



Прийнято 13.10.2025. Прорецензовано 26.11.2025. Опубліковано 30.12.2025.

УДК 621.79

DOI: 10.31471/1993-9965-2025-2(59)-33-43

НОВИЙ СПОСІБ ОБРОБКИ СТАЛЕВИХ ВТУЛОК САЛЬНИКОВИХ УЩІЛЬНЕНЬ НАСОСІВ

Тарельник В. Б. *

Доктор технічних наук, професор
Сумський національний аграрний університет
40000, м. Суми, вул. Герасима Кондратьєва, 160
<http://orcid.org/0000-0003-2005-5861>
e-mail: tarelnyk@ukr.net

Доценко А. О.

Аспірант
Сумський національний аграрний університет
40000, м. Суми, вул. Герасима Кондратьєва, 160;
<http://orcid.org/0009-0000-7230-9435>
e-mail: a.dotsenko.olivija@gmail.com

Анотація. Розроблено новий спосіб підвищення параметрів якості поверхневих шарів сталевих втулок сальникових ущільнень (СУ) насосів, який включає цементацію методом електроіскрового легування (ЕІЛ) графітовим електродом-інструментом (ЕІ) поверхні деталі (ЦЕІЛ), нанесення на отриману поверхню металополімерного матеріалу (МППМ) армованого порошком нікелю марки ПНЕ (ГОСТ 972297) з концентрацією в полімерному матеріалі ~ 60% або твердого сплаву марки ВК6 (ТУ 48-4205-112-2017) з концентрацією в полімерному матеріалі ~ 60%, або порошком нітриду цирконію (специфікація CAS 25658-42-8) з концентрацією в полімерному матеріалі ~ 80%. Порошки додавали в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену ферросиліконом марки Loctite 3478 при вище зазначеній концентрації армуючої речовини. Метою наданої роботи було удосконалення способу виготовлення захисних сталевих втулок СУ насосів, які працюють в умовах підвищеної корозійної активності середовища, радіаційного випромінювання або при роботі насоса з абразивними частинками. В процесі проведення досліджень був запропонований коефіцієнт K , який дорівнює величині шорсткості R_z поверхневого шару, сформованого при ЦЕІЛ і який характеризує глибину обробки поверхневого шару після нанесення армованого МППМ, при якій площа поверхневого шару з полімерного матеріалу буде дорівнювати площі, що складається з ділянок зрізаної шорсткості, що сформувалась при цементації. При зменшенні коефіцієнту K у загальній площі поверхневого шару буде переважати площа, сформована з армованого МППМ матеріалу, а при збільшенні - з матеріалу втулки. При використанні запропонованого нового способу підвищення параметрів якості поверхневих шарів сталевих втулок СУ насосів товщина сформованого зміцненого шару, в залежності від енергії розряду, W_p і марки сталі складає від 50 до 900 мкм, твердість 990-1130 HV і шорсткість $R_a = 0,3-0,5$ мкм. Для визначення впливу отриманих характеристик поверхневих шарів сталевих втулок СУ насосів на зносостійкість, в наступних дослідженнях потрібно провести порівняльні випробування на зносостійкість.

Запропоноване посилання: Тарельник, В. Б. & Доценко, А. О. (2025). Новий спосіб обробки сталевих втулок сальникових ущільнень насосів. Науковий вісник ІФНТУНГ, 2(59), 33-43. doi: 10.31471/1993-9965-2025-2(59)-33-43

* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Ключові слова: електроіскрове легування, металополімерні матеріали, металорізальний інструмент, знос, мікротвердість, шорсткість, екологічна безпека.

Вступ

Науково-технологічний прогрес є головною рушійною силою довгострокового економічного зростання, яке тісно пов'язане з появою нової і більш надійної техніки, яка відрізняється подовженим терміном використання, меншими матеріальними та енергетичними затратами. Враховуючи, що руйнування деталі розпочинається переважно з поверхні, то саме її якості слід надавати якомога більшої уваги.

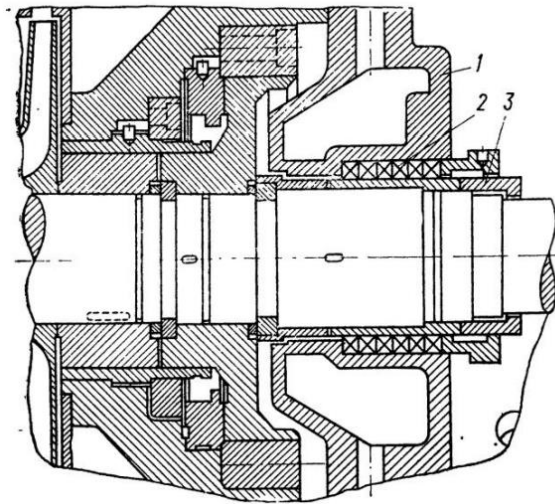
В агропромислових комплексах (АПК) України використовується дуже велика кількість насосів та pomp, які мають свої конструктивні особливості, залежністю проточної частини від рідких агрономічних препаратів, гідроабразивного середовища тощо.

Дуже важливим вузлом відцентрових насосів, які розповсюджені в системах поливу та іригації АПК, є ущільнення ротора, з відмовою яких пов'язано до 70% зупинок насосів. Найбільш розповсюдженим ущільненням ротора вважаються сальникові ущільнення (СУ). Проведені Європейською асоціацією ущільнень дослідження, показали, що в Західній Європі до 85% насосів використовують СУ [1]. Таке розповсюдження СУ пояснюється низькою вартістю та простою конструкцією.

Незважаючи на низку переваг, СУ мають і недоліки. Це порівняно значні втрати ущільненням рідини, обмежена довговічність та складність ремонту. Враховуючи дуже велику кількість СУ, що використовується в галузі насособудування, проблема удосконалення технології їх виготовлення та ремонту з метою покращення їх надійності, довговічності, економічності, герметичності та екологічної безпеки є актуальною та потребує негайного вирішення.

Аналіз основних досліджень і публікацій

З-поміж існуючих ущільнюючих вузлів насосів СУ має найбільш просту конструкцію та не викликає складнощів при обслуговуванні. Конструктивні особливості СУ достатньо описані в [2], а його схема представлена на рисунку 1. У корпусі СУ 1 розташовані розрізні кільця 2 з м'якої сальникової набивки, які стискаються втулкою 3. Крім цього, розрізні кільця 2 після стискування в осьовому напрямку притискаються до корпусу та втулки валу, забезпечуючи потрібну герметичність.



1 – корпус; 2 – розрізні кільця; 3 – втулка

Рисунок 1 – СУ [2]

Згідно [2] головними причинами виходу з ладу СУ є:

- використання в якості набивки іншої марки матеріалу;
- неправильне складання сальникових елементів;
- збільшена від допустимої вібрація ротора або биття захисної втулки валу;
- малий тиск запірної рідини при роботі насоса;
- перебільшене стискання сальника при обслуговуванні, що веде до зносу поверхневого шару захисної втулки;
- продовження експлуатації сальника при зношеній поверхні втулки.

В умовах підвищеної корозійної активності середовища або при роботі насоса з абразивними частинками матеріалом для захисних втулок сальникових ущільнень насосів найчастіше використовують нержавіючі сталі, які забезпечують високу міцність, зносостійкість і корозійну стійкість [3].

Для підвищення зносостійкості сталевих поверхонь деталей існує багато способів зміцнення їх поверхневих шарів: загартування струмами високої частоти, лазерна обробка, поверхневе пластичне деформування (ППД), хіміко-термічні методи обробки (ХТО) тощо, а також нанесення захисних покриттів: різні методи напilenня, конденсоване іонне бомбардування, електроіскрове легування (ЕІЛ) тощо.

В [4] автори пропонують замінити матеріал сталевих втулок СУ насосів зі сталі 45 на сталь У8, поверхневий шар яких піддають еле-

ктромеханічному зміцненню, в результаті дії якого зносостійкість підвищується у 6,1 рази.

Завдяки своїм характерним властивостям, таким як екологічна безпека [5] локальність дії, відсутність негативної зміни геометричних розмірів (поводок і короблень), міцному з'єднанню нанесеного шару покриття з основою [6], можливість наситити поверхневий шар легуючими елементами [7] тощо, метод ЕІЛ, серед зміцнюючих і ремонтних технологій, займає одну з головних ніш. Метод ЕІЛ, як і всі інші методи покращення параметрів якості поверхонь деталей машин, має і недоліки: збільшення шорсткості поверхневих шарів, формування в поверхні залишкових розтягуючих напружень та зниження втомлювальної міцності виробів, особливо якщо вони підлягають знакозмінним навантаженням. Недоліки методу ЕІЛ усуваються завдяки використанню наступної ППД [5].

Метод ЕІЛ може бути альтернативою ХТО. Так, відомий спосіб цементації сталевих деталей електроіскровим легуванням (ЦЕІЛ) [7], який має ряд переваг, основними з яких є: досягнення 100 % суцільності зміцнення поверхні деталі і підвищення її твердості за рахунок дифузійно-гартівних процесів; можливості проведення процесу ЕІЛ на локальних ділянках, не захищаючи решту поверхні; простота використання ЕІЛ тощо. При ЦЕІЛ відбувається зміцнення поверхневого шару сталевих деталей, глибина якого від енергії розряду, W_p і продуктивності процесу, Q . Зі збільшенням енергії розряду і зменшенням продуктивності легування відбувається збільшення товщини зміцненого шару, а також зростає шорсткість поверхні, наприклад, при ЦЕІЛ сталі 40Х, поверхня якої мала шорсткість $Ra=0,5$ мкм, з продуктивністю $Q=0,2$ см²/хв при $W_p=6,8$ Дж, товщина зміцненого шару дорівнює 1,15 мм, а $Ra=11,7-14,0$ мкм.

Підвищену внаслідок застосування ЦЕІЛ шорсткість поверхні можна зменшити шляхом наступного нанесення на поверхню деталей полімерних матеріалів (ПМ) [8]. Поєднання технології ЦЕІЛ і нанесення ПМ усуває основний недолік останньої – необхідність формування, для кращого зчеплення нанесеного матеріалу з основою, спеціального рельєфу (шорсткості) поверхні. Так, відомий спосіб ЕІЛ поверхні деталі з енергією розряду, $W_p=0,036-6,8$ Дж, чим забезпечують задану шорсткість поверхні покриття, що становить від 1 до 200 мкм і більше. з подальшим нанесенням на сформовану поверхню ПМ із подальшою його полімеризацією. Після полімеризації поверхню обробля-

ють методом ЕІЛ з використанням ЕІ з графіту при $W_p=0,05$ Дж. При цьому виступи шорсткості поверхні, сформованої при ЦЕІЛ, розплавляються і руйнуються.

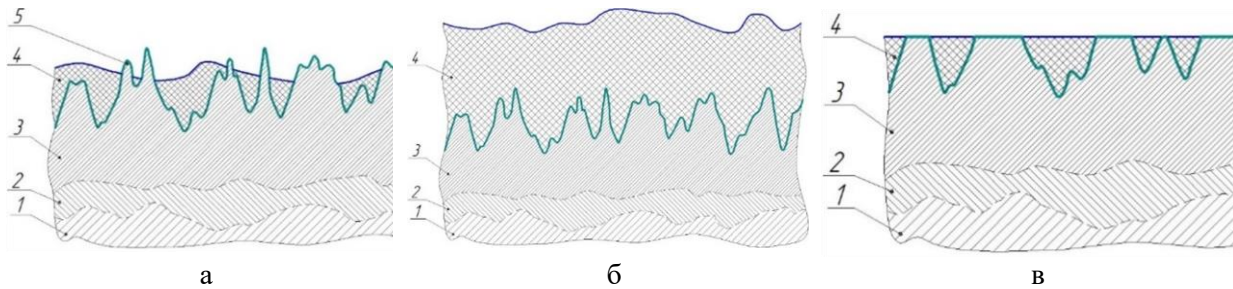
Згідно з [8] технології ЕІЛ і ПМ можна комбінувати. Перевагами інтегрованої технології ЕІЛ + ПМ є: збільшення суцільності поверхні з 50 до 100%; значне зниження шорсткості поверхні, сформованої при ЕІЛ; збільшення твердості в порівнянні з твердістю при нанесенні ПМ; зниження ймовірності утворення осередків корозії у западинах, заповнених ПМ; підвищена зносостійкість поверхні, надійність та довговічність деталей вища, ніж в окремих технологіях. Слід відмітити, що при використанні в якості електроду-інструменту (ЕІ) графіту матеріал на поверхню деталі не переноситься, а дифундує в глибину поверхневого шару, але шорсткість поверхневого шару збільшується, як і при використанні металевого електроду.

Завдяки застосуванню інтегрованої технології ЕІЛ + ПМ можливі різні варіанти структури поверхневого шару (рис. 2) [8]:

- неповне покриття ПМ шорсткості після ЦЕІЛ (рис. 2, а);
 - повне покриття ПМ шорсткості після ЦЕІЛ (рис. 2, б);
 - поверхня після механічної обробки, коли залишаються окремі ділянки з матеріалу, сформованого після ЦЕІЛ і ділянки з ПМ (рис. 2, в).
- Зі збільшенням глибини обробки, площа ділянок поверхні з ПМ зменшується, а отримана методом ЦЕІЛ – зростає.

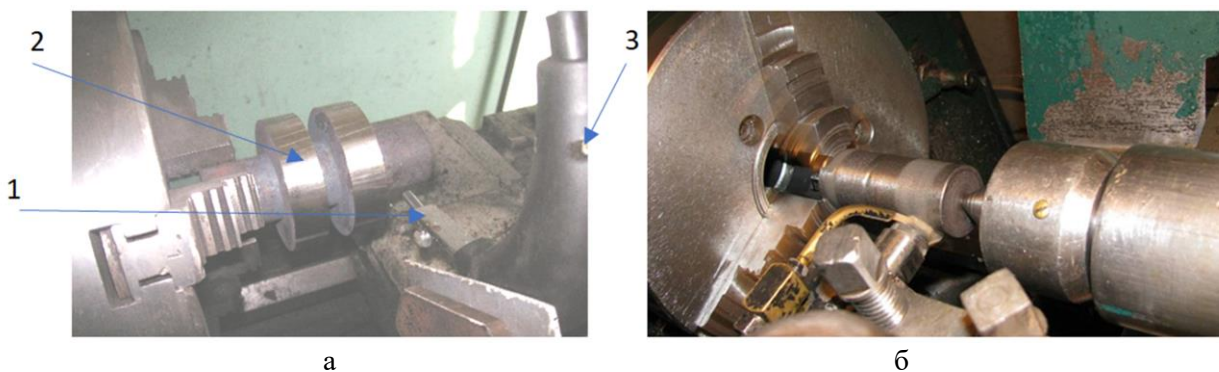
З метою покращення якості ПМ (збільшення твердості, міцності тощо) використовують його армування. ПМ, армований металевими частками називають металополімерним матеріалом (МПМ). В якості армованого матеріалу при полімеризації використовують різні металеві матеріали, наприклад, порошок у вигляді твердосплавної суміші ВК6, який невеликими порціями додають у ПМ. Утворену консистентну речовину, ретельно втираючи, наносять на сформоване методом ЕІЛ покриття [9].

Механічну обробку покриття, сформованого методом ЕІЛ з наступним нанесенням МПМ можна виконувати шліфуванням на шліфувальних верстатах, але при цьому можливе вкраплення в поверхневий шар абразивних часток. Тому краще використовувати обробку металорізальним інструментом. Враховуючи, що композиційне покриття ЦЕІЛ + МПМ складається з м'якого ПМ і твердих включень шорсткості, сформованої після ЦЕІЛ



а – неповне покриття ПМ шорсткості після ЦЕІЛ; б – повне покриття ПМ шорсткості після ЦЕІЛ; в – поверхня з ділянками матеріалу, сформовано після ЦЕІЛ і ПМ після механічної обробки
 1 – матеріал основи; 2 – дифузійний шар; 3 – матеріал шорсткості сформованої після ЦЕІЛ;
 4 – покриття ПМ; 5 – виступ шорсткості, сформованої після ЦЕІЛ

Рисунок 2 – Схеми профілю поверхневого шару, сформованого комбінованою технологією ЦЕІЛ+ПМ



1 – електрод; 2 – зразок; 3 – вібратор (а) і застосування БУФО після ЦЕІЛ (б)

Рисунок 3 – Зміцнення поверхні в автоматизованому режимі

поверхні, то різці з твердосплавними ріжучими пластинами, які погано працюють на удар, не бажано використовувати, а краще застосовувати різці з матеріалу Р6М5, на ріжучу кромку яких методом ЕІЛ нанесене зносостійке покриття [10].

Таким чином, враховуючи вище зазначене, **метою роботи** є удосконалення способу виготовлення захисних сталевих втулок СУ насосів, які працюють в умовах підвищеної корозійної активності середовища, радіаційного випромінювання або при роботі насоса з абразивними частинками.

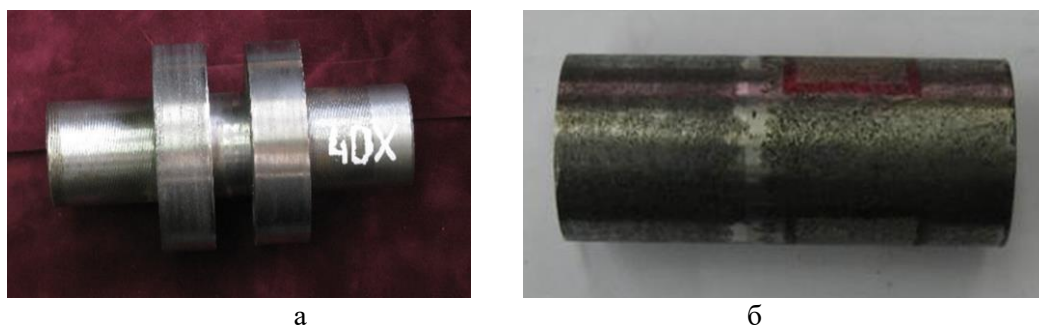
Методика досліджень

ЦЕІЛ зразків проводили на токарно-гвинторізному верстаті мод. 16К20. Вібратор кріпили в різцетримачі (рис. 3,а). Підведення електрода здійснювали механізмами верстата. Вибір режимів зміцнення (частота обертання шпинделя, подання) проводили виходячи із заданої продуктивності процесу.

Для досліджень використовували спеціальні круглі зразки, виготовлені зі сталей 40Х, 30Х13 і 12Х18Н10Т у вигляді котушки, що складається з двох дисків, діаметром 50 мм і шириною 10 мм, сполучених між собою проставкою діаметром 15 мм, що має дві технологічні ділянки такого самого діаметра, а також у вигляді циліндра діаметром 50 і завдовжки 100 мм (рис. 4). Зразки обробляли методом ЕІЛ з використанням ЕІ з графіту, тобто піддавали ЦЕІЛ. При цьому використовували установку моделі: «Елітрон-52А» і енергію розряду в діапазоні $W_p = 0,6-6,8$ Дж.

Поверхні дисків і циліндра перед ЦЕІЛ шліфували до $Ra = 0,5$ мкм. Зразки закріплювали в патроні токарного верстата і здійснювали ЦЕІЛ (рис. 5,а).

На поверхню зразків зі сталі 40Х, 30Х13 і 12Х18Н10Т, після ЦЕІЛ з $W_p = 2,8$ і 6,8 Дж і продуктивністю, $Q = 0,5$ і $0,2$ см²/хв наносили МПМ (рис. 5,б), який був армований в залежності від умов роботи насоса:



Зразки: а – у вигляді котушки; б – у вигляді циліндра
Рисунок 4 – Круглі зразки

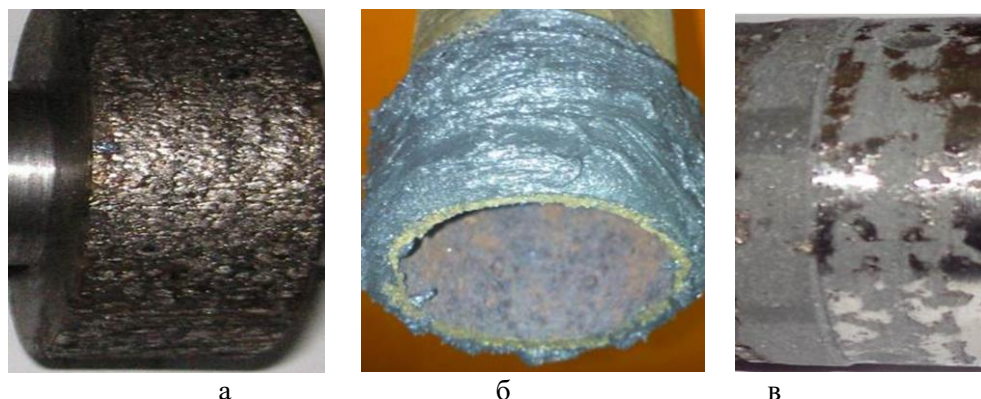


Рисунок 5 – Поверхня зразка сталі 40X після ЦЕІЛ з $W_p = 6,8$ Дж (а), нанесення МПМ (б) і проточування на глибину 0,6 мм

– порошком нікелю марки ПНЕ (ГОСТ 972297) з концентрацією в полімерному матеріалі $\sim 60\%$, якщо насос перекачує чисту воду без абразивних включень;

– вольфрамовим порошком марки ВК6 (ТУ 48-4205-112-2017) з концентрацією в полімерному матеріалі $\sim 60\%$, якщо насос перекачує воду з абразивними включеннями;

– порошком нітриду цирконію (специфікація CAS 25658-42-8) з концентрацією в полімерному матеріалі $\sim 80\%$, якщо насос працює в умовах радіаційного випромінювання.

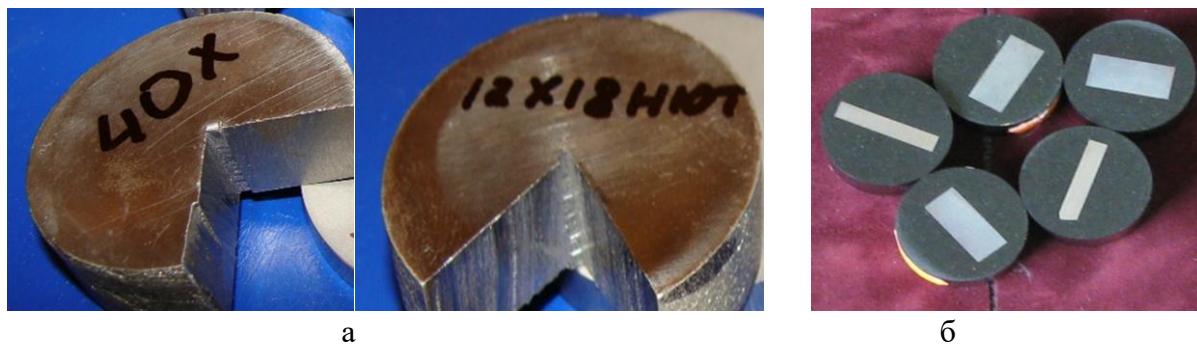
Порошки додавали в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену ферросиліконом марки Loctite 3478 при вище означеній концентрації армуючої речовини.

Після нанесення МПМ проводили часткове видалення сформованого поверхневого шару (рис. 5,в) різцем з матеріалу Р6М5, зміцненого методом ЕІЛ, шляхом нанесення на його ріжучу кромку зносостійкого покриття. Для визначення глибини, на яку потрібно видаляти різцем сформований поверхневий шар, потрібно користуватись коефіцієнтом K , який приблизно дорівнює шорсткості Rz , поверхневого шару, сформованого при ЦЕІЛ. В цьому випадку площа ділянок, що складаються зі сформо-

ваного при ЦЕІЛ матеріалу, приблизно дорівнює площі ділянок, що складаються з армованого полімерного матеріалу. Якщо потрібно, щоб площа ділянок зі сформованого при ЦЕІЛ з матеріалу (рис. 2,в) була більшою, то потрібно використовувати $K < Rz$, а якщо меншою – то $K > Rz$. Тобто при збільшенні глибини обробки площа ділянок поверхні з ПМ зменшується, а отримана методом ЦЕІЛ зростає.

Зразки з нанесеним МПМ проточували різцем на глибину, яка дорівнювала шорсткості Rz при ЦЕІЛ з $W_p = 2,8$ і $6,8$ Дж і продуктивністю, $Q = 0,2$ см²/хв., відповідно $Rz \sim 30$ і 60 мкм, тобто на $0,03$ і $0,06$ мм. В цьому випадку площа ділянок, що складаються зі сформованого при ЦЕІЛ матеріалу, приблизно дорівнює площі ділянок, що складаються з МПМ.

Після часткового видалення сформованого поверхневого шару з метою формування в поверхневому шарі стискаючих залишкових напружень і підвищення втомної міцності поверхню зразків піддавали безабразивної ультразвукової фінішної обробці (БУФО), яку проводили на базі токарно-гвинторізного верстата 16К20 (рис. 3,б) із застосуванням магнітострикційного перетворювача ПМС-39 та ультразвукового генератора УЗУ-030.



а – диски з вирізаними сегментами; б – готові шліфи

Рисунок 6 – Виготовлення шліфів для металографічних і дюрOMETричних досліджень

Для проведення металографічних і дюрOMETричних досліджень із круглих зразків вирізали окремі сегменти (рис. 6,а) і виготовляли шліфи (рис. 6,б).

Шліфи досліджували на оптичному мікроскопі «Неофот-2», де проводилася оцінка якості шару, його суцільності, товщини та будови зон підшару – дифузійної зони та зони термічного впливу. Одночасно проводився дюрOMETричний аналіз на розподіл твердості в поверхневому шарі та по глибині шліфу від поверхні. Вимірювання мікротвердості проводилося на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавлюванням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н (згідно з ГОСТ 9450-76).

Контроль шорсткості зміцненої поверхні здійснювався за параметром Ra і Rz на профілометри-профілографі моделі 201 заводу «Калібр» шляхом зняття та обробки профілограм.

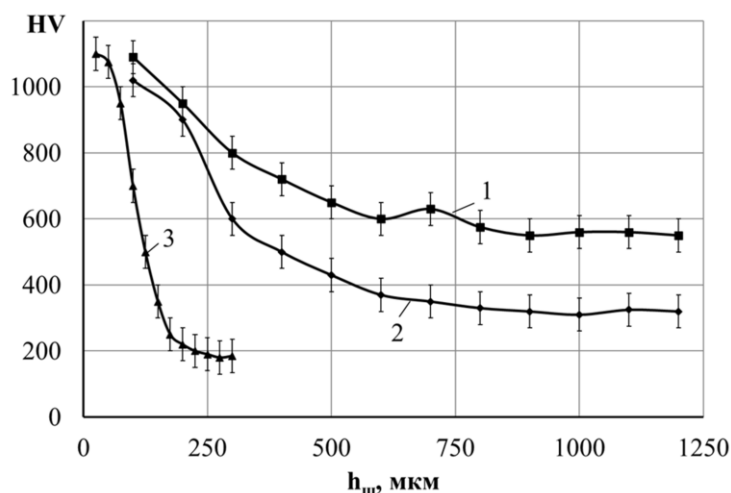
Результати досліджень

В таблиці 1 наведено значення загальної глибини зміцненого шару, твердості та шорсткості поверхневих шарів зразків сталі 40Х, 30Х13 і 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ з енергією розряду, $W_p = 0,6; 1,41; 2,83; 3,4$ і $6,8$ Дж і продуктивністю, $Q = 0,2 \text{ см}^2/\text{хв}$.

Як видно з таблиці 1, параметри якості зміцненого шару зразків для кожного матеріалу сталі різні та змінюються залежно від енергетичних параметрів обробки (енергії розряду).

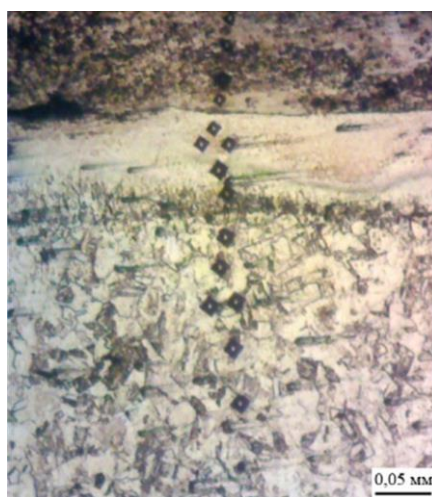
Таблиця 1 – Параметри якості поверхневих шарів зразків сталі 40Х, 30Х13, 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ

Енергія розряду, W_p , Дж	Продуктивність, $Q \text{ см}^2/\text{хв}$	Загальна глибина зміцненого шару, $h_{ш}$, мкм	Твердість, HV	Шорсткість Ra, мкм	
				Ra	Rz
Сталь 40Х					
0,6	0,2	50	987	0,9	4,1
1,41		377	993	2,5	11,3
2,83		658	997	6,2	27,2
3,4		722	1001	9,2	39,6
6,8		910	1050	14,1	63,2
Сталь 30Х13					
0,6	0,2	48	993	1.0	4,3
1,41		358	1000	1,7	11,8
2,83		623	1005	6,7	28,6
3,4		684	1020	8,8	41,3
6,8		860	1100	14.2	65,4
Сталь 12Х18Н10Т					
0,6	0,2	48	960	1.0	5,3
1,41		134	974	1,7	13,5
2,83		200	1013	6,6	29,8
3,4		210	1100	8,7	43,7
6.8		250	1101	14,5	68,8

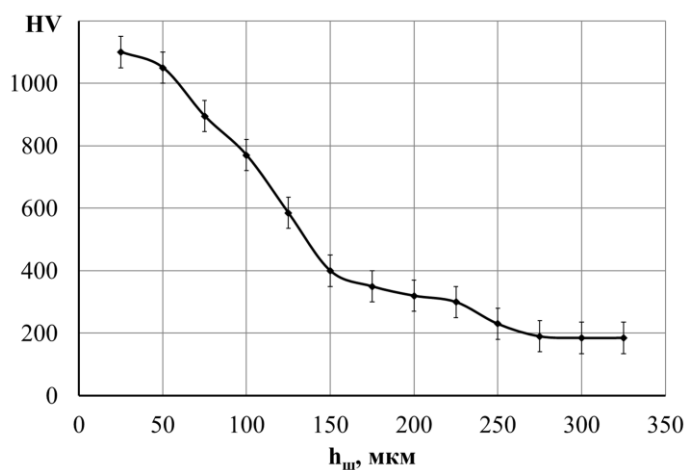


1 – 30X13; 2 – 40X; 3 – 12X18H10T при ЦЕЛ з $W_p = 6,8$ Дж і $Q = 0,2$ см²/хв.

Рисунок 7 – Розподіл мікротвердості поверхневого шару на підкладках зі сталей



а



б

Рисунок 8 – Структура сталі 12X18H10T після ЦЕЛ + (МПП + порошок твердого сплаву ВК6) (а) і розподіл мікротвердості сформованого покриття в міру поглиблення з поверхні (б)

Дюрометричний аналіз проведених досліджень показав, що, незалежно від матеріалу сталі та енергії розряду, твердість зміцненого шару в міру поглиблення плавно знижується та переходить у мікротвердість підкладки. На рисунку 7 показано розподіл мікротвердості поверхневого шару на підкладках зі сталей 40X, 30X13 та 12X18H10T при ЦЕЛ з $W_p = 6,8$ Дж і $Q = 0,2$ см²/хв.

На рисунку 8,а зображена структура зразка сталі 12X18H10T після ЦЕЛ з подальшим нанесенням композиційного матеріалу, що складається з ПМ і порошку твердого сплаву ВК6 а також розподіл мікротвердості, сформованого покриття в міру поглиблення з поверхні (б).

Аналіз мікроструктури (рис. 8,а) показав, що при нанесенні композиційного матеріалу з МПП і порошку твердого сплаву ВК6 поверх-

невий шар складається з 4-х зон. На поверхні розташована зона темного кольору товщиною до 120 мкм, мікротвердість якої знаходиться в межах 820 – 1120 HV. На межі з другою зоною мікротвердість становить 650-700 HV. Нижче, у міру поглиблення, розташована зона світлого кольору товщиною до 90 мкм, мікротвердість якої становить близько 450 HV. Ще нижче мікротвердість плавно знижується, і на глибині ~ 260 мкм відповідає мікротвердості основи.

Зразки зі сталей 40X, 30X13 та 12X18H10T після ЦЕЛ з $W_p = 2,8$ і 6,8 Дж при $Q = 0,2$ см²/хв. і нанесення МПП, армованого порошком нікелю, твёрдосплавним порошком марки ВК6 і порошком з нітриду цирконію і проточування різцем на глибину 0,03 і 0,06 мм, піддавали оброблюванню БУФО. Результати після обробки БУФО представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри якості поверхневих шарів зразків зі сталі 40X, 30X13 і 12X18H10T після ЦЕІЛ, нанесення МПМ, проточування і БУФО

Енергія розряду, W_p , Дж	Глибина проточування, мм	Загальна глибина зміцненого шару, $h_{ш}$, мкм	Твердість, HV	Шорсткість, мкм	
				Ra	Rz
Армування порошком нікелю марки ПНЕ (ГОСТ 972297)					
Сталь 40X					
2,8	0,3	653	995	0,3	1,5
6,8	0,6	901	1010	0,5	2,5
Сталь 30X13					
2,8	0,3	616	1010	0,4	2,0
6,8	0,6	850	1130	0,6	3,0
Сталь 12X18H10T					
2,8	0,3	193	1015	0,3	1,5
6,8	0,6	244	1120	0,5	2,5
Армування вольфрамовим порошком марки ВК6 (ТУ 48-4205-112-2017)					
Сталь 40X					
2,8	0,3	655	1010	0,3	1,5
6,8	0,6	903	1060	0,5	2,5
Сталь 30X13					
2,8	0,3	618	1055	0,4	2,0
6,8	0,6	851	1110	0,6	3,0
Сталь 12X18H10T					
2,8	0,3	194	1020	0,3	1,5
6,8	0,6	245	1130	0,5	2,5
Армування порошком нітриду цирконію (специфікація CAS 25658-42-8)					
Сталь 40X					
2,8	0,3	657	1018	0,3	1,5
6,8	0,6	906	1080	0,5	2,5
Сталь 30X13					
2,8	0,3	619	1075	0,4	2,0
6,8	0,6	852	1121	0,6	3,0
Сталь 12X18H10T					
2,8	0,3	195	1025	0,3	1,5
6,8	0,6	247	1133	0,5	2,5

В результаті аналізу таблиці 2 встановлено, що товщина зміцненого шару сталі 40X, 30X13 і 12X18H10T після ЦЕІЛ, нанесення МПМ і проточування з наступною БУФО в порівнянні з товщиною після ЦЕІЛ (див. табл.1) цих сталей незначно зменшилась. Наприклад, для сталі 12X18H10T, після ЦЕІЛ з $W_p = 6,8$ Дж і $Q = 0,2$ см²/хв. зменшилась з 250 до 244, 245 і 247 мкм, а твердість, навпаки, незначно збільшилась – з 1101 HV до 1120, 1130 і 1133 HV . Шорсткість поверхні зменшилась майже в 30 разів – з 14,5 до 0,5 мкм.

Висновки

1. Розроблено новий спосіб підвищення параметрів якості поверхневих шарів сталевих втулок сальникових ущільнень (СУ) насосів,

який включає цементацию методом електроіскрового легування (ЕІЛ) графітовим електродом-інструментом поверхні деталі (ЦЕІЛ), нанесення на отриману поверхню металополімерного матеріалу (МПМ), армованого порошком нікелю, або твердого сплаву ВК6, або нітридом цирконію. Для визначення впливу отриманих характеристик поверхневих шарів сталевих втулок СУ насосів на зносостійкість у наступних дослідженнях потрібно провести порівняльні випробування на зносостійкість.

2. Запропонований коефіцієнт K , який дорівнює величині шорсткості Rz поверхневого шару, сформованого при ЦЕІЛ, і характеризує глибину обробки поверхневого шару після нанесення армованого МПМ, при якій площа поверхневого шару з полімерного матеріалу

буде дорівнювати площі, що складається з ділянок зрізаної шорсткості, що сформувалась при цементації.

3. При використанні запропонованого нового способу підвищення параметрів якості поверхневих шарів сталевих втулок СУ насосів товщина зміцненого шару, залежно від енергії розряду, і марки сталі складає 50-900 мкм, твердість 990-1130 HV і шорсткість $Ra = 0,3-0,5$ мкм.

Подяка

Результати частково отримано в рамках науково-дослідного проекту «Розробка екологічно безпечних технологій модифікації поверхні деталей обладнання електростанцій комбінованими методами, заснованими на електроіскровому легуванні» за фінансування Міністерства освіти і науки України (держ. реєстр. № 0124U000539, Сумський державний університет).

Конфлікт інтересів

Відсутній.

Список використаних джерел

1. Gaft J., Marcinkowski M. A choice of the seal for the shaft of the pump. *Proceeding of the Pump Users International Forum*, 29–30 sept. 2004, Karlsruhe, P. 37–44.
2. Панченко В.О., Герман В.Ф., Івченко О.В. та ін. Підконтрольна експлуатація обладнання насосних станцій: навч. посіб. Суми: Сумський державний університет, 2020. 270 с.
3. Sapozhnykov, Y., Zahorulko, A. Computational studies of stuffing box packing seal wear mechanism using the Archard model. *Problems of Tribology*. 2024. Vol. 29(2/112), P. 6–15. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-112-2-6-15>
4. Куликівський В.Л., Орел В.О. Механічні властивості поверхневого шару захисних втулок після електромеханічного поверхневого загартування. *Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України*. Київ. 2024. С. 312-315.
5. Tarelnyk, V.B., Gaponova, O.P., Loboda, V.B., Konoplyanchenko, E.V., Martsinkovskii, V.S., Semirnenko, Yu.I., Tarelnyk, N.V., Mikulina, M.A., Sarzhanov B.A. Improving Ecological Safety when Forming Wear-Resistant Coatings on the Surfaces of Rotation Body Parts of 12Kh18N10T Steel Using a Combined Technology Based on Electrospark Alloying. *Surf. Engin. Appl. Electrochem*. 2021. Vol. 57, P. 173–184. <https://doi.org/10.3103/S1068375521020113>
6. Тарельник Н.В., Доценко А.О. Підвищення якості металорізальних інструментів, що працюють в умовах радіаційного опромінення, *Вісник ВПІ*. 2025. Вип. 2, С. 157–163.
7. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням: пат. UA № 82948 U Україна МПК (2006), 23C 8/00. / В.С. Марцинковський, В.Б. Тарельник, А.В. Белоус. № а 200609804; заявл. 13.09.2006; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 10.
8. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей: пат. UA № 104664 U, Україна МПК (2014.01), B23H 5/00, B23H 9/00, C23C 28/00 / В.С. Марцинковський, В.Б. Тарельник, О.Г. Павлов, А.О. Іщенко ; № а 2012 09838; заявл. 14.08.2012 ; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4.
9. Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Tarelnyk N., Martsynkovskyy V., Sarzhanov B., Sarzhanov O., Antoszewski B. Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. *Powder Metall Met Ceram*. 2020. Vol 58, P. 703–713. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00127-8>.
10. Спосіб зміцнення металорізальних інструментів: пат. UA № 158217 U, Україна МПК (2024.01), B23H9/00; B23P15/00. / В.Б. Тарельник, Д.Б. Глушкова, О.П. Гапонова, Н.В. Тарельник, А.О. Доценко, С.В. Павловський; № у 2024 02967; заявл. 04.06.2024; опубл. 08.01.2025, Бюл. № 2, 2025.

References

1. Gaft, J., & Marcinkowski, M. (2004). A choice of the seal for the shaft of the pump. *Proceeding of the Pump Users International Forum*, Karlsruhe (pp. 37–44).
2. Panchenko, V.O., Herman, V.F., Ivchenko, O.V., et al. (2020). *Pidkontrolna ekspluatatsiia obladnannia nasosnykh stantsii* [Sub-controlled operation of pumping station equipment]: Textbook. Sumskiy derzhavnyi universytet. [in Ukrainian]
3. Sapozhnykov, Y., & Zahorulko, A. (2024). Computational studies of stuffing box packing seal wear mechanism using the Archard model. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 6–15. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-112-2-6-15>
4. Kulykivskiy, V.L., & Orel, V.O. (2024). Mekhanichni vlastyivosti poverkhnevoho шарu zakhysnykh vtulok pislia elektromekhanichnoho poverkhnevoho zahartuvannia [Mechanical properties of the surface layer of protective sleeves after electromechanical surface hardening]. *Zbirnyk tez dopovidei XXV Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii "Suchasni problemy zemlerobskoi mekhaniky"* (pp. 312-315). MON Ukrainy, Natsionalnyi universytet bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. [in Ukrainian]
5. Tarelnyk, V. B., Gaponova, O. P., Loboda, V. B., Konoplyanchenko, E. V., Martsinkovskii, V. S., Semirnenko, Yu. I., Tarelnyk, N. V., Mikulina, M. A., & Sarzhanov, B. A. (2021). Improving Ecological Safety when Forming Wear-Resistant Coatings on the Surfaces of Rotation Body Parts of 12Kh18N10T Steel Using a Combined Technology Based on Electrospark Alloying. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 57, 173–184. <https://doi.org/10.3103/S1068375521020113>
6. Tarelnyk, N. V., & Dotsenko, A. O. (2025). Pidvyshchennia yakosti metalorizalnykh instrumentiv, shcho pratsiuut v umovakh radiatsiinoho oprominennia [Improving the quality of metal-cutting tools operating under radiation exposure]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, (2), 157–163. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-179-2-157-163> [in Ukrainian]
7. Martsynkovskiy, V. S., Tarelnyk, V. B., & Belous, A. V. (2008). *Sposib tsementatsii stalevykh detalei elektroeroziinym lehuванням* [Method of cementation of steel parts by electroerosive alloying] (Patent No. 82948 U Ukraine). Biuleten No. 10. <https://doi.org/10.15407/mfint.42.05.0655> [in Ukrainian]
8. Martsynkovskiy, V. S., Tarelnyk, V. B., Pavlov, O. H., & Ishchenko, A. O. (2014). *Sposib vidnovlennia znosh. poverkhon metal. detalei* [Method of restoring worn metal surfaces of parts] (Patent No. 104664 U Ukraine). Biuleten No. 4. [in Ukrainian]
9. Tarelnyk, V., Konoplianchenko, I., Gaponova, O., Tarelnyk, N., Martsynkovskyy, V., Sarzhanov, B., Sarzhanov, O., & Antoszewski, B. (2020). Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 58, 703–713. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00127-8>
10. Tarelnyk, V. B., Hlushkova, D. B., Haponova, O. P., Tarelnyk, N. V., Dotsenko, A. O., & Pavlovskiy, S. V. (2025). *Sposib zmitsnennia metalorizalnykh instrumentiv* [Method of strengthening metal-cutting tools] (Patent No. 158217 U Ukraine). Biuleten No. 2. [in Ukrainian]

A NEW METHOD FOR PROCESSING STEEL BUSHINGS FOR PUMP PACKING SEALS

Tarelnyk V. B.

Doctor of Technical Sciences, Professor
Sumy National Agrarian University
40000, Herasyma Kondratieva Str., 160, Sumy, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-2005-5861>
e-mail: tarelnyk@ukr.net

Dotsenko A. O.

Postgraduate student
Sumy National Agrarian University
40000, Herasyma Kondratieva Str., 160, Sumy, Ukraine
<http://orcid.org/0009-0000-7230-9435>
e-mail: a.dotsenko.olivija@gmail.com

Abstract. A new method has been developed to improve the quality parameters of the surface layers of steel bushings of pump packing seals, which includes carburizing by electrospark alloying (ESA) using a graphite tool electrode applied to the surface of the part (C-ESA), followed by deposition of a metal–polymer material (MPM) reinforced with nickel powder grade PNE (GOST 972297) at a concentration of ~ 60% in the polymer matrix, or hard alloy grade VK6 (TU 48-4205-112-2017) at a concentration of ~ 60%, or zirconium nitride powder (CAS 25658-42-8) at a concentration of ~ 80%. The powders were added into a two-component epoxy system filled with ferrosilicon (Loctite 3478) at the specified concentration of the reinforcing phase. The aim of this study was to improve the manufacturing method of protective steel bushings for pump packing seals operating in environments with high corrosion activity, radiation exposure, or in pumps handling abrasive particles. During the research, a coefficient K was proposed, equal to the surface roughness R_z of the layer formed by C-ESA, which characterizes the depth of surface treatment after applying the reinforced MPM, at which the surface area composed of polymer material becomes equal to the area formed by the cut roughness peaks remaining from carburizing. When coefficient K decreases, the overall surface area is dominated by the reinforced MPM, whereas an increase in K results in a greater share of the bushing material. Using the proposed method of improving surface layer parameters of steel bushings of pump packing seals produces a strengthened layer with a thickness ranging from 50 to 900 μm , depending on the discharge energy W_p and the steel grade, hardness of 990–1130 HV, and roughness $R_a = 0.3\text{--}0.5\ \mu\text{m}$. To determine the influence of the obtained surface layer characteristics on wear resistance, subsequent research requires comparative wear-resistance testing.

Keywords: electrospark alloying, metal–polymer materials, cutting tool, wear, microhardness, roughness, environmental safety.