

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИПРАЦЮВАННЯ ПАРИ ТЕРТЯ  
«ВКЛАДИШ ПІДШИПНИКА – ШИЙКА ВАЛУ»****Майфат Микола Миколайович**

PhD студент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0009-0004-0563-929X

mayfat\_snau@ukr.net

**Тарельник В'ячеслав Борисович**

доктор технічних наук, професор

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-2005-5861

viacheclav.tarelnyk@snau.edu.ua

**Гапонова Оксана Петрівна**

доктор технічних наук, професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-4866-0599

gaponova@pmtkm.sumdu.edu.ua

**Радіонов Олександр Володимирович**

доктор технічних наук, професор

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-7282-578X

ferrohydrodynamica@gmail.com

**Тарельник Наталія В'ячеславівна**

кандидат економічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-6304-6925

natasha-tarelnik@ukr.net

В статті проведений аналіз існуючих на теперішній час літературних та патентних джерел, направлених на покращення параметрів якості поверхневих шарів підшипникових шийок валів роторних машин за рахунок формування прироблювальних покриттів. Дослідження проводили на зразках зі сталі 45 і 40Х. Металографічні дослідження шліфів було проведено на оптичному мікроскопі «Неофот-2». Виконувалась оцінка якості нанесеного шару, його суцільності, товщини та будови зон підшару. Вимірювання мікротвердості проводили на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавлюванням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н. Шорсткість вимірювали на приладі профілограф-профілометр мод. 201 заводу «Калібр» шляхом зняття та обробки профілограм. Дослідження залишкових напружень проводили на призматичних зразках із сталі 45 і сталі 40Х розміром 70×5×2 мм за методикою І.А. Біргера шляхом шарового електрополірування напружених шарів на установці типу «Піон». Випробування на втомлювальну міцність проводили на машині УП-50 на базі  $1 \times 10^6$  циклів. Для цього використовувалися натурні зразки.

В результаті цементації методом електроіскрового легування (ЦЕІЛ) сталевих зразків зі збільшенням енергії розряду товщина і суцільність «білого» шару збільшуються. Проведений металографічний аналіз показав, що мікроструктури після ЦЕІЛ складаються з 3-х зон: верхній «білий» шар, дифузійна зона і основний метал. Результати дюрOMETричних досліджень свідчать, що максимальна мікротвердість визначається на зразках після ЦЕІЛ, оброблених при енергії розряду  $W_p = 4,6$  Дж і складає 8492 МПа. При наступному ЕІЛ м'якими антифрикційними металами (мідь, срібло, олово, індій) з збільшенням енергії розряду збільшується шорсткість поверхневого шару і його товщина. Після наступної безабразивної ультразвукової фінішної обробки (БУФО), як шорсткість поверхневого шару, так і його товщина зменшуються.

Залишкові напруги, що виникають у поверхневих шарах деталей після ЕІЛ м'якими антифрикційними металами міддю і сріблом і є негативними розтягуючими, після БУФО стають позитивними стискаючими. Втомна міцність покриттів на сталі 45, сформованих нанесенням методом ЕІЛ міді с послідуною обробкою БУФО, відповідно на 19% і 86% більше чим у зразків без покриття і після ЕІЛ міддю.

**Ключові слова:** електроіскрове легування, шийки валу, твердість, шорсткість, покриття, електрод, матеріал, поверхня.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.9>

**Вступ.** Переважна більшість деталей роторних машин працює в дуже складних умовах. Це високі швидкості, тиски та температури, а також негативні оточуючі середовища, в результаті яких поверхні деталей зношуються. Враховуючи те, що зношування деталей розпочинається з поверхневих шарів деталей, потрібно на всіх етапах їх життєвого циклу приділяти дуже значну увагу його якості. Створення поверхневих шарів з характерними властивостями для вузлів тертя ковзання, в даному випадку підшипників ковзання (ПК) є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** При виготовленні вкладишів підшипників (ВП) та підшипникових шийок (ПШ) роторів завжди є відхилення від їх ідеальної геометричної форми, які називаються похибками. Додаткові неточності додаються при установці ротора.

Приробіток є необхідним і важливим етапом для подальшої роботи ПК, визначаючи одночасно і термін його служби. Вважається (SKF general catalog), що шляхом приробітку готуються поверхні, для того, щоб витримувати великі навантаження більш тривалий час. Цей процес можна охарактеризувати як процес останнього доведення, підгонки, шліфування та виправлення, що відбувається сам по собі в легких експлуатаційних умовах (Bhushan B., 1990).

У (Zaporozhets V.V. et al., 2000) стверджується, що «процес приробітку є прогресивним вирівнюванням поверхонь, що призводить до більшої міцності під навантаженням і до меншого зносу». Ця думка заснована на спостереженні того, що найбільш тонко відшліфовані поверхні мають реальну контактну поверхню тільки в розмірі 1/10000 частки контактної поверхні, в той час як після приробітку це відношення зростає приблизно до 1/200.

Умови оптимального приробітку зводяться до наступних (SKF general catalog): уникати заїдання, не залишати слідів, які б впливали на довговічність чи наступні показання ПК, продовжуватися якнайменше. У разі відсутності поверхневих дефектів, умову правильного складання потрібно обов'язково дотримуватися, тому що якість поверхні ніколи не зможе компенсувати неправильність складання або дефекти геометрії (овальність, конусність тощо).

Для виконання приробітку потрібно також використання якомога більш рідкого мастила, як внаслідок того, що спочатку зазори дуже малі, вимагаючи невеликої в'язкості мастила, так і внаслідок великих можливостей відведення тепла, утвореного тертям, та промивання підшипників (Bhushan B., 1990).

Встановлено (SKF general catalog), що припрацювання шорстких поверхонь проводиться швидше, ніж гладких. Це пояснюється тим, що у западинах мікронерівностей шорстких поверхонь, створюються зони нерухомої рідини (мастила), що сприймають частину навантаження і збільшують при цьому несучу здатність поверхні

Покриття, нанесені на поверхні, що труться, дозволяють значно підвищити надійність машин і приладів (Skuratovskiy A.K., 2019). За допомогою покриттів можна забезпечити: мінімальний знос поверхонь, що труться;

найнижчий коефіцієнт тертя та мінімальна зміна його в процесі роботи; підвищення контактної витривалості матеріалів вузлів тертя; підвищення корозійної стійкості поверхонь тертя в робочому середовищі та ін.

Згідно технологічному процесу виготовлення ПК, спочатку робочі поверхні піддається лудінню, а потім, використовуючи відцентрову заливку наносять на поверхню бабіт. При цьому на майданчиках фактичного контакту поверхонь діють сили молекулярного тяжіння, які проявляються на відстанях у десятки разів, що перевищують міжатомні в кристалічних ґратах, і збільшуються з підвищенням температури. Перехідний шар, що зумовлює міцний металевий зв'язок, при цьому відсутній, що негативно впливає на якість заливки бабіту, теплопровідність та працездатність підшипника загалом (Tarelnyk V.B. et al., 2010).

В (Panevnyk O.V. & Panevnyk D.O., 2018), для створення більш надійного зчеплення металізацією, що наноситься напиленням металу, пропонуються різні способи. Застосовують, наприклад, гальванічне нарощування міддю. Інше напрям підвищення міцності зчеплення – металізація в захисній середовищі.

Нами в попередніх роботах було запропоновано на сталеву підкладку перед лудінням оловом наносити проміжний шар з міді. Застосування перехідних шарів із міді, нанесених методом електроіскрового легування (ЕІЛ) на основу зі сталі 20, на 35 % підвищує міцність її зчеплення з антифрикційним бабітовим шаром (Patent Ukrainy №64663A, 2004).

Наступними дослідженнями нами встановлено, що більш технологічно захистити поверхню ВП від руйнування можна шляхом нанесення приробіткового покриття на цапфу валу. Спосіб включає формування методом ЕІЛ на поверхні шийки валу покриття з м'якого антифрикційного металу, вибраного з групи: індій, олово, мідь, срібло, після її зміцнення цементацією, яка проводиться цим же методом (ЦЕІЛ). Потім, для зниження шорсткості поверхню піддають обробці методом БУФО (безабразивній ультразвуковій фінішній обробці) (Patent Ukrainy №105422 UA., 2014; Tarelnyk V. et al. 2014).

Спосіб ЕІЛ має ряд специфічних особливостей: матеріал анода може утворювати на поверхні катода шар покриття, надзвичайно міцно зчеплений з поверхнею; легування можна здійснювати в строго зазначених місцях, не захищаючи при цьому решту поверхні деталі. До недоліків способу слід віднести збільшення шорсткості поверхневого шару, формування негативних напружень, що розтягують і зниження втомлювальної міцності (Tarelnyk V.B. et al., 2021).

Таким чином, на підставі проведеного аналізу існуючих методів нанесення на поверхневі шари підшипникових шийок валів прироблювальних покриттів, можна відмітити, що їх формують в послідовності (Tarelnyk V. et al. 2014): ЦЕІЛ → ЕІЛ (м'якими антифрикційними металами) → БУФО. В поверхневому шарі після ЦЕІЛ формуються негативні напруження, що розтягують і знижують втомлювальну міцність. Це може привести до передчасного руйнування валу ротора і серйозних аварій (Tarelnyk V. & Martynkovskyy V., 2014).

При проведенні БУФО деформується поверхневий шар з м'якого антифрикційного матеріалу, нанесеного на більш тверду сталю поверхню після ЦЕІЛ. При цьому твердий шар з сталю металу не деформується і як наслідок в ньому залишаються негативні напруження, що розтягують і знижуються втомлювальна міцність. На наш погляд усунути ці негативні наслідки в поверхневому шарі після ЦЕІЛ можливо проведенням наступною БУФО.

Метою роботи є підвищення якості поверхневих шарів підшипникових шийок (цапф) сталю валів, шляхом проведення після ЦЕІЛ і перед нанесенням поверхневого шару з м'якого антифрикційного матеріалу, поверхневого пластичного деформування, яке виконують БУФО.

**Методи дослідження.** Для досліджень використовували круглі зразки з сталю 45 і 40X (рис. 1).

ЦЕІЛ проводили на установці «ЕІЛ-9» графітовим електродом в автоматизованому режимі в діапазоні  $W_p$  від 0,04 до 0,08 Дж. (рис. 2, а) Продуктивність легування складала 1 і 5 хв /  $см^2$ . Після ЦЕІЛ проводили обробку поверхневого шару методом БУФО (рис. 2, б), а потім виконували нанесення шару з м'якого антифрикційного матеріалу на токарно-гвинторізному верстаті мод. 16К20. Вібратор установки «ЕІЛ – 8А» через 2 перехідник 3 кріпився в утримувачі 4 (рис. 2, в). Підведення електрода 5 здійснювалося механізмами верстата. Вибір режимів автоматизованого зміцнення (частота обертання шпинделя, подача) здійснювався, згідно заданої продуктивності процесу ЕІЛ.

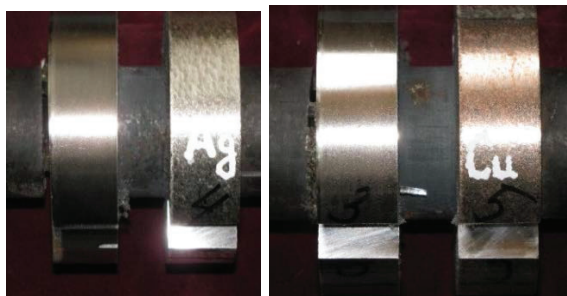


Рисунок 1. Зразки зі сталю 40X після ЕІЛ сріблом і міддю

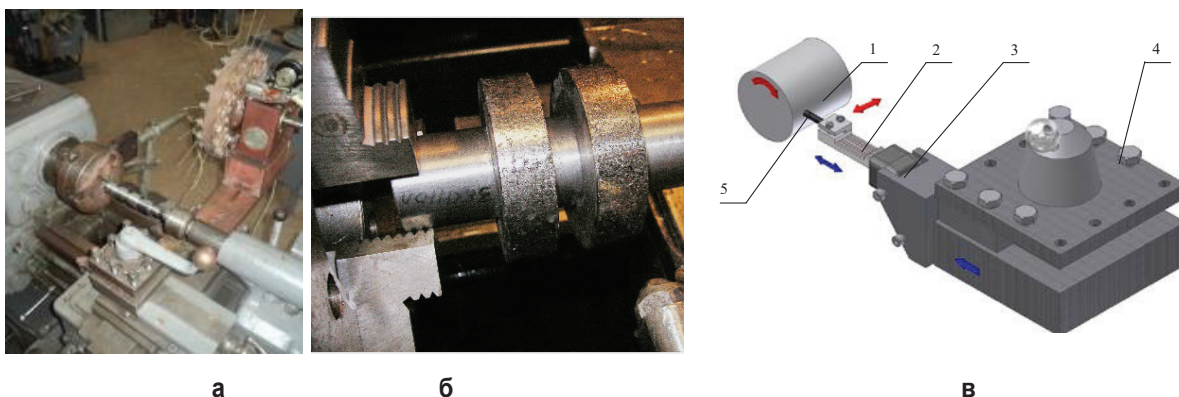


Рисунок 2. ЦЕІЛ зразка сталю 40X на установці «ЕІЛ-9» графітовим електродом (а); проведення БУФО (б) і нанесення поверхневого шару з м'якого антифрикційного матеріалу в автоматизованому режимі (в)

Після нанесення поверхневого шару з м'яких антифрикційних металів з срібла і міді знову проводили БУФО.

При металографічних дослідженнях шліфи з зразками досліджували на оптичному мікроскопі «Неофот-2», де проводилася оцінка якості структури шару. Вимірювання мікротвердості проводили на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавлюванням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н. Шорсткість вимірювали на приладі профілограф-профілометр мод. 201 заводу «Калібр» шляхом зняття та обробки профілограм. Дослідження залишкових напружень проводили на призматичних зразках із сталю 45 і сталю 40X розміром 70×5×2 мм за методикою І.А. Біргера шляхом шаро-

вого електрополірування напружених шарів на установці типу «Піон».

Випробування на втомлювальну міцність проводили на машині УП-50 на базі  $1 \times 10^6$  циклів. Для визначення меж витривалості були виготовлені натурні зразки сталю 45 з робочим діаметром 50 мм.

**Результати досліджень.** На рис. 3 зображені мікроструктури (а-в) і розподіл мікротвердості за товщиною шару (г) зразків сталю 45 після ЦЕІЛ. Результати зведені до табл. 1.

Проведений металографічний аналіз показав, що мікроструктури після ЦЕІЛ складаються з 3-х зон: верхній «білий» шар, дифузійна зона і основа. Необхідно відзначити, що зі збільшенням енергії розряду товщина

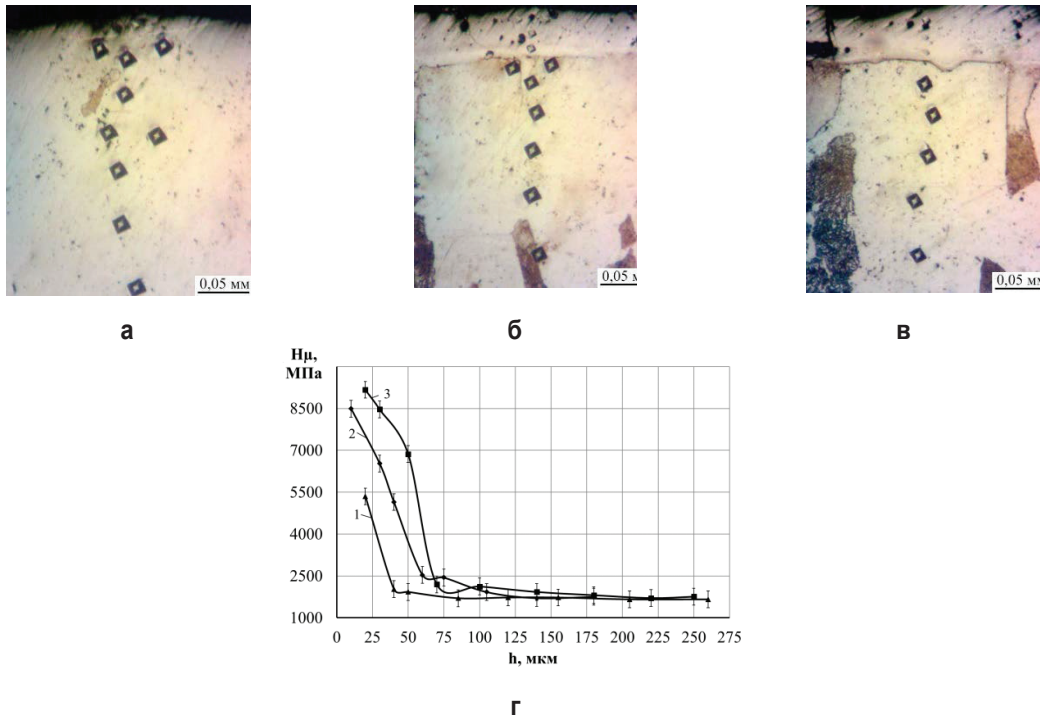


Рисунок 3. Мікроструктури (а-в) та розподіл мікротвердості (г) зразка сталі 20 першої серії після ЦЕІЛ: а –  $W_p = 0,9$  Дж; б –  $W_p = 2,6$  Дж; в –  $W_p = 4,6$  Дж; на графіку (г): 1 –  $W_p = 0,9$  Дж; 2 –  $W_p = 2,6$  Дж; 3 –  $W_p = 4,6$  Дж

Табл. 1

Зведена таблиця параметрів якості поверхні для зразків сталі 45 після ЦЕІЛ

Енергія розряду, $W_p$ , Дж	Товщина «білого» шару, мкм	Мікротвердість «білого» шару, МПа	Суцільність «білого» шару, %	Шорсткість поверхні, $R_a$ , мкм
0,9	15-30	5347	50-60	0,8-0,9
2,6	30-60	7168	70-80	5,1-6,7
4,6	25-60	8492	70-80	8,3-9,0

і суцільність «білого» шару збільшуються (табл. 1). Результати дюрOMETричних досліджень свідчать про те, що максимальна мікротвердість визначається на зразках після ЦЕІЛ, при  $W_p = 4,6$  Дж – 8492 МПа.

В табл. 2 зведені дані параметрів якості поверхневих шарів сталі 45 після ЕІЛ з м'якими антифрикційними металами

Аналіз табл. 2 показує, що з збільшенням енергії розряду збільшується шорсткість поверхневого шару і його товщина. Після наступної БУФО шорсткість поверхневого шару, сформованого з м'яких металів значно зменшується (табл. 3).

Результати вимірювання шорсткості та залишкових напружень поверхневих шарів сталі 45 і сталі 40Х зведені в табл. 4.

Залишкові напруги, що виникають у поверхневих шарах деталей, нерозривно пов'язані з такою експлуатаційною характеристикою, як втомлювальна міцність.

Результати досліджень на втомлювальну міцність зведені в табл. 5.

Аналіз табл. 5 показує, що зразки зі сталі 45 без покриття, з ЕІЛ міддю і з ЕІЛ міддю + БУФО, відповідно витримують навантаження до зламу: 414, 263 і 488 МПа.

#### Висновки:

1. В результаті ЦЕІЛ сталевих зразків зі збільшенням енергії розряду товщина і суцільність «білого» шару збільшуються. Проведений металографічний аналіз показав, що мікроструктури після ЦЕІЛ складаються з 3-х зон: верхній «білий» шар, дифузійна зона і основний метал.

2. Результати дюрOMETричних досліджень свідчать, що максимальна мікротвердість визначається на зразках після ЦЕІЛ, оброблених при енергії розряду  $W_p = 4,6$  Дж і складає 8492 МПа.

3. При ЕІЛ м'якими антифрикційними металами (мідь, срібло, олово, індій) з збільшенням енергії розряду збільшується шорсткість поверхневого шару і його товщина. Після наступної БУФО, як шорсткість поверхневого шару, так і його товщина зменшуються.

4. Залишкові напруги, що виникають у поверхневих шарах деталей після ЕІЛ м'якими антифрикційними металами міддю і сріблом і є негативними, що розтягують, після БУФО стають позитивними що стискають.

5. Втомна міцність покриттів на сталі 45, сформованих нанесенням методом ЕІЛ міді з послідуною обробкою БУФО, відповідно на 19% і 86% більше чим у зразків без покриття і після ЕІЛ міддю.



Табл. 2

**Параметри якості покриття з м'яких металів, нанесених методом ЕЕЛ на сталь 45**

Режим Wp, Дж	Раціональний час ЕІЛ, хв	Шорсткість поверхні, Rz, мкм				Приріст, Δh, мм			
		Cu	In	Sn	Ag	Cu	In	Sn	Ag
0,01	4,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,01	0,01	0,01	0,01
0,02	3,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,01	0,02	0,01	0,01
0,04	3,0	0,1	0,8	1,0	0,7	0,02	0,02	0,03	0,02
0,05	2,7	1,2	-	1,5	0,8	0,03	-	0,05	0,02
0,08	2,0	1,3	-	4,5	1,0	0,03	-	0,10	0,03

Табл. 3

**Параметри якості покриття після БУФО**

Режим Wp, Дж	Раціональний час ЕІЛ, хв	Шорсткість поверхні, Rz, мкм		Приріст, Δh, мкм	
		Cu	Ag	Cu	Ag
0,01	4,0	0,3	0,2	5	5
0,02	3,5	0,3	0,2	5	5
0,04	3,0	0,3	0,3	6	5
0,05	2,7	0,3	0,3	7	5
0,08	2,0	0,3	0,3	8	6

Табл. 4

**Результати вимірювання шорсткості та залишкових напружень на сталених зразках**

Сталь	Від обробки	Шорсткість, Ra, мкм	Залишкові напруження, σ, МПа
45	Без обробки	0,05	-70
	ЕІЛ	0,9	+170
	ЕІЛ + БУФО	0,05	-200
	БУФО	0,05	-540
40X	Без обробки	0,05	-70
	ЕІЛ	0,9	+150
	ЕІЛ + БУФО	0,05	-250
	БУФО	0,05	-640

Табл. 5

**Результати випробувань зразків зі сталі 45 на втомлювальну міцність**

Вид зміцнення	Навантаження P, Н	Кількість циклів, n	Характер руйнування	Напруження, σ, МПа
Без зміцнення	10000	База 1×10 <sup>6</sup>		376
	11000	780000	Руйнування	414
	11000	902000	Теж саме	414
ЕІЛ Cu	4000	База 1×10 <sup>6</sup>		150
	5000			187,5
	6000			225
ЕІЛ Cu +БУФО	7000	630000	Теж саме	263
	10000	База 1×10 <sup>6</sup>		376
	11000	"		414
	12000	"		451
	13000	125000	Теж саме	488

**Бібліографічні посилання:**

1. SKF general catalog. Rolling bearings. PUB BU/P1 17000/1 EN, 2018. 1152 p. <https://www.skf.com/ua/uk/products/index.html>.
2. Bhushan B. (1990). Contact between Solid Surfaces. In: Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Devices. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0335-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0335-0_3)
3. Zaporozhets V. V., Biliakovych O. M., Zakharchenko A. V. (2000) Otsinka mastylnoi dii transmissiinykh olyv v zalezhnosti vid materialu tribopoluchen [Estimation of the lubricating effect of transmission oils depending on the material of tribocompounds]. *Problemy trybolohii (Problems of Tribology)*. – № 4. – S. 90-93 (in Ukrainian).

4. Skuratovskiy A.K. (2019). Pidshypnyky kovzannia. Navchalnyi naochnyi posibnyk [Sliding bearings. Educational visual guide] [Elektronnyi resurs]: dlia zdobuvachiv stupenia bakalavra za spetsialnostiamy 131 «Prykladna mekhanika», 133 «Haluzeve mashynobuduvannia» – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho. – 38 s. (in Ukrainian)
5. Tarelnyk V.B., Konoplianchenko Ye.V., Martsynkovskiy V.S., Antoshevskiy Bohdan (2010). Trybotekhnolohiia detalei mashyn : Navchalnyi posibnyk [Tribotechnology of machine parts: Training manual]. – Sumy: Vydavnytstvo «MakDen». – 260 s. (in Ukrainian).
6. Panevnyk O.V., Panevnyk D.O. (2018). Doslidzhennia vplyvu ekspluatatsiinykh faktoriv na znoshuvannia elementiv sverdlovnyykh strumynnykh nasosiv [Study of the influence of operational factors on the wear of elements of well jet pumps]. *Ivano-Frankivskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet nafty i hazu «Molodyi vchenyi»* – № 11 (63) – lystopad, 2018 r. S.377-381. (in Ukrainian)
7. Patent Ukrainy №64663A (2004) Sposib obrobky vkladyshev pidshypnykiv kovzannia [The method of processing the liners of sliding bearings] / Martsynkovskiy V.S., Tarelnyk V.B. / MKV V23N1/00. Opubl. 16.02.2004, Biul. № 2. (in Ukrainian)
8. Patent Ukrainy №105422 UA. (2014) Sposib polipshennia prypratsovuvanosti pary tertia «vkladyshev pidshypnykashyika vala» [The method of improving the workability of the friction pair «bearing insert-shaft neck»] / Tarelnyk V.B., Martsynkovskiy V.S., Dziuba O.V. / MPK (2014.01), B23H 1/00, B23H 5/00. (in Ukrainian)
9. Tarelnyk V. et al. (2014). New Method of Friction Assemblies Reliability and Endurance Improvement. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 630, pp. 388-396. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.388>
10. Tarelnyk V.B., Gaponova O.P., Loboda V.B., Konoplyanchenko E.V., Martsinkovskii V.S., Semirnenko Y.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(2), pp. 173–184.
11. Tarelnyk V. and Martsynkovskyy V. (2014). Upgrading of Pump and Compressor Rotor Shafts Using Combined Technology of Electroerosive Alloying. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 630, pp. 397-412, 2014 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.397>

**Maifat M. M.**, PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Tarelnyk V. B.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Gaponova O. P.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

**Radionov O. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Tarelnyk N. V.**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Improvement of the technology of processing the friction pair "bearing insert – shaft neck"**

The article analyzes the currently existing literary and patent sources aimed at improving the quality parameters of the surface layers of the bearing necks of the shafts of rotary machines due to the formation of surface coatings. The research was carried out on samples made of steel 45 and 40X. Metallographic studies of the grindings were carried out on the optical microscope "Neofot-2". The quality of the applied layer, its integrity, thickness and structure of the sublayer zones were evaluated. Microhardness was measured on a PMT-3 microhardness tester by indenting a diamond pyramid under a load of 0.05 N. Roughness was measured on a profilograph-profilometer mod. 201 of the "Kalibr" plant by taking and processing profilograms. Research of residual stresses was carried out on prismatic samples made of steel 45 and steel 40X, size 70×5×2 mm according to the method of I.A. Birger by means of layer-by-layer electropolishing of stressed layers on a "Peony" type installation. Fatigue strength tests were performed on a UP-50 machine based on 1×10<sup>6</sup> cycles. For this, natural samples were used.

As a result of cementation by the method of electric spark alloying (CEIL) of steel samples, the thickness and integrity of the "white" layer increases with an increase in the discharge energy. The conducted metallographic analysis showed that the microstructures after CEIL consist of 3 zones: the upper "white" layer, the diffusion zone and the base metal. The results of durometric studies indicate that the maximum microhardness is determined on samples after CEIL, processed at the discharge energy  $W_p = 4.6$  J and is 8492 MPa. With the subsequent EIL with soft antifriction metals (copper, silver, tin, indium), the roughness of the surface layer and its thickness increase with an increase in the discharge energy. After the next non-abrasive ultrasonic finishing treatment (BUFO), both the roughness of the surface layer and its thickness are reduced.

Residual stresses that arise in the surface layers of parts after EIL with soft antifriction metals copper and silver and are negative tensile, become positive compressive after BUFO. The fatigue strength of coatings on steel 45, formed by EIL copper application with subsequent BUFO treatment, is 19% and 86% higher, respectively, than that of samples without coating and after EIL copper.

**Key words:** electrospark alloying, shaft necks, hardness, roughness, coating, electrode, material, surface.