю основного металу. Міцність зчеплення нарощеного шару забезпечується на рівні від 350 МПа до 644 МПа. Найвища зносостійкість досягається при використанні електродів з високовуглецевих, легованих хромом матеріалів.

Ключові слова: матеріали, властивості, електроди, відновлення, електроіскрова обробка, зносостійкість.

Вступ

В процесі експлуатації машин їх деталі зношуються, фізико-механічні властивості погіршуються, виникають та розвиваються механічні пошкодження. Забезпечення потрібних експлуатаційних властивостей сільськогосподарської техніки гарантує її стабільну роботу. Висока якість робочих поверхонь деталей після ремонту сприятиме підвищенню ресурсу машини. Це можливо шляхом застосування ефективних технологій відновлення зношених поверхонь деталей [1, 2]. Ремонтне виробництво потребує розробки і впровадження нових технологій відновлення із зміцненням поверхонь деталей машин для підвищення їх фізико-механічних характеристик.

Матеріали, які використовують для виготовлення деталей машин, визначають їх технологічність при виготовленні, надійність в експлуатації, економічність і ремонтпридатність. У машинобудуванні, найчастіше, використовують вуглецеві



конструкційні якісні сталі. Існує велика різноманітність конструкційних матеріалів, а також вимог до умов експлуатації деталей, складу покриттів та методів їх нанесення.

Тому, актуальним є проведення досліджень з метою отримання оптимальних рішень по виборі електродних матеріалів та параметрів режимів поверхневого зміцнення. [3, 4]

Мета - виявити вплив основних параметрів обробки і хімічного складу електродів на якість нарощуваного шару електроіскровою обробкою: на мікроструктуру, твердість, міцність зчеплення нарощеного шару з основним металом, зносостійкість поверхні відновлених деталей.

Об'єктом дослідження є залежність властивостей поверхні деталей відновлених методом електроіскрового нарощування (мікроструктури, мікротвердості) та експлуатаційних показників (міцності зчеплення нарощеного шару з основним металом та зносостійкості) від хімічного складу аноду та параметрів режиму.

При вирішенні поставлених завдань досліджень були використані методи: математичної статистики; металографічний аналіз, аналіз структурних процесів, узагальнення результатів проведених досліджень та порівняння і розробка на основі них висновків про оптимальні матеріали для відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки електроіскровим методом.

Матеріали, які використовуються для виготовлення деталей, визначають їх технологічність при виробництві, надійність в експлуатації, економічність і ремонтпридатність. Від матеріалу деталей машин і способів їх виробництва значною мірою залежать вибір методу і технології нанесення покриття, марки наплавлювальних матеріалів електродів і порошків [6, 7, 8].

Деталі із зносостійких матеріалів (високовуглецеві, високохромисті сплави, заєвтектоїдні сталі та чавуни), а також деталі з величиною зносу до 1,0 мм найдоцільніше відновлювати з використанням висококонцентрованих джерел енергії. До таких технологічних способів належить електроіскровий метод (ЕІО), який дозволяє для відновлення використовувати електроди близькі по властивостях цим сталям.

З моменту відкриття Лазаренками (1943 р.) електроерозійного методу обробки металів декілька наукових шкіл інтенсивно і дуже успішно працювали над розвитком даного напрямку [5, 6]. Наукові пошуки провадилися як у напрямку наукового проглиблення теорії процесів, так і у напрямку розробки технологій, що використовують імпульсні електричні розряди, зокрема, електроіскрове легування. Науковці Росії, України, Беларусі, Молдови, Чехії, Китаю та інших країн внесли свій вклад у розвиток галузі. Зокрема, Б. Н. Золотих, А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский, В. Н. Ткаченко, В. М. Верхотуров, А. И. Михайлюк, П. А. Абрамчук, Т. В. Глабец, В. І. Иванов О. Д. Мартиненко, О. А. Науменко, Т. С. Скобло, А. Д. Верхотуров, В. І. Иванов, І. М. Богатчук, І. Б. Прунько, С. І. Криштопа, Д. Ю. Петрина, Г. Г. Лобачова, Є. В. Іващенко та багато інших талановитих науковців. Було розроблено велику кількість технологічного обладнання для електроіскрової обробки металів.



Розглянемо можливості цього методу відновлення деталей, фізичні основи процесу, а також формовані властивості і структуру металу.

Суть методу електроіскрової обробки полягає в тому, що крапельки електроду відділяються і швидко кристалізуються, сплавляючись з металом поверхневого шару деталі. Метал, викинутий з анода імпульсом електричного струму, легує поверхневий шар деталі з формуванням високотвердих включень: нітридів, карбонітридів, цементиту і гартівних структур матриці [6, 11]. В період електроіскрового розряду через електроди проходить потужний (10^5 - 10^6 А/мм²) імпульс струму. Температура в міжелектродному зазорі досягає 10000-15000°C. Присутність в зоні високих температур, азоту повітря і різних легуючих елементів, що входять до складу анода, дозволяє не тільки нарощувати, але і легувати шар, покращуючи фізико-механічні і експлуатаційні властивості поверхні деталі. Тому формування покриття металу методом електроіскрової обробки часто називають методом електроіскрового легування (ЕІЛ). Процес супроводжується різноманітними фізико-хімічними перетвореннями, ефект отримуваний від його застосування залежить від багатьох чинників: електричних та кінематичних параметрів режиму обробки, легуючого і легovanого матеріалів, навколишнього середовища.

Вибір електродного матеріалу [10 - 12] визначається на фізико-механічними властивостями матеріалу деталі, яка відновлюється та умовами її експлуатації.

Дослідження явища масопереносу і зв'язку між параметрами процесу. При нарощуванні металу електроіскровим методом перенесення речовини з анода на катод відбувається в рідкій, твердій і газоподібній фазах, тому процес не є стабільним і формуються різні фаз. На них чинять вплив технологічні параметри процесу обробки. Їх взаємозв'язок з параметрами детально описані в роботах [11, 12, 15].

Як показали експериментальні дослідження і результати аналізу апріорної інформації [9, 12, 17], найбільше підвищення зносостійкості досягається при нанесенні покриттів з легованих матеріалів. Анод з таких матеріалів характеризується і підвищеною ерозійною стійкістю. Тому доцільно оцінити ефективність і якість покриттів з хромистих сплавів. Для досліджень ми обрали як анод леговані сплави, які можуть забезпечити високу зносостійкість (табл. 1).

Хромисті сплави відрізняються вмістом хрому і вуглецю. Такий набір матеріалів вибирається для того, щоб оцінити роль карбідоутворення, можливість формування різних зміцнюючих фаз при формуванні покриттів.

Основні чинники: концентрація вуглецю - (X_1) і хрому - (X_2) в металі анода; енергія імпульсу, $E_{\text{и}}$ - (X_3) та кількість проходів електроду при обробці, n - (X_4).

При розробці параметрів режиму технології, важливо знати не тільки вплив кожного чинника окремо, але і сумісну їх дію [12, 13, 14]. Відомо, що у ряді випадків взаємний вплив може виявитися більш значущим, ніж роль кожного чинника окремо. Для встановлення залежності впливу пропонованих чинників використовується метод планування експерименту - 2^4 .

Кожному чиннику привласнюється два кодовані значення:

- +1 - вміст вуглецю в матеріалі анода на верхній межі (2,8% C);
- 1 - вміст вуглецю в матеріалі анода на нижній межі (1,5% C);
- +1 - вміст хрому в матеріалі анода на верхній межі (30% Cr);
- 1 - вміст хрому в матеріалі анода на нижній межі (5,0% Cr);



- +1 - обробка з енергією імпульсу на верхній межі ($E_2=3,5$ дж);
- 1 - обробка з енергією імпульсу на нижній межі ($E_1=0,9$ дж);
- +1 - при нанесенні покриття використовували 6 проходів електроду;
- 1 - при нанесенні покриття використовували один прохід електроду.

Таблиця 1

Склад хромистих сплавів, використаних в якості анода

Номер	Склад компонентів, %	
	C	Cr
1	2,5	30,0
2	0,5	10,0
3	2,5	10,0
4	0,5	30,0
5	0,5	15,7
6	1,0	17,3
7	1,5	20,0
8	2,0	20,0
9	1,5	10,0
10	1,5	30,0
11	1,5	15,7
12	1,0	30,0

Для розрахунку математичної моделі (1) як параметр оптимізації прийнятий приріст катода $\Sigma\Delta k(Y)$, г/см².

Отримана математична модель має вигляд:

$$Y=0,84-0,38X_1-0,18X_2+0,83X_3+0,73X_4-0,48X_1X_3-0,33X_2X_3+0,32X_4X_3-0,12X_1X_4-0,12X_2X_4+0,62X_1X_2X_3+0,52X_1X_2X_4-0,48X_1X_3X_4-0,28X_2X_3X_4+0,28X_1X_2X_3X_4 \quad (1)$$

Перевірка поліноміальної моделі показала, що вона адекватна. Максимальний приріст катода досягається при енергії імпульсу і числі проходів на верхній межі значень, а також при концентрації вуглецю і хрому в аноді на нижньому. При аналізі парних взаємодій видно, що вуглець і хром не мають впливу на приріст катода, проте їх роль є значною при сумісній взаємодії з технологічними параметрами обробки - E і n .

Мікроструктуру нарощених зразків досліджували після травлення 4% розчином азотної кислоти в етиловому спирті. У випадку нарощування електродами із сплаву 1,5%С і 30,0%Cr за 1 прохід формується голчаста мартенситна структура (рис.1 а) з дрібним зерном, а при нарощуванні за 3 проходи – ферито-перлітна з характерним крупним зерном (рис. 1.б). При формуванні шару кількістю проходів більше трьох виявляється неоднорідність структури, а також визначає підвищення внутрішніх напружень [16].

Мікротвердість H_m зразків виміряли за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженні $P=50$ г. Середнє значення H_m для кожної точки обчислювали на підставі 5 вимірювань; середньоквадратичне відхилення складало $\pm(20...30)$.

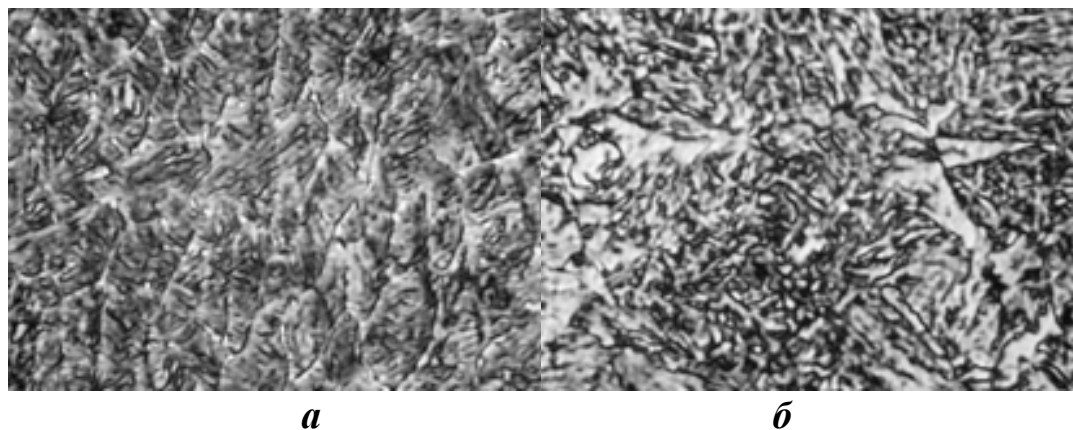


Рис. 1. Мікроструктура покриття: а - 1 прохід електроду; б - 3 проходи електроду

Аналізуючи рівень зміни твердості, маємо, що зона термічного впливу незначно змінюється. При нарощуванні електродами із сплаву 1,5%С і 30,0%Cr твердість підвищується у 2,2 рази у порівнянні з твердістю основного металу.

Випробування на зносостійкість зразків з нанесеним покриттям і без нього [12, 19] показують, що в нелегованих вуглецевих матеріалах втрата ваги практично не відрізняється від початкових зразків (за винятком сірого чавуну, який при обробці вибілюється). Найбільш висока зносостійкість в покритті досягається при використанні як анод високовуглецевих або низьковуглецевих легованих матеріалів. У табл. 3 приведені результати випробувань на знос.

Таблиця 2

Результати випробування зразків з покриттям на зносостійкість

Матеріал покриття	Маса зразка, г		Зміна маси, г	Величина зносу порівняно зі сталлю Ст.3
	початкова	кінцева		
Ст. 3	86,37	83,91	2,46	1,0
Сталь 40Х	88,40	86,68	1,72	0,70
СтальШХ15	79,95	79,62	0,33	0,13
Чавун сірий	89,15	88,05	1,10	0,45

З аналізу приведених експериментальних даних видно, що при нанесенні покриттів на сталі Ст.3, 40Х доцільно використовувати як анод леговані матеріали, особливо з підвищеним вмістом хрому, які крім збільшення зносостійкості забезпечують і високі показники жаростійкості і корозійної стійкості, малу схильність до графітизації і пошкоджуваності.

Виходячи з даних (табл. 2) середня зносостійкість, оцінена по втраті ваги, вказує на найбільш високі показники для зразків з легованих і нелегованих високовуглецевих сплавів (ШХ15, сірий чавун), на які нанесено покриття електродами з таких же матеріалів.

Оцінка зчеплення нарощеного шару з основним матеріалом. Міцність зчеплення нарощеного шару з основним оцінювали за методикою, розробленою А.П. Гуляєвим та Н.Т. Гудцовим.

Так як у нас відшаровування нанесеного електроіскровим нарощуванням шару від основного матеріалу не відбувається, то міцність зчеплення буде не менше, ніж значення, підраховане за формулою:



$$\sigma = 2 \frac{P}{d^2}, \quad (2)$$

Значення міцності зчеплення нарощеного шару з основним металом приведені у вигляді графіків (рис. 2).

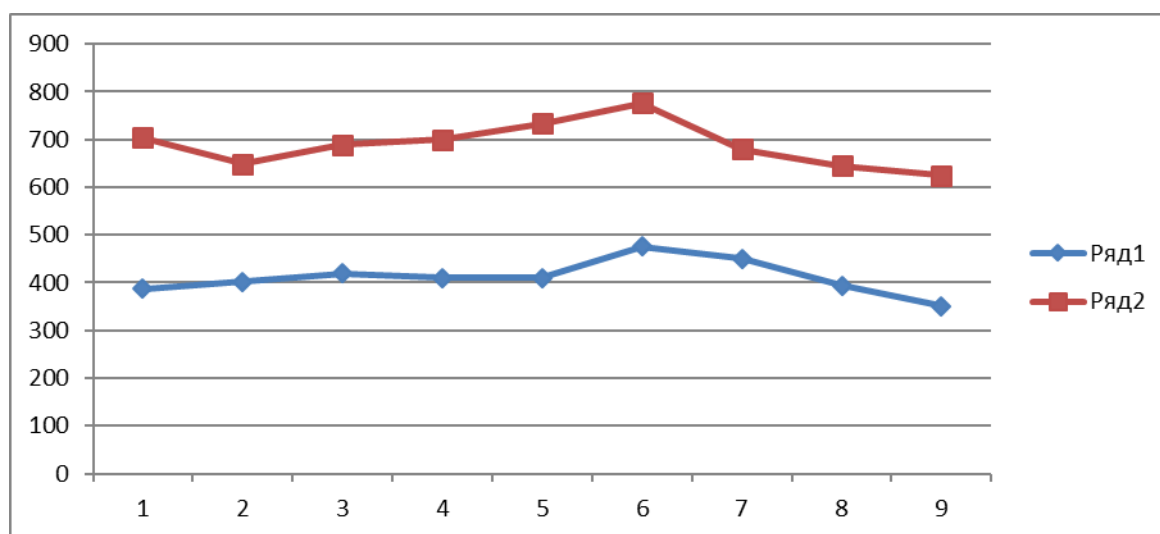


Рис. 2. Графіки міцності зчеплення нарощеного шару з основою.

ряд 1 - електроіскрове нарощування електродом 30X13;

ряд 2 - електроіскрове нарощування електродом 150X30

Визначивши максимальне і мінімальне значення, одержали, що при електроіскровому нарощуванні електродом марки 30X13 міцність зчеплення забезпечується на рівні не менше 350 МПа. А при електроіскровому нарощуванні електродом із сплаву 150X30 - не менше 644 МПа.

Заключення та висновки.

В результаті проведених дослідів розроблена математична модель, що описує вплив основних параметрів обробки і вмісту найбільш значущих компонентів, - вуглецю і хрому на якість нарощуваного шару електроіскровою обробкою. Отже, на підставі результатів цих досліджень підтверджується, що і в цьому випадку масоперенос металу з анода на катод визначається матеріалом анода, кількістю проходів електрода та енергією імпульсу. При нарощуванні електродами із сплаву 1,5%С і 30,0%Cr (150X30) твердість підвищується у 2,2 рази у порівнянні з твердістю основного металу. Найбільш висока зносостійкість в покритті досягається при використанні анодів з високовуглецевих легованих хромом матеріалів. Міцність зчеплення забезпечується на рівні від 350 МПа до 644 МПа.

Тому, розробка технології відновлення конкретних зношених деталей сільськогосподарської техніки методом електроіскрового легування, є актуальною задачею, яка вимагає проведення подальших досліджень по застосуванню електродних матеріалів та параметрів режимів процесу.

Література:

1. Corrosion and wear resistance improvement of magnesium alloys by laser cladding with Al-Si. / Bernabe Carcel, Jesus Sampedro, Ana Ruescas, Xavier Toneu.



// Aleaciones estampadas AESA, Camino del Bony S/N, Catarroja 46470, Spain. – 2011. – С. 353–363. doi:10.1016/j. phpro.2011.03.045

2. The corrosion and wear resistance of laser and mag weld deposits / A.Guzanová, M. Džupon, D. Draganovská, J. Brezinová. // Acta Metallurgica Slovaca. – 2020. – №26. – С. 37–41. DOI: 10.36547/ams. 26.2.557

3. Substantiation of parameters for the technological process of restoring machine parts by the method of plastic deformation / A. A. Dudnikov, V. V. Dudnik, O. V. Ivankova, O. A. Burlaka. // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2019. – С. 75–80. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156779>.

4. Іванкова О. В. Дослідження впливу зміцнюючих технологій відновлення деталей на ресурс машин / О. В. Іванкова, В. Ю. Бартош. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2019. – С. 54–61.

5. Афанасьев І. А. Шляхи підвищення післяремонтної надійності турбокомпресорів автотракторних двигунів / І. А. Афанасьєв, С. В. Калганков // Zbior artykulow naukowych. Konferencji Miedzyn arodowej Naukowo Praktycznej. - Warszawa –2016. –С. 6–11

6. Surface Hardening of 40KH Steel by Electric-Spark Alloying / S. I. Kryshtopa, D. Y. Petryna, I. M. Bogatchuk, I. B. Prun'k. // Journal Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2017. – С. 40–45 ISSN 1729-3774 DOI:10.15587/1729-4061.2017.91615

7. Kalyon Ali. Optimization of machining parameters in sinking electrical discharge machine of caldie plastic mold tool steel / Kalyon Ali. // Academy Proceedings in Engineering Sciences, 2020– С. 65. DOI:10.1007/s12046-020-1305-8

8. Asit Khanra. Application of new tool material for electrical discharge machining (EDM) / Asit Khanra, Lokesh C Pathak, M. M. Godkhindi. // Bulletin of Materials Science. – 2009. – С. 401–405. DOI: 10.1007/s12034-009-0058-0

9. Скобло Т. С. Повышение износостойкости маслоъемных поршневых колец: сборник научных трудов / Т. С. Скобло, А. Д. Мартыненко, Д. А. Мартыненко // Вісник Харківського нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка / ХНТУСГ. - Х., 2013. - Вип. 133: Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. - С. 310-316. - ISBN 5-7987-0176X

10. Smolina I. The influence condition of electro-spark alloying by Al and sequent laser treatment on surface layer of steel GradeB A284 / I. Smolina, N. Franchik, G. Lobachova. // Journal “Challenges of modern technology”. – 2011. – С. 25–28, ISSN 2082-2863.

11. Відновлення деталей сільськогосподарської техніки методом електроіскрової обробки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: за спец. 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва: захищена 20010313/ О.Д. Мартиненко; наук. кер. О. А. Науменко; Харків. держ. техн. ун-т сіл. госп-ва. - Харків: 2001. - 20 с.

12. Повышение качества покрытий нанесенных электроискровым методом / Т. С. Скобло, А. Д. Мартыненко, А. В. Харьяков, А. В. Тихонов, А. Н.



Килимник // Вісник Харк. держ. техн. ун-ту сіл. госп-ва: зб. наук. пр. / ХДТУСГ. - Харків, 2004. - Вип. 23: Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. - С. 191-198

13. Богатчук І. М. Реставрація поверхонь шипів хрестовин карданних валів автомобілів за допомогою електроіскрового наросування / І. М. Богатчук, І. Б. Прунько // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХП": зб. наук. пр. Темат. вип.: Автомобіле- та тракторобудування. – Харків. 2015. – № 8 (1117). – С. 36-41

14. Богатчук І. М. Реставрація робочих поверхонь штовхачів клапанів двигунів електроіскровим легуванням з застосуванням мідних електродів / І. М. Богатчук, І. Б. Прунько // Проблеми трибології. - 2016. - № 3. - С. 69-72. -

15. Поверхнєве зміцнення сталі 40Х електроіскровим легуванням [Електронний ресурс] / С. І. Криштопа, Д. Ю. Петрина, І. М. Богатчук, І. Б. Прунько, В. М. Мельник // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2017. - Т. 53, № 3. - С. 56-62.

16. Прунько І. Б. Структура і залишкові напруження в поверхневому шарі сталі 45 після електроіскрового оброблення електродами зі сплавів Т15К6 та ВК8 / І.Б. Прунько, Ю.І. Богатчук, М.М. Студент.// Міжвузівський збірник Наукові нотатки. – Луцьк, 2009. – С.255 – 260

17. Зносостійкість поверхневих зон сплавів заліза після електроіскрового легування та лазерної обробки у насичувальних середовищах комплексного складу / С. І. Сидоренко, Є. В. Іващенко, Г. Г. Лобачова, Н. В. Франчік. // Проблеми тертя та зношування. – 2014. – С. 105 – 109.

18. Саржанов Б. А. Новий спосіб підвищення якості покриттів при відновленні деталей методом електроерозійного легування / Б. А. Саржанов. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2019. – С. 96–102.

19. Методика лабораторно-експресних досліджень на абразивний знос партертя «шток–ущільнення» гідравлічних насосів / Я. М. Дрогомирецький,

І. М. Богатчук, І. Б. Прунько, Ю. І. Богатчук. // Проблеми трибології. – Хмельницький. – 2008. – С. 11 – 17.

Abstract. Modern non-production repairs require the introduction of new technologies to restore the surfaces of worn machine parts to improve their performance, reliability and durability. Therefore, the study is relevant in order to obtain optimal materials for the choice of electrical materials and mode parameters in electrospark doping. As a result of the conducted researches the mathematical model which describes influence of the basic parameters of processing and chemical composition of electrodes on quality of processing is developed. It is established that when building up with electrodes from 150X30 alloy, the hardness increases 2.2 times in comparison with the hardness of the base metal. The bond strength of the extended layer is provided at the level from 350 MPa to 644 MPa. The highest wear resistance is achieved when using electrodes made of high-carbon, chromium-doped materials.

Key words: materials, properties, electrodes, restoration, electrospark treatment, wear resistance

Стаття відправлена 07.10.2020р.

© Іванкова О. В.