

УДК 621.793.620.172

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-2(24)-17-22

Володимир Тулунов, Сергій Онищук

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АЛЮМОТЕРМІЇ

*Стаття присвячена роботам зі зміцнювальних методів, що використовуються в машинобудуванні. Досліджено технологічний метод зміцнення поверхні з використанням алюмотермії на відкритому повітрі. Визначено металургічними дослідженнями хімічний склад після алюмотермії, мікротвердість поверхневого шару. Вивчена мікроструктура металу зразка. Досліджено зносостійкість та інтенсивність зношення дослідних зразків із використанням методу штучних баз. Визначено, що метод дозволяє збільшити зносостійкість у 1,8-2 рази, інтенсивність зношення зменшується в 1,7-1,9 рази.*

**Ключові слова:** поверхнєве зміцнення; алюмотермія; мікротвердість; зносостійкість; оксид хрому.

*Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 6.*

**Актуальність теми дослідження.** Довговічність деталей машин є однією зі складових показників якості виробів [1]. Використання технологічних методів зміцнення поверхонь металевих заготовок набуло останнього часу актуальності в машинобудівній галузі. Хіміко-термічна обробка поєднує в собі хімічний та термічний вплив для зміни складу, структури та властивостей поверхневого шару оброблюваних деталей. Дослідженню методу поверхневого зміцнення деталей із використанням алюмотермії на відкритому повітрі як одного з методів хіміко-термічної обробки присвячена наукова робота.

**Постановка проблеми.** Використання термічних операцій потребує використання спеціального обладнання, переривання технологічного процесу, що збільшує тривалість виробничого циклу. Крім того, відомі методи зміцнювальної обробки з використанням алюмотермії як одного з методів хіміко-термічної обробки вимагають проведення процесу з використанням спеціального обладнання. Тому розробка методу зміцнення з використанням алюмотермії без використання спеціального обладнання має важливе значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методам зміцнювальної обробки присвячено публікації [2; 3]. У роботі [4] запропоновано спосіб зміцнення поверхні шляхом утворення поверхневого зміцненого шару з екзотермічної суміші процесом самопоширюваного високотемпературного синтезу. Спосіб зміцнення сталевих деталей, запропонований авторами [5], 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.** Реалізація технології алюмотермії вимагає наявності спеціального обладнання та додаткових матеріалів. Недослідженим є процес алюмотермії на відкритому повітрі, зокрема необхідно дослідити технологічні режими реалізації методу, його вплив на зносостійкість виробів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження методу поверхневого зміцнення металевих зразків із використанням алюмотермії на відкритому повітрі.

**Виклад основного матеріалу.** Метод алюмотермії передбачає отримання оксиду алюмінію та хрому в результаті хімічної реакції  $2Al + Cr_2O_3 = Al_2O_3 + 2Cr$  [5]. Дослідження методу поверхневого зміцнення металевих зразків з використанням алюмотермії виконувалось на деталях, виготовлених із круглого прокату зі сталі 40ХН. Деталь установлюється на оправці та закріплюється в трикулачковому патроні токарно-гвинторізного верстата мод. 16К25 та отримує обертання з частотою  $63 \text{ хв}^{-1}$ .

На оброблювану поверхню наноситься шар товщиною 0,5-1 мм суміші оксиду хрому  $Cr_2O_3$ , металевого порошку алюмінію Al та зв'язувальної речовини.

На електрод подається електричний струм напругою 12 В. Електрод отримує поздовжню подачу зі швидкістю  $D_s = 2 \text{ мм/хв}$ . У результаті виникає дуга, що ініціює процес алюмотермії (рис. 1).



Рис. 1. Реалізація методу зміцнення методом алюмотермії

Металографічні дослідження металевих зразків, зміцнених методом алюмотермії, виконувались у Заводській лабораторії ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод».

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

Таблиця 1 – Хімічний склад метала зразка після алюмотермії

Досліджувана структура	Вміст елементів, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo
рентгено-флуоресцентний аналіз										
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										
основний метал	0,48	0,31	0,66	0,015	0,018	0,62	1,27	0,12	0,022	0,05
40ХН ГОСТ 4543-71	0,36- 0,44 <sup>+0.01</sup>	0,17- 0,37	0,50- 0,80	≤0,03 5	≤0,03 5	0,45- 0,75	1,00- 1,40	≤0,30	-	-

Результати аналізів свідчать про насичення зміцненого шару зразка хромом та алюмінієм після алюмотермії. У макроструктурі метала зразка тріщин, раковин, пор, металевих включень та інших дефектів металургійного характеру не виявлено.

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

Мікроструктура метала зразка вивчалася за допомогою металографічного мікроскопа «Неофот-30» при збільшеннях 50х, 100х, 500х.

Для визначення мікроструктури метала зразок був підданий травленню 4%-м розчином азотної кислоти. Переглядом після травлення, при збільшенні 100х, із зовнішньої циліндричної поверхні зразка виявлена зона, що відрізняється яскраво світлою травимістю в порівнянні з основним металом.

Рівень мікротвердості визначено мікротвердоміром ПМТ-3 при навантаженні 25 г. Результати вимірів мікротвердості наведені на рис. 2. Мікротвердість досліджуваного металу по перетину зразка нерівномірна і відповідає:

- на глибині ~ 0,025 мм від поверхні зразка – 370 ÷ 380 Н/мм<sup>2</sup>;
- далі на глибину ~ 0,03 ÷ 0,07 мм значення мікротвердості металу знижується до (170 ÷ 200) Н/мм<sup>2</sup>,
- на глибині ~ 0,1 ÷ 3,0 мм і далі, аж до металу серцевини, рівень мікротвердості зберігається аналогічним і становить 130 ÷ 150 Н/мм<sup>2</sup>.

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

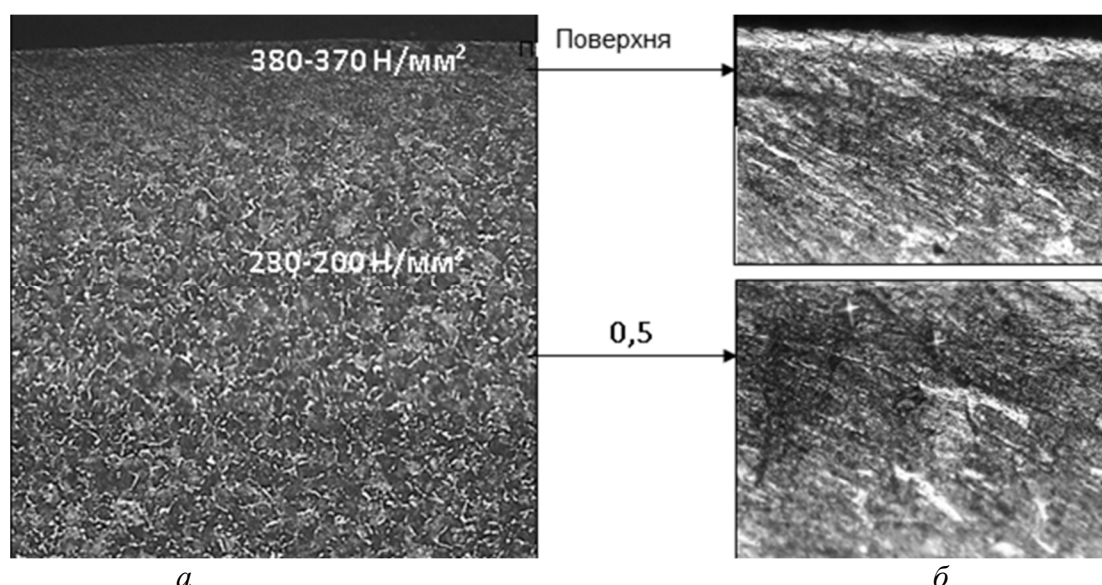


Рис. 2. Мікроструктура поверхневої зони зразка з відбитками замірів мікротвердості: а – збільшення 50х; б – збільшення 500х

Для дослідження зносостійкості деталей, оброблених методом алюмотермії на відкритому повітрі використовувався метод штучних баз. Метод штучних баз дозволяє визначити лінійне зношення поверхні деталі. Сутність методу штучних баз – нанесення на поверхню тертя поглиблень правильної форми по осі, розташованої по нормалі до поверхні тертя [6]. Поглиблення створюються спіральним свердлом.

Глибина поглиблення є штучною базою  $h$ . Величина  $h$  розраховується за формулою

$$h_i = \frac{d_i}{2} \operatorname{ctg}\left(\frac{\varphi}{2}\right), \quad (1)$$

де  $\varphi$  – робочий кут інструмента (для свердла  $\varphi = 118^\circ$ ).

Внаслідок зношення досліджуваних зразків після напрацювання  $t_i$  діаметр поглиблень буде зменшуватись, а відповідно буде зменшуватись величина бази  $h$ . Зношення поверхні розраховується за формулою

$$\Delta_i = h_0 - h_i. \quad (2)$$

Випробування проводилось на устаткуванні за методикою випробувань на машині тертя за схемою «диск-колодка». Спочатку визначалось початкове значення діаметра лунки  $d_0$  бази  $h_0$ . Дослідний зразок випробувався на зношення в парі з колодкою при заданому навантаженні  $G = 1000$  Н, частоті обертання  $n = 1400$  хв<sup>-1</sup> та умовах тертя (сухе тертя). Як контртіло використовувався бархатний напилек (25 зубців на 1 см<sup>2</sup>). Напилки виготовляються з інструментальної вуглецевої сталі У13 або У13А та загартовуються на твердість не нижче 54–58 HRC.

Через рівні проміжки часу вимірювались діаметри заглиблень  $d_i$  на розраховувались величини баз  $h_i$ . Потім визначалось зношення поверхні  $\Delta_i$  для побудови тренду зношення в часі.

Зносостійкість  $J_s$  (км/мм) визначається за формулою

$$J_{Si} = \frac{\pi D n t_i}{1000 \Delta_i}, \quad (3)$$

де  $D$  – діаметр дослідного зразка, мм;

$n$  – частота обертання, хв<sup>-1</sup>;

$t_i$  – час випробування, хв.

Інтенсивність зношення  $V_i$  є величиною, оберненою до зносостійкості

$$V_i = \frac{1}{J_{Si}}. \quad (4)$$

За результатами експериментальних досліджень побудовані графіки зношення, зносостійкості та інтенсивності зношення досліджуваного зразка після зміцнення та зразка після механічної обробки без зміцнення (рис. 3-5).

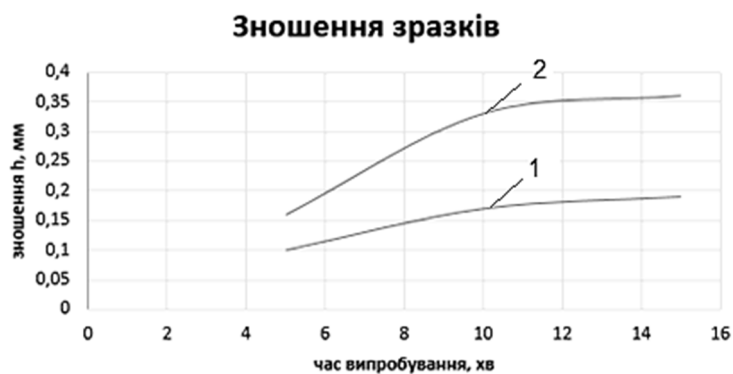


Рис. 3. Зношення поверхні дослідних зразків:  
1 – після зміцнення, 2 – без зміцнення

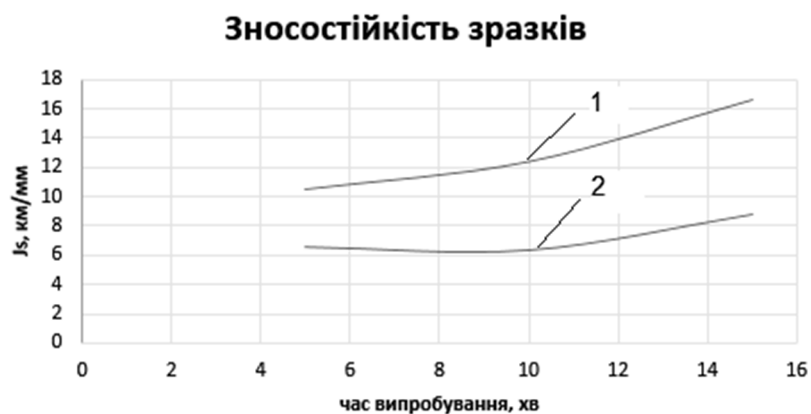


Рис. 4. Зносостійкість поверхні дослідних зразків:  
1 – після зміцнення, 2 – без зміцнення

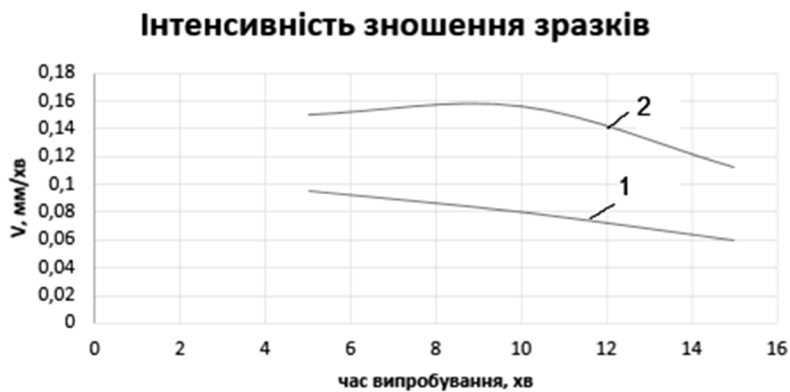


Рис. 5. Інтенсивність зношення поверхні дослідних зразків:  
1 – після зміцнення, 2 – без зміцнення

Аналіз графічних залежностей свідчить про те, що метод алюмотермії дозволяє збільшити зносостійкість у 1,8-2 рази, інтенсивність зношення зменшується в 1,7-1,9 раза.

**Висновки.** У роботі досліджено метод поверхневого зміцнення з використанням алюмотермії на відкритому повітрі. Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що зміцнення поверхневих шарів методом алюмотермії на відкритому повітрі дозволяє отримати збільшення мікротвердості в 2-2,2 рази. Зносостійкість при цьому збільшується в 1,8-2 рази, інтенсивність зношення зменшується в 1,7-1,9 рази. Представлені в роботі результати досліджень можуть у подальшому використані для створення технологічного процесу виготовлення деталей із використанням алюмотермії замість термічної операції.

#### Список використаних джерел

1. Суслов А. Г. Функционально-ориентированные технологии обработки рабочих поверхностей деталей машин. *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2014. № 1(19). С. 107-109.
2. Геворкян Е. С., Тимофеева Л. А., Нерубацький В. П., Мельник О. М. Інтегровані технології обробки матеріалів : підручник. Харків : УкрДУЗТ, 2016. 238 с.
3. Фесенко А. Г., Бечке К. В., Манжаліівський С. В. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин : навч. посіб. Дніпро : РВВ ДНУ, 2015. 104 с.
4. Завгородняя Е. А., Ковалевский С. В., Тулупов В. И. Исследование способа упрочнения поверхностей деталей машин нанесением износостойких покрытий с использованием СВС-реакций. *Наука и студент – XXI века : сборник научных работ XI Всеукраинской студенческой научно-технической конференции по технологии машиностроения*. Краматорск : ДГМА, 2009. С. 28–32.
5. Костыря В. Ю. Структурноупрочняемые самоотermoобработывающиеся СВС материалы. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Стародубовские чтения*. 2011. Вып. 58. С. 333-350.
6. Ефремов Л. В., Тикалов А. В., Бреки А. Д. Ускоренные испытания стальных образцов на износостойкость методом искусственных баз. *Изв. вузов. Приборостроение*. 2016. Т. 59, № 8. С. 671-676.

#### References

1. Suslov, A.G. (2014). Funktsionalno-orientirovannye tekhnologii obrabotki rabochikh poverkhnostei detalei mashin [Functionally oriented technologies for processing the working surfaces of machine parts]. *Izvestiia MGTU, 1(19)*, 107-109.
2. Hevorkian, E.S., Tymofeieva, L.A., Nerubatskyi, V.P., & Melnyk, O.M. (2016). *Intehrovani tekhnolohii obrobky materialiv [Integrated materials processing technologies]*. UkrDUZT.
3. Fesenko, A.H., Bechke, K.V., Manzhaliivskyi, S.V. (2015). Metody poverkhnevoho zmitsnennia u protsesi vyhotovlennia detalei mashyn [Methods of surface hardening in the process of manufacturing machine parts]. RVV DNU.
4. Zavgorodniaia, E.A., Kovalevskii, S.V., Tulupov, V.I. (2009). Issledovanie sposoba uprochneniia poverkhnostei detalei mashin naneseniem iznosostoikikh pokrytii s ispolzovaniem SVS-reaktcii [Investigation of the method of improving the surface of machine parts by applying wear-resistant coatings using SVS-reaction]. *Nauka i student – XXI veku: Sbornik nauchnykh rabot XI Vseukrainskoi studencheskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii po tekhnologii mashinostroeniia - Science and student for the XXI century: Collection of scientific works of the XI All-Ukrainian student scientific and technical conference on mechanical engineering technology* (pp. 28 –32). DHMA.
5. Kostyria, V.Iu. (2011). Strukturnouprochniaemye samotermoobrabatyvaiushchiesia SVS materialy [Structurally strengthened self-heat-treating SHS materials]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriiia : Starodubovskie chteniia - Building. Materials Science. Mechanical engineering. Series: Starodubov Readings*, 58, 333-350.
6. Efremov, L. V., Tikalov, A. V., Breki, A. D. (2016). Uskorennye ispytaniia stalnykh obraztcov na iznosostoikost 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.

UDC 621.793.620.172

*Volodymyr Tulupov, Serhii Onyshchuk***RESEARCHING OF THE METHOD OF SURFACE STRENGTHENING DETAILS USING ALUMOTHERMIA**

*The use of technological methods for strengthening the surfaces of metal workpieces has recently become relevant in the mechanical engineering industry. Chemical and heat treatment combines chemical and thermal effects to change the composition, structure and properties of the surface layer of machined parts. The scientific work is devoted to the research of the method of surface hardening of details with the use of aluminothermy in the open air.*

*The use of thermal operations requires application of special equipment, interruption of the technological process, which increases the duration of the production cycle. In addition, the known methods of hardening treatment using aluminothermy as one of the methods of chemical heat treatment, require a process implementing special equipment and additional materials. Therefore, the development of a method of hardening using aluminothermy in the open air is an important one.*

*This article is dedicated to the works on strengthening methods used in mechanical engineering.*

*Implementation of aluminothermy technology requires special equipment and additional materials. The process of aluminothermy in the open air is unexplored; in particular, it is necessary to investigate the technological modes of implementation of the method and its impact on the wear resistance of products.*

*The aim of the work is to study the method of surface hardening of metal samples using aluminothermy in the open air.*

*The technological method of surface hardening with the use of aluminothermy in the open air is investigated. The chemical composition after aluminothermy and microhardness of the surface layer are determined by metallographic studies. The microstructure of the sample metal is studied. The wear resistance and wear intensity of the prototypes are investigated using the method of artificial bases.*

*The method of surface hardening using aluminothermy in the open air is investigated in the work. It is determined that the method allows to increase the wear resistance by 1.8-2 times while the wear intensity decreases by 1.7-1.9 times.*

**Keywords:** surface hardening; aluminothermy; microhardness; durability; chromium oxide.

*Fig.: 5. Table: 1. References: 6.*

**Тулупов Володимир Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інноваційних технологій і управління, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Tulupov Volodymyr** – PhD in Technical science, Associate Professor of innovative technologies and management department, Donbas State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** wladimir.tulupov@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3951-364X>

**Онищук Сергій Григорович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інноваційних технологій і управління, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Onyshchuk Serhii** - PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of innovative technologies and management department, Donbas State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** onishchuk65@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8157-6869>