

Володимир Тулунов¹, Сергій Онищук²

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри інноваційних технологій і управління

Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: wladimir.tulupov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3951-364X>

²кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інноваційних технологій і управління

Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: onishchuk65@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8157-6869>

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

У статті досліджено методи поверхневого зміцнення деталей машин з використанням електроімпульсного вигладжування з модифікуванням та алюмотермії. Досліджено зносостійкість та інтенсивність зношення дослідних зразків з використанням методу штучних баз. Визначено, що зносостійкість після фрикційного електроімпульсного вигладжування збільшується в 1,8 рази. Після алюмотермії зносостійкість збільшується в 2 рази, інтенсивність зношення після фрикційного електроімпульсного вигладжування зменшується в 1,6 рази, після алюмотермії зменшується в 1,8 рази.

Ключові слова: *поверхнєве зміцнення; електроімпульсне вигладжування; алюмотермія; зносостійкість; інтенсивність зношення.*

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 8.

Актуальність теми дослідження. Перспективним напрямом підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин є формування на їхній поверхні шару з особливими властивостями, що відрізняються від властивостей основного матеріалу. До методів модифікації поверхневого шару деталей належать декілька, а саме: хімічні та хіміко-термічні (цементация, азотування, нітроцементация), термічні (гартування струмами високої частоти), обробка виробів концентрованими потоками енергії (пучки електронів, плазмові потоки, лазерне випромінювання), механічні (поверхнево-пластичне деформування) та ін. [1]. Для практичного використання найбільш прийнятним є використання енергозберігаючих методів поверхневого зміцнення, до яких належать, зокрема, електроімпульсне вигладжування з модифікуванням та зміцнення з використанням алюмотермії. Дослідженню цих методів і присвячена наукова робота.

Постановка проблеми. Використання в технологічному процесі виготовлення деталей машин термічних операцій передбачає збільшення виробничого циклу через необхідність переривання технологічного процесу, вимагає спеціального енергоємного обладнання. Використання енергозберігаючих методів поверхневого зміцнення без використання спеціального обладнання та переривання технологічного процесу дозволить зменшити трудомісткість і собівартість виготовлення продукції. Тому виникає необхідність дослідження енергозберігаючих методів, зокрема електроімпульсного вигладжування з модифікуванням та зміцнення з використанням алюмотермії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] виконано дослідження технології формування зносостійких дискретних покриттів електроконтактним методом на деталях типу тіл обертання. Авторами доведено, що використання покриттів дискретної структури підвищує несучу спроможність покриттів. Фрикційне електроімпульсне модифікування (ФЕМ) використовують для зміцнення деталей, що мають знакозмінні навантаження при роботі. Реалізація ФЕМ здійснюється нанесенням покриття у вигляді твердої змазки та вигладжуванням з пропусканням змінного струму через зону обробки [3]. Склад модифікатора та режими ФЕМ зумовлюють отримання дискретної структури.

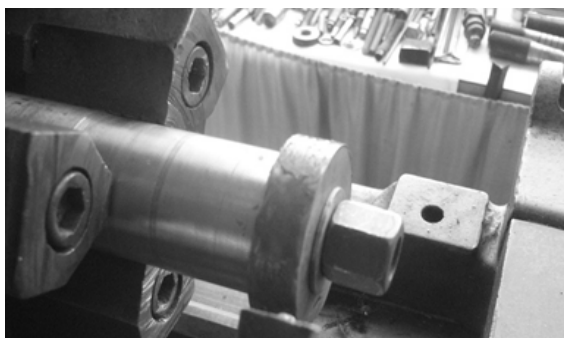
Спосіб зміцнення сталевих деталей, запропонований авторами [4], полягає в насиченні поверхні оброблюваної деталі металами та композитними матеріалами із застосуванням спеціального обладнання у середовищі аргону методом алюмініотермії. У результаті збільшується мікротвердість поверхневого шару та зносостійкість.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Серед розглянутих методів зміцнення є малодослідженими питання впливу на зносостійкість виробів технологічних методів електроімпульсного вигладжування з модифікуванням та зміцнення з використанням алюмотермії на відкритому повітрі.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження технологій поверхневого зміцнення деталей машин із використанням електроімпульсного вигладжування з модифікуванням та з використанням алюмотермії на відкритому повітрі.

Виклад основного матеріалу. Метод електроімпульсного вигладжування з модифікуванням передбачає використання як модифікатора дисульфиду молібдену (MoS_2). Особливістю цього матеріалу є його шарувата структура. Кожний шар ковзає відносно іншого, чим обумовлює низький коефіцієнт тертя. Незначне нагрівання та високі навантаження не призводять до його збільшення [5]. Електроімпульсне вигладжування з модифікуванням засноване на поєднанні силового та теплового факторів на нанесений попередньо шар твердого змащення (рис. 1, а). Отримаємо регулярну дискретну структуру (РДС) поверхні, що є поєднанням зміцнених фрагментів з дисульфідом молібдену (MoS_2) та фрагментів з оксидом молібдену (MoO_3). Режими вигладжування, частота та тривалість імпульсів струму визначають розташування зміцнених фрагментів [6]. Фрагменти оксиду молібдену (MoO_3) є результатом окислення дисульфиду молібдену при температурі $600\text{ }^\circ\text{C}$, що є наявною в зоні обробки.

Використання методу алюмотермії дозволяє отримати оксид алюмінію Al_2O_3 та хром Cr у результаті хімічної реакції. Оксид хрому Cr_2O_3 , металевий порошок алюмінію Al та зв'язувальна речовина наносяться на поверхню зразка шаром товщиною $0,5\text{--}1\text{ мм}$. Заготовка виготовляється з круглого прокату зі сталі 40ХН і закріплюється на оправці в трикулачковому патроні токарно-гвинторізного верстата мод. 16К25. При обробці отримує обертання з частотою 63 хв^{-1} . На електрод, що переміщується в поздовжньому напрямку зі швидкістю $D_s = 2\text{ мм/хв}$, подається електричний струм напругою 12 В . Процес алюмотермії зніціюється дугою, що виникає (рис. 1, б) [7].



а



б

Рис. 1. Реалізація методів зміцнення:

а – електроімпульсне вигладжування; б – метод алюмотермії

Металографічні дослідження металевих зразків, зміцнених методами електроімпульсного вигладжування та методом алюмотермії, виконувались в Заводській лабораторії ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод».

Хімічний склад матеріалу зразків визначався за допомогою рентгено-флуоресцентного та спектрального аналізу. Результати аналізу представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад матеріалу зразків

Досліджувана структура	Вміст елементів, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo
рентгено-флуоресцентний аналіз (після алюмотермії)										
зміцнений шар	-	15,53	0,31	-	-	10,94	0,54	0,06	6,10	0,19
основний метал	-	0,45	0,63	-	-	0,66	1,18	0,12	-	0,05
спектральний аналіз (після алюмотермії)										
основний метал	0,48	0,31	0,66	0,015	0,018	0,62	1,27	0,12	0,022	0,05
спектральний аналіз (після електроімпульсного вигладжування з модифікуванням)										
основний метал	0,40	0,31	0,67	0,014	0,022	0,61	1,25	0,12	0,022	0,05
40ХН ГОСТ 4543-71	0,36- 0,44 ^{+0,01}	0,17- 0,37	0,50- 0,80	≤0,035	≤0,035	0,45- 0,75	1,00- 1,40	≤0,30	-	-

Результати дослідження свідчать про насичення зміцненого шару зразків хромом і алюмінієм після алюмотермії та молібденом після електроімпульсного вигладжування. У макроструктурі матеріалу зразка тріщин, раковин, пор, неметалевих включень та інших дефектів металургійного характеру не виявлено.

Твердість матеріалу, що була визначена методом Роквелла, становить 18HRC.

Мікроструктура матеріалу зразків вивчалася за допомогою металографічного мікроскопа «Неофот-30» при збільшеннях 100х, 500х (рис. 2). Зразок протравлювався 4%-м розчином HNO₃. У зразка після алюмотермії виявлена зона, що відрізняється яскраво світлою травимістю в порівнянні з основним металом.

Рівень мікротвердості визначено на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні 25 г. Мікротвердість зразка після алюмотермії на глибині 0,025 мм від поверхні становить 370 ÷ 380 Н/мм², на глибині 0,07 мм – 170 ÷ 200 Н/мм². Мікротвердість зразка після електроімпульсного вигладжування при різних режимах обробки знаходилася в інтервалі 3,5...7,7 ГПа, при початковій 2...2,12 ГПа.

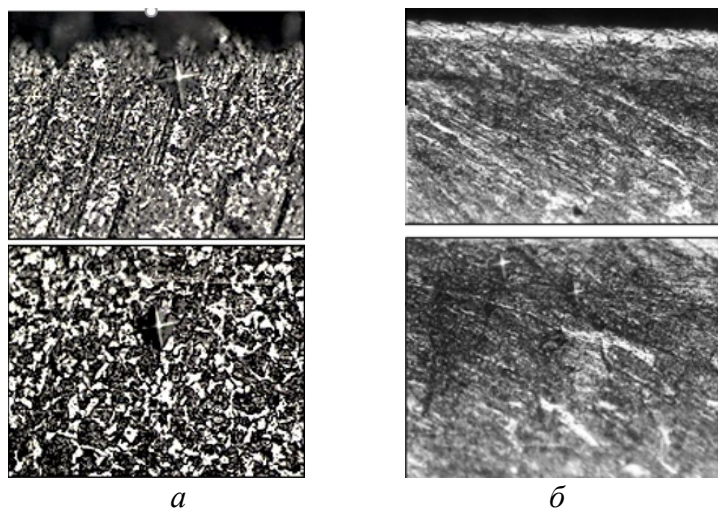


Рис. 2. Мікроструктура поверхневої зони зразків (збільшення 500х):
а – електроімпульсне вигладжування; б – алюмотермія

Мікроструктура матеріалу зразків (рис. 2) являє собою перліт і ферит по межах зерна. Величина зерна оцінюється 6,0 номером шкали №1 ГОСТ 5639-82.

Для дослідження зносостійкості деталей, оброблених методами електроімпульсного вигладжування та алюмотермії на відкритому повітрі використовувався метод штучних баз [8]. Випробування проводилось на устаткуванні за методикою випробувань на машині тертя за схемою «диск-колодка». Умови випробувань були такі: навантаження $G = 1$ кН,

частота обертання $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$, умови тертя (сухе тертя). Контр-тілом слугував бархатний напилочок (25 зубців на 1 см^2), виготовлений з інструментальної вуглецевої сталі У13А з твердістю 54–58 HRC.

За результатами експериментів були побудовані графіки зношення, зносостійкості та інтенсивності зношення досліджуваних зразків після зміцнення алюмотермією, електроімпульсним вигладжуванням та після механічної обробки без зміцнення (рис. 3-5).

Зношення зразків

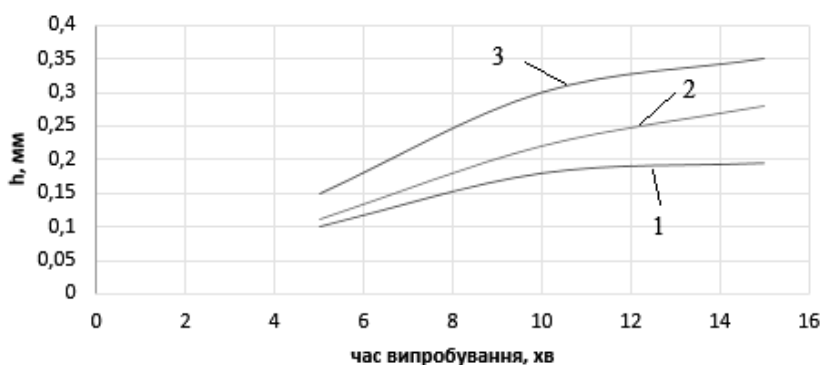


Рис. 3. Зношення поверхні дослідних зразків:
1 – після алюмотермії, 2 – після вигладжування, 3 – без зміцнення

Зносостійкість зразків

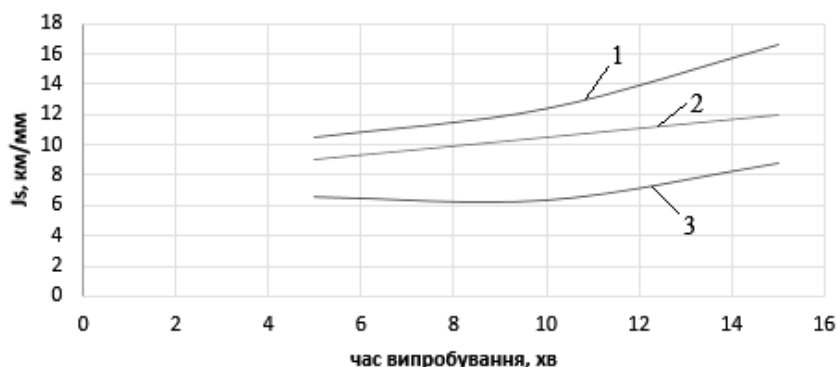


Рис. 4. Зносостійкість поверхні дослідних зразків:
1 – після алюмотермії, 2 – після вигладжування, 3 – без зміцнення

Інтенсивність зношення зразків

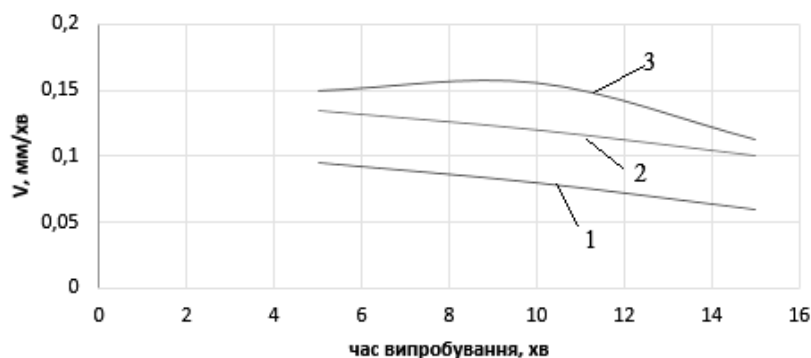


Рис. 5. Інтенсивність зношення поверхні дослідних зразків:
1 – після алюмотермії, 2 – після вигладжування, 3 – без зміцнення

У результаті ФЕМ зносостійкість поверхонь зразків збільшується в 1,8 раза, а при методі зі застосуванням алюмотермії збільшується в 2 рази, інтенсивність зношення відповідно зменшується в 1,6 та 1,8 раза.

Висновки. У роботі досліджено методи поверхневого зміцнення з використанням електроімпульсного вигладжування з модифікуванням та алюмотермії на відкритому повітрі. Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що досліджені методи забезпечують збільшення мікротвердості поверхні. Зносостійкість після електроімпульсного вигладжування збільшується в 1,8 рази, після алюмотермії – в 2 рази. Інтенсивність зношення поверхні після електроімпульсного вигладжування зменшується в 1,6 раза, після алюмотермії – в 1,8 раза. Представлені в роботі результати досліджень можуть надалі бути використані для створення технологічного процесу виготовлення деталей з використанням операцій зміцнення замість термічної операції.

Список використаних джерел

1. Интегрированные технологии обработки материалов : учебник / Е. С. Геворкян, Л. А. Тимофеева, В. П. Нерубацкий, Мельник О. М. – Харьков : УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.
2. Повышение износостойкости деталей судовых машин и механизмов покрытиями дискретной структуры. Технологическое обеспечение покрытий дискретной структуры электроконтактным припеканием / Б. А. Ляшенко, Ю. В. Волков, Е. К. Соловых, Л. А. Лопата // Проблемы трения та зношування. – 2015. – № 2(67). – С. 110-126.
3. Эдигаров В. Р. Поверхностная фрикционно-электрическая обработка алюминиевых сплавов / В. Р. Эдигаров // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – Вып. 10. – С. 47–53. DOI: 10.18698/0536-1044-2020-10-47-53.
4. Костыря В. Ю. Структурноупрочняемые самотермообрабатываемые СВС материалы / В. Ю. Костыря // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Стародубовские чтения. – 2011. – Вып. 58. – С. 333-350.
5. Прудников М. И. Антифрикционные твердосмазочные покрытия – современная альтернатива резбвым пастам для сборки обсадных труб / М. И. Прудников // Сфера. Нефть и газ. – 2016. – № 5 (55). – С. 30-32.
6. Ковалевський С. В. Дослідження методу фрикційного електроімпульсного модифікування / С. В. Ковалевський, В. І. Тулупов, С. Г. Онишук // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів : Чернігівський національний технологічний університет, 2017. – Т. 1. – С. 146-147.
7. Тулупов В. Дослідження методу поверхневого зміцнення деталей із використанням алюмотермії / В. Тулупов, С. Онишук // Технічні науки та технології. – 2021. – № 2(24). – С. 17-22. DOI: 10.25140/2411-5363-2021-2(24)-17-22.
8. Ефремов Л. В. Ускоренные испытания стальных образцов на износостойкость методом искусственных баз / Л. В. Ефремов, А. В. Тикалов, А. Д. Бреки // Изв. вузов. Приборостроение. – 2016. – Т. 59, № 8. – С. 671-676.

References

1. Hevorkian, E.S., Tymofeieva, L.A., Nerubatskyi, V.P., & Melnyk, O.M. (2016). *Intehrovani tekhnologii obrobky materialiv [Integrated materials processing technologies]*. Kharkiv.
2. Lyashenko, B.A., Volkov, Yu.V., Solovykh, E.K., & Lopata, L.A. (2015). *Povyshenie iznosostojkosti detalej sudovyh mashin i mekhanizmov pokrytyami diskretnoj struktury. Tekhnologicheskoe obespechenie pokrytij diskretnoj struktury elektrokontaktym pripekaniem [Increasing the wear resistance of parts of ship machines and mechanisms with coatings of a discrete structure. Technological support of discrete structure coatings with electrical contact sintering]. Problemy tertya ta znoshuvannya – Problems of friction and wear*, (2(67)), 110-126.
3. Edigarov, V.R. (2020). *Poverhnostnaya frikcionno-elektricheskaya obrabotka alyuminievyh splavov [Surface Friction-Electric Treatment of Aluminum Alloys]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie – BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 10, 47–53. DOI: 10.18698/0536-1044-2020-10-47-53.

4. Kostyria, V.Yu. (2011). Strukturnouprochniaemye samotermoobrabatyvaiushchiesia SVS materialy [Structurally strengthened self-heat-treating SHS materials]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Starodubovskie chteniia – Building. Materials Science. Mechanical engineering. Series: Starodubov Readings*, 58, 333-350.

5. Prudnikov, M.I. (2016). Antifrikcionnye tverdostmazochnye pokrytiya – sovremennaya al'ternativa rez'bovym pastam dlya sborki obsadnyh trub [Anti-friction solid lubricating coatings are a modern alternative to thread paste for casing assembly]. *Sfera. Neft' i gaz – Sphere. Oil and gas*, (5(55)), 30-32.

6. Kovalevsky, S.V., Tulupov, V.I., & Onyshchuk, S.G. (2017). Doslidzhennya metodu frykciynogo elektroimpulsnogo modyfikuvannya [Researching of the method of frictional electropulse modification]. *Kompleksne zabezpechennya yakosti texnologichnyx procesiv ta system: materialy VII mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferenciyi. Chernigivskiy nacionalnyj texnologichnyj universytet – Comprehensive quality assurance of technological processes and systems. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference* (Vol. 1, pp. 146-147). CNTU.

7. Tulupov V., & Onyshchuk S. (2021). Doslidzhennya metodu poverxneвого zmichnennya detalej iz vykorystanniam alyumotermiyi [Researching of the method of surface strengthening details using alumothermia]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, (2(24)), 17-22. DOI: 10.25140/2411-5363-2021-2(24)-17-22.

8. Efremov, L.V., Tikalov, A.V., Breki, A.D. (2016). Uskorennie ispytaniia stalnykh obratcov na iznosostoykost metodom iskusstvennykh baz [Accelerated testing of steel samples for wear resistance by the method of artificial bases]. *Izv. vuzov. Priborostroenie – News of universities. Instrumentation*, 59(8), 671-676.

Отримано 01.07.2021

UDC 621.793.620.172

Volodymyr Tulupov¹, Serhii Onyshchuk²

¹PhD in Technical Science, Associate Professor of Innovative Technologies and Management Department
Donbas State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: wladimir.tulupov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3951-364X>

²PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Innovative Technologies and Management Department
Donbas State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: onishchuk65@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8157-6869>

RESEARCH OF SURFACE REINFORCEMENT TECHNOLOGIES FOR MACHINE DETAILS

A promising direction to improve the performance of machine details is the formation on their surface of a layer with special properties that differ from the properties of the base material. For practical use, the most acceptable is the use of energy-saving methods of surface hardening, which include, in particular, electropulse smoothing with modification and hardening using aluminothermy. Scientific work is devoted to the study of these methods.

The use of energy-saving methods of surface hardening without the use of special equipment and interruption of the technological process will reduce the complexity and cost of manufacturing. Therefore, there is a need to study energy-saving methods, in particular electropulse smoothing with modification and hardening using aluminothermy.

The aim of the work is to study the technologies of surface hardening of machine parts with the use of electropulse smoothing with modification and with the use of aluminothermy in the open air.

Electropulse smoothing with modification is based on a combination of power and thermal factors on a pre-applied layer of solid lubricant. Molybdenum disulfide was used as a modifier. The method of aluminothermy allows to obtain alumina and chromium, which create a protective reinforced layer on the surface of a part. The microstructure of the surface layer of a part after hardening operations, microhardness was studied. The wear resistance, wear intensity of prototypes using the method of artificial bases are investigated.

Wear resistance after electropulse smoothing increases by 1.8, after aluminothermy by 2; the intensity of surface wear after electropulse smoothing decreases by 1.6, after aluminothermy by 1.8.

Keywords: surface hardening; electropulse smoothing; aluminothermy; durability; wear intensity.

Fig.: 5. Table: 1. References: 8.