

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ НА ПОКАЗНИКИ МІЦНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Глушкова Д. Б.¹, Волчук В. М.², Зубков О. В.¹, Шаровка В. В.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

Анотація. Зміцнення досліджуваних деталей гідромолота проводилося способом електроіскрового легування. Результати випробувань деталей, зміцнених електроіскровим легуванням, свідчать про те, що досягається підвищення зносостійкості деталей в 1,3 раза порівняно з їх вихідним станом. Установлено, що показники міцності зростають за умови підвищення фрактальної розмірності.

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

Вступ

Для забезпечення підвищення зносостійкості та міцності втоми матеріалу деталей гідромолота не завжди доцільно змінювати традиційну технологію виготовлення деталі і, зокрема, методи її термічного оброблення. Різні види оброблень застосовуються лише конкретно до заданого виробу. У деяких ситуаціях варто виконувати поверхневе зміцнення виробу [1–3].

Аналіз публікацій

Нині існує низка технологій поверхневого зміцнення, кожна з яких має свої переваги та недоліки [4–6].

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 різних методів поверхневого зміцнення та вибір найбільш ефективного методу підвищення їх довговічності є актуальним завданням.

Хромування є одним із найпоширеніших видів гальванічних покриттів. У техніці хромування виробів застосовується для захисту від корозії, зношення, налипання на поверхню контактувальних матеріалів. Залежно від технології та режимів нанесення, хромові покриття досягають мікротвердості до 950–1100 HV. Висока твердість та зносостійкість, низький коефіцієнт тертя, значна жаростійкість та хороша хімічна стійкість забезпечують деталям, покритим хромом, високий ресурс у будь-яких умовах експлуатації [7, 8].

Мета та постановка завдання

Метою роботи є дослідження та встановлення зв'язку між фрактальною розмірністю структури деталей та характеристиками міцності, що дозволить використовувати результати для контролю міцності після електроіскрового легування.

Матеріали та методики досліджень

У процесі хромування застосовували аноди з чистого свинцю або сплаву свинцю з 4–6 % сурми. Аноди виготовляють із стрижнів діаметром 10–15 мм або листів. Відношення між поверхнею анодів та катодів має коливатися в межах від 1:2 до 2:3. Свинцеві аноди під час роботи покривалися шаром хромовоокислого свинцю, що утруднює процес. 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 потужності струму 1,5 кВт. Оброблені електроіскровим легуванням поверхні шліфували до отримання шорсткості зміцнених поверхонь деталей $Ra\ 04-08$.

У мікродослідженні зміцнених електроіскровим легуванням ділянок, розташованих поза зоною навантаження під час випробування, встановлено, 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 20 мкм із твердістю $HV\ 600-650$. Зміцнені зони в перерізі мають вигляд дугоподібних, впроваджених у поверхневі шари металу деталей, фаз. Якихось структурних змін під цією зоною в основному металі не спостерігається.

Випробування та їх обговорення

Дослідження зносостійкості деталей, зміцнених електроіскровим легуванням, виконано за стандартною методикою.

Випробування проводили до утворення в порожнинах корпусу та втулки, на бойку та піці картини зносу, аналогічної отриманої на деталях, виготовлених без додаткового зміцнення. Початкові ознаки зношування деталей пристрою у вигляді дрібних рисок-задирів виявлені на піці в зонах M і F (див. рис. 2) після 300 циклів навантаження, на втулці після 450 циклів, на бойку та корпусі після 350 і 500 циклів відповідно.

Після 1300 циклів навантаження характер і ступінь пошкодження деталей відповідали отриманим на неукріпленому комплекті.

Наведений діаметр каналів корпусу в зоні зрізу збільшився до 125,5 мм, бойок у зоні N (рис. 3) зносився на 0,35 мм, у зоні F – на 0,55 мм. Знос піки становить відповідно 0,35 і 1,15 мм.

Загальний вигляд пошкоджень деталей, зміцнених електроіскровим обробленням, у процесі випробувань зображено на рис. 2 та 3. Зони пошкоджень корпусу та втулки збігаються з відповідними зонами зносу корпусу та втулки, які не підлягали додатковому зміцненню. Характер пошкоджень також ідентичний і спостерігається раніше, але ступінь пошкоджень (наклеп, тріщиноутворення, пластикова деформація металу, знос з утворенням борозен) істотно більший.

Спостерігається менша розвиненість борозен у зоні B на корпусі бойка порівняно з втулкою. У зонах C виникає інтенсивне зношування з утворенням рельєфної поверхні,

більш розвиненої на корпусі бойка. Притертість вихідної поверхні у вигляді плям спостерігається в зонах D .

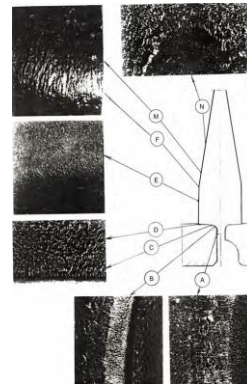


Рис. 2. Зношування піки та втулки, зміцнених 20 мкм із твердістю $HV\ 600-650$. Зміцнені зони в перерізі мають вигляд, $\times 3$

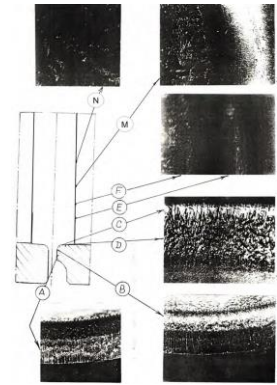


Рис. 3. Пошкодження корпусу та бойка, зміцнених детонаційним напильником, $\times 3$

Зона N бойка та піки має вигляд круглої плями діаметром близько 14 мм, що відрізняється заглаженою та наклепаною поверхнею і переходить у складкоподібний рельєф із загальною спрямованістю.

Чітко розвинений рельєф, утворений борознами радіальної спрямованості, характеризує зону M . У цьому разі на піці ступінь розвитку рельєфу вищий порівняно з бойком. Зони F , що охоплюють приблизно половину поверхонь, характеризуються наклепом, заглаженістю поверхонь.

На піці спостерігається деяка шорсткість та луцнення поверхневого шару металу. Зона E має ознаки рівномірного зносу та наклепу. На верхніх деталях (корпусі та бойку) темніші кольори мінливості та нагару.

На робочих поверхнях випробуваних деталей має місце зношування зміцнених електроіскровим обробленням поверхневих обсягів металу (рис. 4 і 5). Можливі тріщини; метал по стінках тріщин гладкий, покритий щільним шаром оксидів. На корпусі та втулці тріщини завглибшки 0,1–0,3 мм зосереджені в зонах B . На бойку та піці тріщини сіткової орієнтації завглибшки 0,1–0,3 мм розташовані в зонах N , M та F . Найбільша глибина тріщин має місце в зонах M – 0,3 мм на бойку та 0,1 мм на піці.

На робочих поверхнях усіх деталей зміцнений електроіскровим легуванням шар зберігається лише на окремих ділянках. На корпусі та втулці в зонах B і C завтовшки від 5 мкм до

0,01 мм. На бойку та піці залишки шару завтовшки від 30 мкм до 0,1 мм спостерігаються лише місцями на поверхнях *F*. У зонах *N*, *M* і *E* шар електроіскровим легуванням відсутній.

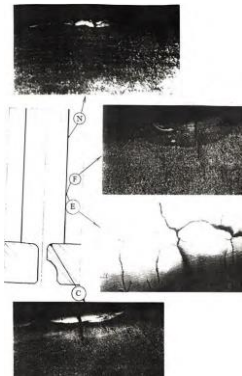


Рис. 4. Зміна структури матеріалу корпусу та бойка, зміцнених електроіскровим легуванням, $\times 100$

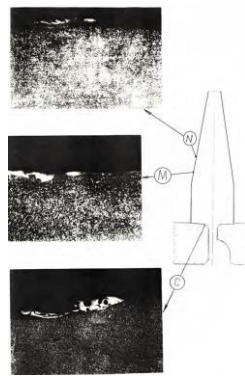


Рис. 5. Зміна структури матеріалів піки та втулки, зміцнених електроіскровим легуванням, $\times 100$

Основний метал усіх деталей пристрою безпосередньо в робочих пошкоджених поверхнях зазнав змін структури та твердості. На корпусі та втулці зміни структури на глибину 0,1 мм (*HV* 400–500) спостерігаються в зонах *B* та *C* піки. У зонах *A* та *D* структурні зміни відсутні.

На бойку та піці структурні зміни відсутні лише в зонах *E*. У зонах *N*, *M* та *F* глибина зон структурних змін становить 0,1–0,3 мм для бойка та 0,05–0,1 мм для піки. Твердість матеріалу в цих зонах бойка *HV* 420–500, піки – *HV* 400–460. Структура металу троосто-мартенситного та троосто-сорбітного типів.

Мікроструктура основного металу містить сорбіт. Механічні властивості матеріалу деталей пристрою визначали за температури 20 °С на зразках, вирізаних в осьовому та тангенційному напрямках.

Оскільки отримана структура сорбіту важко піддавалася кількісному оцінюванню традиційними методами кількісної металографії, то її досліджували з використанням теорії фракталів [9, 10].

Для розрахунку фрактальної розмірності *D*-структури корпусу бойка за умови збільшення 100 обчислювалася за класичною формулою Хаусдорфа [11]:

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

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

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

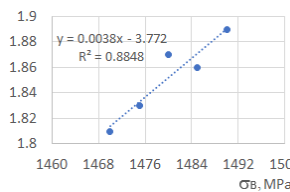


Рис. 6. Співвідношення між фрактальною розмірністю сорбіту структури корпусу бойка *D* та межею міцності σ_B для осьових зразків

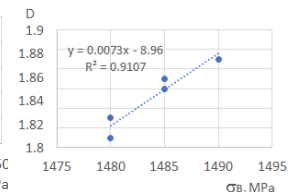


Рис. 7. Співвідношення між фрактальною розмірністю сорбіту структури корпусу бойка *D* та межею міцності σ_B для радіальних зразків

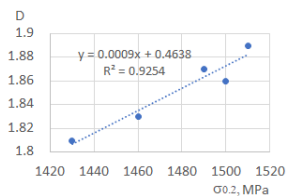


Рис. 8. Співвідношення між фрактальною розмірністю сорбіту структури корпусу бойка *D* та межею текучості $\sigma_{0.2}$ для осьових зразків

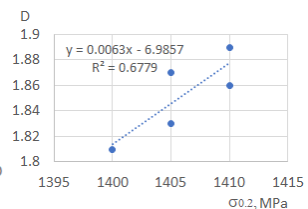


Рис. 9. Співвідношення між фрактальною розмірністю сорбіту структури корпусу бойка *D* та межею текучості $\sigma_{0.2}$ для радіальних зразків

Результати дають змогу прогнозувати показники міцності корпусу бойка гідромолота за фрактальною розмірністю фотознімків мікроструктури у разі збільшення 100.

Висновки

1. Електроіскрове легування вольфрамом і хромом за умови потужності оброблення 1–1,5 кВт забезпечує локальне зміцнення поверхневого об'єму матеріалу деталей на глибину 10–40 мкм і твердість *HV* 600–650.

2. Результати випробувань деталей, зміцнених електроіскровим легуванням, свідчать, що досягається підвищення зносостійкості деталей в 1,3 раза порівняно з вихідним (що не зазнало додаткового зміцнення) варіантом.

3. Місця розташування зон пошкоджень та їх характер на деталях, зміцнених електроіскровим легуванням, спостерігаються і на випробуваних деталях, виготовлених без додаткового зміцнення та із застосуванням ЛТО.

4. Зміцнений електроіскровим легуванням шар визначається значно більшим ступенем розвитку пошкоджень порівняно з неукріпленим варіантом. На корпусі та втулці в зонах A (зріз) та D (канал) зміцнений шар практично повністю зношений, у решті зон збереглися лише залишки шару електроіскровим легуванням завтовшки від 5 мкм до 0,01 м. На бойках залишки шару електроіскровим легуванням такої самої товщини спостерігаються лише в зоні F .

5. Структурні зміни, що відбуваються в процесі випробувань у поверхневих шарах деталей, властиві для явищ вторинного загартування з отриманням нижчого рівня твердості, ніж на деталях попередніх варіантів.

6. Установлено зв'язок між фрактальною розмірністю сорбітної структури та характеристиками міцності, що дає змогу використовувати досягнуті результати як неруйнівний метод контролю міцності деталей після електроіскрового легування.

Література

- V.S. Vahrusheva, D.B. Hlushkova, V.M. Volchuk, T.V. Nosova, S.I. Mamhur, N.I. Tsokur, V.A. Bagrov, S.V. Demchenko, Yu.V. Ryzhkov, V.O. Scrypnikov. Increasing the corrosion resistance of heat-resistant alloys for parts of power equipment, *Problems of Atomic Science and Technology*. 2022. 4(140). 137–140. <https://doi.org/10.46813/2022-140-137>
- V.V. Subbotina, V.V. Belozarov. The effect of electrolysis conditions during microarc oxidation on the phase-structural state, hardness and corrosion resistance of magnesium alloys, *Physics and chemistry of solid state*. 2020. 21(3). 545. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.3.545-551>
- D.B. Hlushkova, V.A. Bagrov, V.M. Volchuk, U.A. Murzakhmetova. Influence of structure and phase composition on wear resistance of sparingly alloyed alloys, *Functional Materials*. 2023. 30(1). 74–78. <https://doi.org/10.15407/fm30.01.74>
- Davis Joseph. R. *Handbook of Thermal Spray Technology*. USA, ASM Thermal Spray Society, 2004.
- De Lacalle L.N., López Gutiérrez, A., Lamikiz A., Fernandes M.H., Sánchez J.A. Turning of Thick Thermal Spray Coatings, *Journal of Thermal Spray Technology*. 2001. 10(2). 249–254.
- D.B. Hlushkova, V.A. Bagrov, V.A. Saenko., V.M. Volchuk, A.V. Kalinin, N.E. Kalinina. 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. 144(2). 105–109. <https://doi.org/10.46813/2023-144-105>
- E. Katinas, V. Jankauskas, N. Kazak, V. Mikhailov. Improving Abrasive Wear Resistance for Steel Hardox 400 by Electro-Spark Deposition, *J. Frict. Wear*. 2019. 40. 100–106. <https://doi.org/10.3103/S1068366619010070>
- V. Mihailov, N. Kazak, S. Ivashcu, E. Ovchinnikov, C. Baciú, A. Ianachevici, A. Zunda. Synthesis of Multicomponent Coatings by Electrospark Alloying with Powder Materials, *Coatings*. 13(3) (2023) 651. <https://doi.org/10.3390/coatings13030651>
- D.B. Hlushkova, V.M. Volchuk, P.M. Polyansky, V.A. Saenko, A.A. Efimenko, Fractal modeling the mechanical properties of the metal surface after ion-plasma chrome plating, *Functional Materials*. 2023. 30(2). 275–281. <https://doi.org/10.15407/fm30.02.275>
- D.B. Hlushkova, V.M. Volchuk. Fractal study of the effect of ion plasma coatings on wear resistance, *Functional Materials*. 2023. 30(3). 453–457. <https://doi.org/10.15407/fm30.03.453>
- F. Hausdorff. Dimension und äußeres Maß, *Mathematische Annalen*. 1919. 7. 157–179.

References

- V.S. Vahrusheva, D.B. Hlushkova, V.M. Volchuk, T.V. Nosova, S.I. Mamhur, N.I. Tsokur, V.A. Bagrov, S.V. Demchenko, Yu.V. Ryzhkov, V.O. Scrypnikov, Increasing the corrosion resistance of heat-resistant alloys for parts of power equipment, *Problems of Atomic Science and Technology*. 4(140) (2022) 137–140 <https://doi.org/10.46813/2022-140-137>
- V.V. Subbotina, V.V. Belozarov, The effect of electrolysis conditions during microarc oxidation on the phase-structural state, hardness and corrosion resistance of magnesium alloys, *Physics and chemistry of solid state*. 21(3) (2020) 545. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.3.545-551>
- D.B. Hlushkova, V.A. Bagrov, V.M. Volchuk, U.A. Murzakhmetova, Influence of structure and phase composition on wear resistance of sparingly alloyed alloys, *Functional Materials*. 30(1) (2023) 74–78. <https://doi.org/10.15407/fm30.01.74>
- Davis Joseph. R, *Handbook of Thermal Spray Technology*. USA, ASM Thermal Spray Society, 2004.
- De Lacalle, L.N. López; Gutiérrez, A.; Lamikiz, A.; Fernandes, M.H.; Sánchez, J.A. Turning of Thick Thermal Spray Coatings, *Journal of Thermal Spray Technology*. 10(2) (2001) 249–254.
- D.B. Hlushkova, V.A. Bagrov, V.A. Saenko., V.M. Volchuk, A.V. Kalinin, N.E. Kalinina, 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*. 144(2) (2023) 105–109. <https://doi.org/10.46813/2023-144-105>
- E. Katinas, V. Jankauskas, N. Kazak, V. Mikhailov, Improving Abrasive Wear Resistance for Steel Hardox 400 by Electro-Spark Deposition, *J. Frict. Wear*. 40 (2019) 100–106. <https://doi.org/10.3103/S1068366619010070>
- V. Mihailov, N. Kazak, S. Ivashcu, E. Ovchinnikov, C. Baciú, A. Ianachevici, A. Zunda, Synthesis of

- Multicomponent Coatings by Electrosark Alloying with Powder Materials, Coatings. 13(3) (2023) 651. <https://doi.org/10.3390/coatings13030651>
- 9 D.B. Hlushkova, V.M. Volchuk, P.M. Polyansky, V.A. Saenko, A.A. Efimenko, Fractal modeling the mechanical properties of the metal surface after ion-plasma chrome plating, Functional Materials. 30(2) (2023) 275–281. <https://doi.org/10.15407/fm30.02.275>
- 10 D.B. Hlushkova, V.M. Volchuk, Fractal study of the effect of ion plasma coatings on wear resistance, Functional Materials. 30(3) (2023) 453–457. <https://doi.org/10.15407/fm30.03.453>
- 11 F. Hausdorff, Dimension und äußeres Maß, Mathematische Annalen. 7 (1919) 157–179.

Глушкова Діана Борисівна¹, професор, д.т.н., кафедра технології металів та матеріалознавства, ORCID:0000-0001-8412-6584, diana.borisovna@gmail.com,

Волчук Володимир Миколайович², професор, д.т.н., кафедра прикладного матеріалознавства, volchuk.volodymyr@pdaba.edu.ua,

Зубков Олександр Віталійович¹, студент,

Шаровка Віталій Валерійович¹, студент.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, Харків, Україна.

²Придніпровська державна академія будівництва і архітектури, вул. Чернишевського, 24, 49600, Дніпро, Україна.

Determining the Influence of Electro-Spark Alloying on the Strength Indicators of Machine Parts

Abstract. Problems The strengthening of the case and striker was carried out by electric spark alloying in order to protect against corrosion, wear, sticking to the surface of contacting materials. The results of testing parts strengthened by electric spark alloying show that the wear resistance of parts increased by 1.3 times compared to the initial state of parts. Regression equations are obtained, which can be interpreted as a knowledge base for controlling the strength indicators of the striker body, allowing to control 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. **Goal.** 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. Currently, there are a number of surface strengthening technologies, each of which has its own advantages and disadvantages. **Methodology.**

All parts were strengthened by electric spark alloying with tungsten. The power of the processing current was 1 kW. The peak, in addition to strengthening with tungsten, was additionally processed by electric spark alloying with chromium at a current of 1.5 kW. Surfaces processed by electric spark alloying were polished to obtain the roughness of the hardened surfaces of parts R and 04-08. **Results.** During the micro-examination of areas strengthened by electric spark alloying, which are outside the load zone during the test, it was established that the areas strengthened by electric spark alloying on the body and sleeve have a thickness of 10–40 μm and a hardness of HV 600–650. On the strikers, the initial thickness of the strengthened layer is 20 μm with a hardness of HV 600–650. The strengthened zones in the 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. **Originality.** The microstructure of the base metal consists of sorbitol. The mechanical properties of the material of the device parts were determined at a temperature of 20 °C on samples cut in the axial and tangential directions. Since the obtained structure of sorbite was difficult to quantify by traditional methods of quantitative metallography, it was studied using the theory of fractals. The obtained results make it possible to forecast the strength indicators of the body of the hydraulic hammer striker based on the fractal dimension of photographs of the microstructure at a magnification of 100. **Practical value.** The structural changes that occur during the tests in the surface layers of the parts are characteristic of the phenomena of secondary hardening with a lower level of hardness than on the parts of the previous options. The relationship between the fractal dimension of the sorbite structure and the strength characteristics was established, which allows us to use the obtained results as a non-destructive method of controlling the strength of parts after electric spark alloying.

Keywords: electric spark alloying, sorbitol, microstructure, hydraulic hammer, fractal dimension, forecast

Hlushkova Diana¹, professor, Doct. of Science, Technologies of metals and materials science Department, ORCID: 0000-0001-8412-6584, diana.borisovna@gmail.com,

Volchuk Volodymyr², professor, Doct. Of Science, department of applied materials science, volchuk.volodymyr@pdaba.edu.ua,

Zubkov Oleksandr¹, student,

Sharovka Vitaliy¹, student.

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

²Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine.