

УДК 519.21

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.106.0.22

## ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ НА ПОКАЗНИКИ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ГІДРОМОЛОТА

Глушкова Д. Б.<sup>1</sup>, Волчук В. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

**Анотація.** Дослідження впливу структури на механічні властивості деталей гідромолота, отриманих із застосуванням багатоманітних підходів поверхневого зміцнення, і вибір ефективного підходу до збільшення терміну експлуатації цих деталей є актуальним завданням. Зміцнення корпусу та бойка гідромолота здійснювалось способом електроіскрового легування з метою захисту від корозії, зношення, налипання на поверхню контактуючих матеріалів. Визначено, що на поверхнях корпусу та втулки, що зміцнювалися електроіскровим легуванням, отримано легований шар, який має товщину 10–40 мкм і визначається показниками твердості за Віккерсом, що дорівнюють 600–650 одиницям. Отримані фрактальні моделі, які можна визначити як базу знань для контролю показників міцності корпусу бойка, що дозволяють контролювати його залишковий ресурс у процесі експлуатації. Визначено, що показники міцності деталей збільшуються у разі підвищення показників фрактальної розмірності сорбітної складової, оскільки вона має кращі показники міцності, як порівняти з вихідною ферито-перлітною структурою.

**Ключові слова:** електроіскрове легування, сорбіт, мікроструктура, гідромолот, фрактальна розмірність, прогноз.

### Вступ

Для забезпечення високих показників зносостійкості та міцності втомі деталей гідромолота не завжди раціонально змінювати стандартну технологію виготовлення деталі та методи її термічного оброблення. Різноманітні види оброблень застосовуються лише відповідно до потрібного виробу. У деяких випадках варто застосувати його поверхневе зміцнення.

### Аналіз публікацій

На сьогодні існує декілька технологій поверхневого зміцнення, кожна з яких має свої переваги та недоліки [1–6]. Найбільш поширеними є лазерне термічне зміцнення, електроіскрове легування, гальванічне хромування, іонно-плазмове зміцнення, газодетонаційне напилення, вакуумно-плазмове зміцнення, наплавлення робочих поверхонь.

Дослідження впливу на зміну структури та властивостей деталей гідромолота різноманітних методів поверхневого зміцнення та вибір найбільш ефективного методу збільшення терміну їх експлуатації є актуальним завданням.

Хромування є одним із найпоширеніших видів гальванічних покриттів. У техніці хромування виробів застосовується для захисту від корозії, зношення, налипання на поверхню контактуючих матеріалів. Залежно від

технології та режимів нанесення, хромові покриття досягають до 950–1100 HV мікротвердості. Висока твердість та зносостійкість, низький коефіцієнт тертя, висока жаро- та гарна хімічна стійкість забезпечують деталям, покритим хромом, високий ресурс у будь-яких умовах експлуатації [7, 8].

### Мета та постановка завдання

Метою роботи є оцінювання впливу електроіскрового легування на показники терміну експлуатації деталей гідромолота.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1 розробити режими електроіскрового легування;

2 здійснити аналіз розташування зон пошкоджень та визначити їхній тип на деталях, зміцнених електроіскровим легуванням. Ідентичні спостерігаються на випробуваних деталях, виготовлених без додаткового зміцнення та із застосуванням ЛТО;

3 застосувати фрактальний аналіз для оцінювання впливу електроіскрового легування на показники терміну експлуатації деталей гідромолота.

### Матеріал і методи дослідження

У процесі хромування застосовували аноди з чистого свинцю або сплаву свинцю з 4–6% сурми. Аноди виготовляють із стриж-

нів, діаметром 10–15 мм, або листів. Співвідношення між поверхнею анодів та катодів має бути в межах від 1:2 до 2:3. Свинцеві аноди в процесі роботи покривалися шаром хромовоокислого свинцю, що ускладнювало роботу. У перервах між роботою аноди виймали із ванни та занурювали у воду.



Рис. 1. Гальванічна ванна

Усі деталі зміцнювали електроіскровим легуванням вольфрамом. Потужність струму оброблення становила 1 кВт. Піку, крім зміцнення вольфрамом, додатково обробляли електроіскровим легуванням хромом з потужністю струму 1,5 кВт. Оброблені електроіскровим легуванням поверхні шліфували до отримання шорсткості зміцнених поверхонь деталей R a 04–08.

У процесі мікродослідження зміцнених електроіскровим легуванням ділянок, що знаходяться поза зоною навантаження під час випробування, було визначено, що на корпусі та втулці зміцнені електроіскровим легуванням ділянки мають товщину 10–40 мкм та твердість HV 600–650. На бойках вихідна товщина зміцненого шару становить 20 мкм із твердістю HV 600–650. Зміцнені зони в перерізі є дугоподібними, впровадженими поверхневими шарами металу деталей фазами. Якихось структурних змін під цією зоною в основному металі не визначено.

### Експериментальні результати та їх обговорення

Вивчення зносостійкості деталей, які зміцнювалися з використанням електроіскровим легуванням, здійснювалося за стандартною методикою.

Дослідження здійснювали до появи в порожнинах корпусу, втулки, на бойку та піку структури зношення, що аналогічним способом отримана на деталях, що не піддавалися

зміцненню. Початкові структурні ознаки зношення поверхні деталей під виглядом дрібних рисок-задирів ідентифіковані на піку в зонах «М» і «F» (див. рис. 2) після проведення 300 циклів навантаження, на поверхні втулки – після 450 циклів навантаження, на робочих поверхнях бойку та корпусу – після 350 та 500 циклів навантаження.

Після проведення 1300 циклів навантаження тип та ступінь ушкодження деталей гідромолота відповідали деталям неукріпленого комплекту.

Наведений діаметр каналів корпусу в зоні зрізу збільшився до 125,5 мм, бойок у зоні «N» (рис. 3) зазнав зношення на 0,35 мм, у зоні «F» – на 0,55 мм. Зношення поверхні піки залишилось на позначках 0,35 та 1,15 мм.

Загальний вид пошкоджень деталей, зміцнених електроіскровим обробленням, у процесі випробувань наведено на рис. 2 та рис. 3.

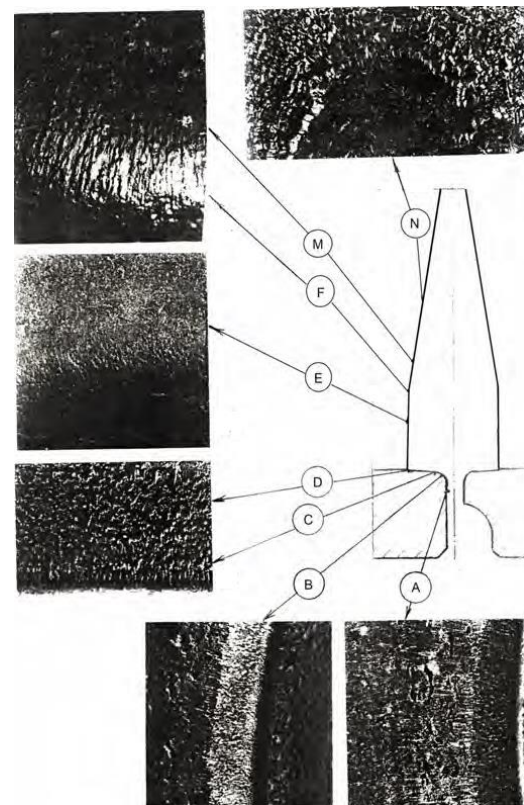


Рис. 2. Зношення піки та втулки, зміцнених 20 мкм із твердістю HV 600–650. Зміцнені зони в перерізі мають вигляд  $\times 3$

Зони ушкодження корпусу і втулки ідентичні з їхніми зонами зношення, які додатково не зміцнювали. Тип ушкоджень також ідентичний тому, що спостерігався раніше, але ступінь ушкоджень після процесу накле-

пу, а також тріщиноутворення, деформація деталі, зношування з утворенням борозен суттєво більші.

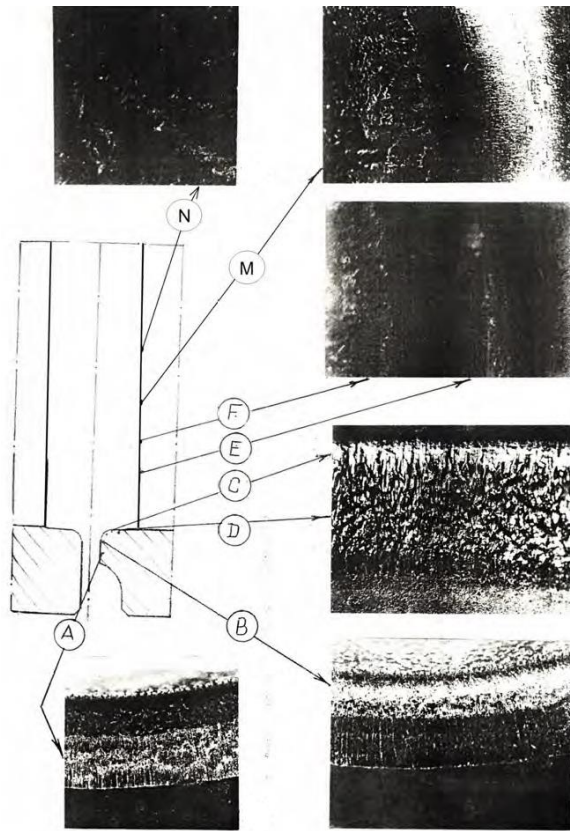


Рис. 3. Пошкодження корпусу та бойка, зміцнених детонаційним напиленням,  $\times 3$

Визначається менший ступінь розвитку борозен у зоні «В» на поверхні корпусу бойка, як порівняти з поверхнею втулки. У зоні «С» спостерігається інтенсивне зношення із утворенням рельєфної поверхні, яка більшою мірою розвинена на корпусі бойка. Притертість вихідної поверхні під виглядом плям спостерігається в зонах «D».

Зона «N» – зона бойка та піки – це кругла пляма, діаметром  $\sim 14$  мм, яка має заглажену та наклепану поверхню, що трансформується у складкоподібний рельєф із загальною спрямованістю. Чітко розгалужений рельєф, утворений борознами, які мають радіальну спрямованість, описує зону «M». Водночас на піку ступінь розвитку рельєфу більший на відміну від рельєфу бойка. Зони «F» мають наклеп та заглажені поверхні.

На піку спостерігається певна шорсткість та лущення поверхні деталі. У зоні «E» спостерігаються ознаки рівномірного зношування та наклепу. На верхніх деталях гідромолота, тобто на корпусі та бойку, зафіксовані темні кольори побіжалості та нагару.

На поверхнях деталей після випробування спостерігається зношування зміцнених електроіскровим обробленням поверхневих шарів, про що свідчать деталі на рис. 4 та рис. 5. На поверхні деталей наявні тріщини; сам метал вздовж стінок цих тріщин має гладку форму та вкритий густим шаром оксидів. На корпусі та втулці тріщини, глибиною 0,1–0,3 мм, зосереджені в зонах «В». На бойку та піку тріщини сіткової орієнтації, глибиною 0,1–0,3 мм, спостерігаються в зонах «N», «M» та «F». Найбільші тріщини, що мають глибину 0,3 мм, зафіксовані в зоні «M» бойка (глибина тріщини 0,1 мм – для піки).

На поверхнях розглянутих деталей зміцнений за допомогою електроіскрового легування шар залишився лише на окремих ділянках. На корпусі та втулці, що описуються зонами «В» та «С», такий шар має товщину від 5 мкм до 10 мкм. На бойку та піку лише вздовж поверхонь «F» спостерігаються залишки шару із товщиною від 30 мкм до 100 мкм. У досліджуваних зонах «N», «M» та «E» за допомогою електроіскрового легування такого шару не виявлено.

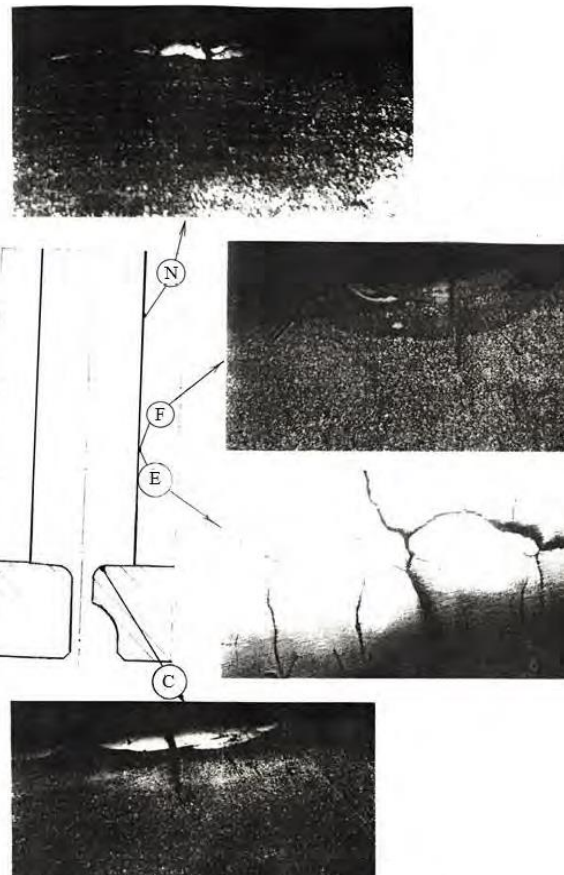


Рис. 4. Зміна структури матеріалу корпусу та бойка, зміцнених електроіскровим легуванням,  $\times 100$

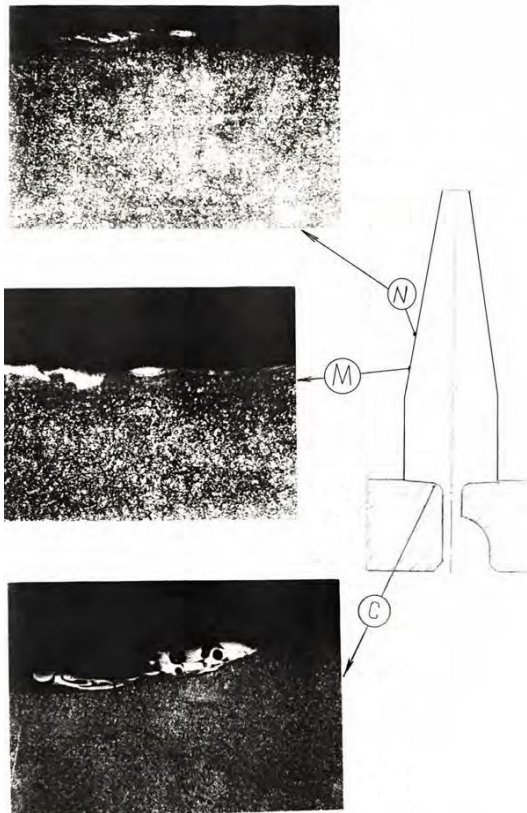


Рис. 5. Зміна структури матеріалів піки та втулки, зміцнених електроіскровим легуванням,  $\times 100$

Основний метал для усіх деталей гідромолота в робочих ушкоджених поверхнях зазнав структурних змін та змін за твердістю. Структурні зміни, що відбулися на корпусі та втулці приблизно на глибині 0,1 мм з показниками твердості за Віккерсом 400–500 одиниць, спостерігаються в зонах «В» та в зоні піки – «С». Відповідно, у зонах «А» та «D» такі структурні зміни не зафіксовані.

На бойку та піку структурні зміни відсутні лише в зонах «Е». У зонах «N», «M» та «F» структурні зміни відбулися на глибині 0,1–0,3 мм для бойка та 0,05–0,1 мм для піки. Твердість поверхні в цих зонах бойка становить 420–500 HV, для піки – 400–460 HV. Структура металу тростито-мартенситна та тростито-сорбітна.

Мікроструктура основного металу деталей складається із сорбіту. Механічні властивості деталей аналізувалися за температури 20°C на зразках, які вирізані у осьовому та тангенційному напрямках.

Оскільки сорбітна структура важко піддавалася ідентифікації з використанням традиційних методик кількісної металографії, то її оцінювали із використанням теорії фракталів [9,10].

Обчислення фрактальної розмірності  $D$  структури корпусу бойка за збільшення на 100 здійснювалося за класичною формулою Хаусдорфа:

$$D = -\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln N(\delta)}{\ln \delta} \quad (1)$$

де  $d$  – лінійний розмір клітинки, якими покривається структура,  $N(\delta)$  – кількість клітин.

Результати фрактального аналізу структури корпусу бойка наведено на рис. 6–рис. 9.

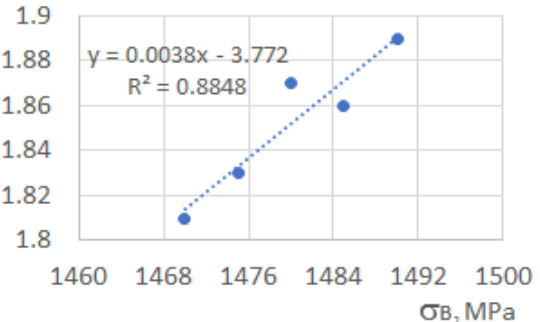


Рис. 6. Співвідношення між фрактальною розмірністю сорбіту поверхні корпусу бойка  $D$  та  $\sigma_B$ , обчисленої для осьових зразків

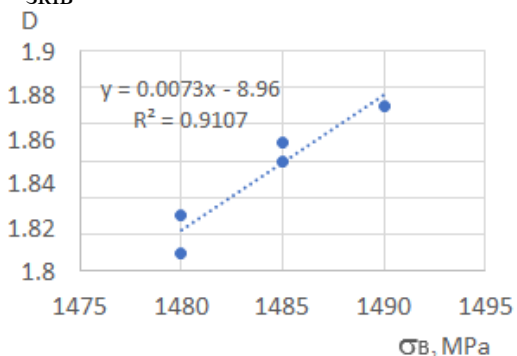


Рис. 7 Співвідношення між фрактальною розмірністю сорбіту поверхні корпусу бойка  $D$  та  $\sigma_B$ , обчисленої для радіальних зразків

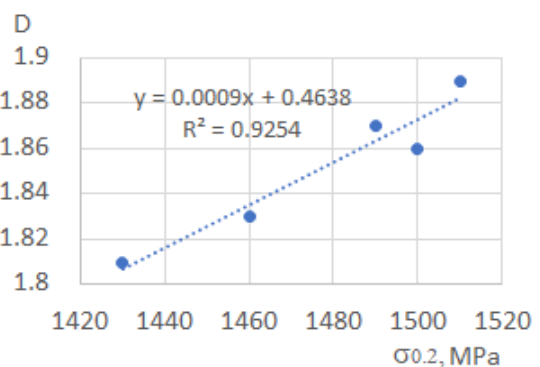


Рис. 8. Співвідношення між фрактальною розмірністю сорбіту поверхні корпусу бойка  $D$  та  $\sigma_{0.2}$ , обчисленої для осьових зразків

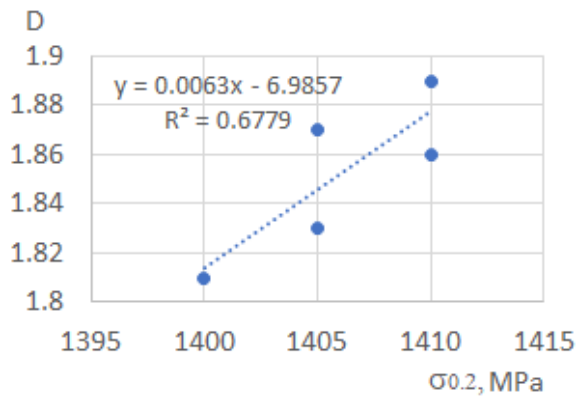


Рис. 9. Співвідношення між фрактальною розмірністю сорбіту поверхні корпусу бойка D та  $\sigma_{0.2}$ , обчисленої для радіальних зразків

Отримані результати дозволяють спрогнозувати показники міцності корпусу бойка гідромолота за фрактальною розмірністю фотознімків мікроструктури в разі збільшення на 100.

### Висновки

1. Електроіскрове легування поверхні деталей вольфрамом та хромом за номінальної потужності оброблення 1–1,5 кВт забезпечує локальне зміцнення поверхневих шарів деталей гідромолота на глибину 10–40 мкм і твердість HV у межах 600–650 одиниць.

2. Результати випробувань деталей, зміцнених електроіскровим легуванням, вказують на збільшення зносостійкості деталей в 1,3 раза, як порівняти з початковим (без додаткового зміцнення) варіантом.

3. Місця дислокації зон ушкоджень та їхній тип на деталях, які зміцнювали електроіскровим легуванням, майже не відрізняються від випробуваних деталей, що виготовлялися без операції додаткового зміцнення та з використанням ЛТО.

4. Зміцнений за допомогою електроіскрового легування шар визначається відносно більшим ступенем розвитку ушкоджень у разі порівняння із неукріпленим варіантом. На корпусі та втулці в зонах «А» (зріз) та «D» (канал зміцнений шар був майже зношений, але в інших зонах збереглися ділянки шару, отриманого з використанням електроіскрового легування із товщиною 5–10 мкм. На бойках наявні залишки ділянки після електроіскрового легування, а така сама товщина зафіксована лише в зоні «F».

5. Структурні трансформації, які відбуваються в процесі випробувань у поверхневих шарах деталей, є визначальними для явищ

вторинного загартування з одержанням більш низького рівня твердості, ніж це зафіксовано на деталях останніх варіантів.

6. Визначено зв'язок між фрактальною розмірністю сорбітної структури та характеристиками міцності, що дозволяє використовувати отримані результати як неруйнівний метод контролю міцності деталей після електроіскрового легування.

### Література

- Vahrusheva V. S., Hlushkova D. B., Volchuk V. M., Nosova T. V., Mamhur S. I., Tsoukur N. I., Bagrov V. A., Demchenko S. V., Ryzhkov Yu. V., Scrypnikov V. O. Increasing the corrosion resistance of heat-resistant alloys for parts of power equipment. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2022. No. 4(140). Pp. 137–140 <https://doi.org/10.46813/2022-140-137>.
- Lozynskiy V., Trembach B., Katinas E., Sadovyi K., Krbata M., Balenko O., Krasnoshapka I., Rebrova O., Knyazev S., Kabatskiy O., Kniazieva H., Ropyak L. Effect of exothermic additions in core filler on arc stability and microstructure during self-shielded, flux-cored arc welding. *Crystals*. 2024. No.14. P. 335 <https://doi.org/10.3390/cryst14040335>.
- Hlushkova D. B., Kalinin A. V., Kalinina N. E., Volchuk V. M., Saenko V. A., Efimenko A. A. STUDY OF NANOMODIFICATION OF NICKEL ALLOY GS3 WITH TITANIUM CARBIDE. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2023. No. 44(2). Pp. 126–129 <https://doi.org/10.46813/2023-144-126>.
- Skoblo T. S., Sidashenko O. I., Saichuk O. V., Klochko O. Y., Levkin D. A. Influence of stresses on structural changes in gray cast iron. *Materials Science*. 2020. No. 56(3). Pp. 347–358.
- Vafaeva K. M., Zegait R. Carbon nanotubes: revolutionizing construction materials for a sustainable future: A review. *Research on Engineering Structures and Materials*. 2024. No. 10(2). Pp. 559–621.
- Hlushkova D. B., Bagrov V. A., Saenko V. A., Volchuk V. M., Kalinin A. V., Kalinina N. E. Study of wear of the building-up zone of martensite-austenitic and secondary hardening steels of the Cr-Mn-Ti-system. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2023. No. 144(2). Pp. 105–109 <https://doi.org/10.46813/2023-144-105>.
- Mihailov V., Kazak N., Ivashcu S., Ovchinnikov E., Baciu, C., Ianachevici, A. Zunda, Synthesis of Multicomponent Coatings by Electrospark Alloying with Powder Materials. *Coatings*. 2023. No. 13(3). Pp. 651. <https://doi.org/10.3390/coatings13030651>.
- Hlushkova D. B., Volchuk V. M., Demchenko S. V., Polyansky P. M. DEVELOPMENT OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR PLASMA COATING DEPOSITION. *Prob-*

- lems of Atomic Science and Technology. 2024. No. 1(149). Pp. 138–144. <https://doi.org/10.46813/2024-149-138>.
9. Hlushkova D. B., Volchuk V. M., Polyansky P. M., Saenko V. A., Efimenko A. A. Fractal modeling the mechanical properties of the metal surface after ion-plasma chrome plating. *Functional Materials*. 2023. No. 30(2). Pp. 275–281. <https://doi.org/10.15407/fm30.02.275>.
10. Hlushkova D. B., Volchuk V. M. Fractal study of the effect of ion plasma coatings on wear resistance. *Functional Materials*. 2023. No. 30(3). Pp. 453–457. <https://doi.org/10.15407/fm30.03.453>.

### References

1. Vahrusheva, V. S., Hlushkova, D. B., Volchuk, V. M., Nosova, T. V., Mamhur, S. I., Tsoukur, N. I., Bagrov, V. A., Demchenko, S. V., Ryzhkov, Yu. V., Scrypnikov, V. O. Increasing the corrosion resistance of heat-resistant alloys for parts of power equipment. *Problems of Atomic Science and Technology* 2022. No.4(140). Pp. 137–140 <https://doi.org/10.46813/2022-140-137>.
2. Lozynskiy, V., Trembach, B., Katinas, E., Sado-vyi, K., Krbata, M., Balenko, O., Krasnoshapka, I., Rebrova, O., Knyazev, S., Kabatskiy, O., Kniazieva, H., Ropyak, L. Effect of exothermic additions in core filler on arc stability and microstructure during self-shielded, flux-cored arc welding. *Crystals*. 2024. No. 14. Pp. 335 <https://doi.org/10.3390/cryst14040335>.
3. Hlushkova, D. B., Kalinin, A. V., Kalinina, N. E., Volchuk, V. M., Saenko, V. A., Efimenko, A. A. STUDY OF NANOMODIFICATION OF NICKEL ALLOY GS3 WITH TITANIUM CARBIDE. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2023. No. 144(2). Pp. 126–129 <https://doi.org/10.46813/2023-144-126>.
4. Skoblo, T. S., Sidashenko, O. I., Saichuk, O. V., Klochko, O. Y., Levkin, D. A. Influence of stresses on structural changes in gray cast iron. *Materials Science*. 2020. No. 56(3). Pp. 347–358.
5. Vafaeva, K. M., Zegait, R. Carbon nanotubes: revolutionizing construction materials for a sustainable future: A review. *Research on Engineering Structures and Materials*. 2024. No. 10(2). Pp. 559–621.
6. Hlushkova, D. B., Bagrov, V. A., Saenko, V. A., Volchuk, V. M., Kalinin, A. V., Kalinina, N. E. Study of wear of the building-up zone of martensite-austenitic and secondary hardening steels of the Cr-Mn-Ti-system. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2023. No. 144(2). Pp. 105–109 <https://doi.org/10.46813/2023-144-105>.
7. Mihailov, V., Kazak, N., Ivashcu, S., Ovchinnikov, E., Baciu, C., Ianachevici, A. Zunda, Synthesis of Multicomponent Coatings by Electrospark Alloying with Powder Materials. *Coatings*. 2023. No. 13(3). Pp. 651. <https://doi.org/10.3390/coatings13030651>.
8. Hlushkova, D. B., Volchuk, V. M., Demchenko, S. V., Polyansky, P. M. DEVELOPMENT OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR PLASMA COATING DEPOSITION. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2024. No. 1(149). Pp. 138–144; <https://doi.org/10.46813/2024-149-138>.
9. Hlushkova, D. B., Volchuk, V. M., Polyansky, P. M., Saenko, V. A., Efimenko, A. A. Fractal modeling the mechanical properties of the metal surface after ion-plasma chrome plating. *Functional Materials*. 2023. No.30(2). Pp. 275–281. <https://doi.org/10.15407/fm30.02.275>.
10. Hlushkova, D. B., Volchuk, V. M. Fractal study of the effect of ion plasma coatings on wear resistance. *Functional Materials*. 2023. No.30(3). Pp. 453–457 <https://doi.org/10.15407/fm30.03.453>.

Глушкова Діана Борисівна<sup>1</sup>, д.т.н., проф., зав. каф. технології металів та матеріалознавства, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua), тел. +38 (057)707-37-29,

Волчук Володимир Миколайович<sup>2</sup>, д.т.н., проф., зав. каф. матеріалознавства та обробки металів, тел. +38 097-334-75-88, [volchuk.volodymur@gmail.com](mailto:volchuk.volodymur@gmail.com),

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,

<sup>2</sup>Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Арх. О. Петрова, 24-а, м. Дніпро, 49600, Україна.

### The use of fractal analysis to assess the influence of electrospark alloying on the durability indicators of hydraulic hammer parts

**Abstract. Statement of the problem.** In order to increase the wear resistance and fatigue strength of the material of hydraulic hammer parts, it is not always advisable to change the traditional technology of manufacturing the part and, in particular, the methods of its heat treatment. Different types of finishing are applied only specifically to the given product. In some cases, it is worth applying surface strengthening of the product. **Purpose and problem statement.** The purpose of the work is to evaluate the impact of electrospark alloying on the durability indicators of hydraulic hammer parts. In order to achieve the set goal, it is necessary to: develop modes of electrospark alloying; conduct an analysis of the location of damage zones and their nature on parts strengthened by electrospark alloying, identical to those observed on tested parts manufactured without additional strengthening and with the use of LTO; Apply fractal analysis to evaluate the impact of electrospark alloying on the durability indicators of hydraulic hammer parts. **Research material and methods.** All details were strengthened by electrospark alloying with tungsten. The power of the processing current was 1 kW. The peak, in addition to strengthening with tung-

sten, was additionally processed by electrospark alloying with chromium at a current of 1.5 kW. The surfaces processed by electrospark alloying were ground to obtain the roughness of the strengthened surfaces of parts R and 04–08. **Experimental results and their discussion.** During the micro-examination of areas strengthened by electrospark alloying, which are outside the load zone during the test, it was established that the areas strengthened by electrospark alloying on the body and sleeve have a thickness of 10–40  $\mu\text{m}$  and a hardness of  $H V$  600–650. On the strikers, the initial thickness of the hardened layer is 20  $\mu\text{m}$  with a hardness of  $HV$  600–650. The strengthened zones in the cross-section have the appearance of arc-shaped, embedded surface layers of metal parts, phases. There are no structural changes under this zone in the main metal. **Conclusions.** The results of tests of parts strengthened by electrospark alloying show that the wear resistance of the parts is increased by 1.3 times compared to the original state of the parts. Fractal models were obtained, which can be interpreted as a knowledge base for monitoring the strength indicators of the striker body, which allow monitoring its residual resource during operation. It was established that the strength indicators

increase when the fractal dimension of the sorbite component increases, since it has better strength indicators compared to the original ferrite-pearlite structure. Indicators of pairwise correlation coefficients of the obtained models are fixed in the interval of values 0.6779...0.9254.

**Keywords:** electrospark alloying, sorbitol, microstructure, hydraulic hammer, fractal dimension, forecast.

**Hlushkova Diana**<sup>1</sup>, Doct. Sc. (Tech.), Head of the Department of Technology of Metals and Materials Science, ORCID: 0000-0001-8612-6584, e-mail: [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua),

**Volchuk Volodymyr**<sup>2</sup>, Doct. Sc. (Tech.), Head of the Department of Materials Science and Materials Processing, ORCID: 0000-0001-7199-192X, e-mail: [volchuk.volodymyr@gmail.com](mailto:volchuk.volodymyr@gmail.com),

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

<sup>2</sup>Prydniprovskya State Academy of Civil Engineering and Architecture O. Petrova str., 24-A, Dnipro, 49600, Ukraine.