

# Підвищення якості антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування

І.В. Шепеленко<sup>1</sup> • Я.Б. Немировський<sup>1</sup> • Е.К. Посвятенко<sup>2</sup>

Received: 25 April 2022 / Accepted: 30 May 2022

**Анотація.** Одним з напрямків рішення дефіциту антифрикційних матеріалів на основі міді є створення антифрикційних покриттів на поверхні деталей, які виготовлені із сировини вітчизняного виробництва. Розглянуто технологію нанесення антифрикційних покриттів фінішною антифрикційною безабразивною обробкою на робочі поверхні чавунних виробів. Запропоновано використання деформуючого протягування задля підвищення якості антифрикційного покриття. Визначені резерви їх покращення за рахунок створення сприятливих форм і розмірів мікронерівностей на попередніх нанесенню покриттю операціях. Дослідження контактної взаємодії мікронерівностей поверхні, що обробляється, з інструментом виконувалися на модельних зразках. Встановлені основні закономірності формування антифрикційного покриття на чавунній поверхні в залежності від вихідного мікрорельєфу та режимів обробки. Вивчено ефективність використання деформуючого протягування при нанесенні антифрикційного покриття за зміною висотного параметру шорсткості. Виконанні дослідження дозволили запропонувати різні схеми технологічного процесу нанесення антифрикційного покриття фрикційно-механічним методом з використанням деформуючого протягування в залежності від технічних вимог до виробу.

**Ключові слова:** антифрикційне покриття, сірий чавун, фінішна антифрикційна безабразивна обробка, деформуюче протягування, мікрорельєф поверхні.

## Вступ

Відомо, що машинобудівні галузі України відрізняються високою металоємністю та енергоємністю, що потребують великих обсягів споживання металу. Зі своїх сировинних ресурсів наша держава має в достатній кількості заліза, марганця, алюмінію, титану, хрому, цирконію. Особливі труднощі спричинені дефіцитом міді. Це створює в Україні труднощі з використанням антифрикційних матеріалів на основі міді (бронзи та латуні) [1].

Рішенням даної проблеми може бути використання сировини власного виробництва (конструкційна сталь, сірий чавун) з антифрикційними покриттями. Ці

покриття, крім своїх основних функцій щодо підвищення антифрикційних властивостей, можуть використовуватися як відновлювальні, припрацювальні та твердозмашувальні [2].

Важливою вимогою, що пред'являють до антифрикційних покриттів, є мінімальне тертя і висока зносостійкість, що забезпечить стійку роботу контактуючих пар тертя в умовах граничного мастила і без мастила. Такими властивостями володіють антифрикційні покриття, отримані фінішною антифрикційною безабразивною обробкою (ФАБО) шляхом фрикційної взаємодії інструменту, що містить мідь, з поверхнею оброблюваної деталі. Натирання поверхні тертя інструментом із міді та її сплавів у присутності технологічної рідини дозволяє забезпечити перенесення матеріалу та формування антифрикційного покриття товщиною до 5 мкм, а також зміцнити поверхню основного матеріалу на глибину 70–80 мкм [3].

Використання технології ФАБО деталей дозволяє поліпшити характеристики робочої поверхні: зменшити час припрацювання і коефіцієнт тертя, підвищити несучу здатність деталі та з'єднання. Враховуючи технологічні можливості ФАБО дуже важливим,

✉ І.В. Шепеленко  
kntucpfz:k@gmail.com

<sup>1</sup> Центральнотехнічний національний технічний університет, Кропивницький, Україна

<sup>2</sup> Національний транспортний університет, Київ, Україна

на наш погляд, представляються дослідження ефективності нанесення антифрикційних покриттів на робочі поверхні деталей, виготовлених з матеріалів сировиною базою яких є Україна. Це стосується – сірих чавунів, виробництво яких давно налагоджено в нашій країні.

Як конструктивний матеріал сірий чавун широко використовується для різного типу виробів практично у всіх галузях машинобудування. У конструкції автомобілів і тракторів маса литих деталей із сірого чавуну становить 15–25% від загальної маси. Переважне використання сірого чавуну обумовлено тим, що в ньому поєднується висока зносостійкість і протизадірні властивості при терті з обмеженим змащенням, демпфуюча здатність [4]. Застосування ФАБО чавунних виробів дозволить підвищити експлуатаційні властивості їх робочих поверхонь.

Слід відзначити, що головними критеріями якості антифрикційних покриттів, незалежно від способів їх формування є комплекс триботехнічних властивостей, які оцінюють наступними показниками: сплосненість; висока адгезія з поверхнею основи; рівномірність покриття за товщиною та ін. Разом з тим, автори робіт [5, 6] приймають шорсткість поверхні, що отримана ФАБО, за основний критерій оцінки якості покриття.

Аналіз вітчизняних та зарубіжних досліджень [7–9 та ін.] свідчать про те, що існуючі технології нанесення антифрикційних покриттів фрикційно-механічним методом характеризуються низькою продуктивністю, нерівномірністю покриття за товщиною, великими навантаженнями на інструмент, значним виділенням тепла та не забезпечують зміцнення поверхні деталей, а отже – зносостійкості на більш тривалий термін. Для рішення цих проблем необхідно розглянути основні закономірності формування антифрикційного покриття на чавунній поверхні та визначити фактори, що впливають на процес.

Відомо [9], що отримання якісного покриття ФАБО багато в чому залежить від шорсткості початкової поверхні. Отже, нами створено припущення щодо можливості підвищення якості покриття за рахунок отримання сприятливих форм і розмірів мікронерівностей на попередніх ФАБО операціях.

Підвищити якість антифрикційних покриттів на робочих поверхнях чавунних деталей можливо також за рахунок застосування нових схем здійснення ФАБО, а саме – поєднання ФАБО з методами поверхневого пластичного деформування (ППД). З точки зору підвищення міцності зчеплення покриття з основою перспективний слід вважати напрямок дослідження, що дозволяє поєднувати ФАБО з деформуючим протягуванням (ДПР). Слід однак зазначити, що використання ДПР деталей із малопластичних матеріалів, до яких слід віднести сірий чавун, не знайшло широкого розповсюдження. Це перш за все пов'язано з властивостями чавуну, можливістю пластичної формозміни якого обмежені руйнуванням. В роботі [10] авторами

встановлені умови пластичного деформування чавуну СЧ20 та побудована діаграма пластичності для цього матеріалу. На підставі виконаних досліджень автори [10, 11] прийшли до висновку щодо можливості та доцільності використання ДПР при обробці деталей із малопластичних матеріалів.

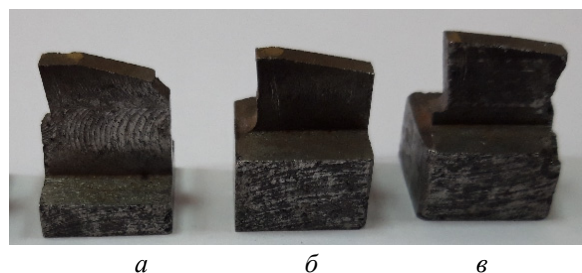
Застосування ДПР після ФАБО до недавнього часу не досліджувалося, тому це питання представляє не тільки технологічний, але і науковий інтерес. Це дозволить визначити вплив ППД на тонкий антифрикційний шар, нанесений на робочу поверхню основного матеріалу.

Метою представленої роботи є підвищення якості антифрикційного покриття на поверхні чавунної деталі використанням ФАБО і ДПР. Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення наступних задач:

- дослідити вплив початкового мікрорельєфу оброблюваної поверхні на формування покриття;
- оцінити ефективність застосування ДПР антифрикційного покриття за зміною висотного параметру шорсткості.
- запропонувати варіанти технологічних процесів нанесення антифрикційних покриттів з використанням ФАБО і ДПР.

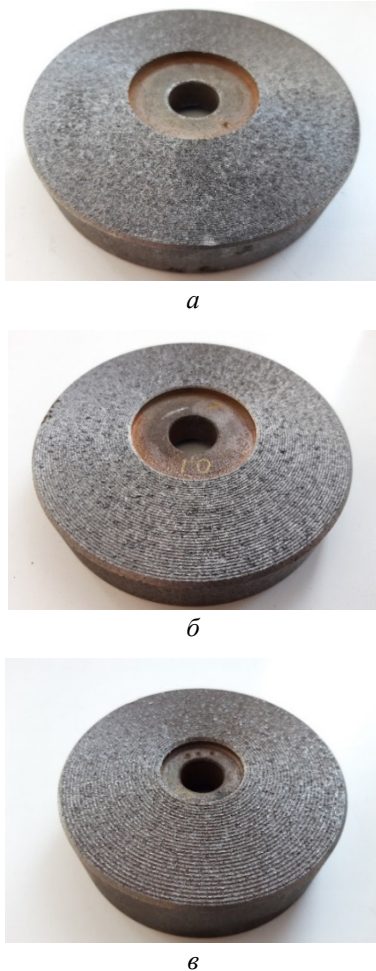
### Методика проведення досліджень

Експериментальні дослідження контактної взаємодії поверхонь проводилися на спеціальних зразках із сірого чавуну СЧ20 і латуні Л63 за розробленою методикою [12]. При цьому застосовувався метод теорії подібності і розмірності [13], відповідно до якого були виготовлені чавунні різці (рис. 1), геометрія ріжучої частини яких моделювала окрему мікронерівність поверхні оброблюваної заготовки. Для змінювання площі контакту різці відрізнялися між собою довжиною  $L$  задньої поверхні. Передній кут  $\gamma$  всіх зразків призначався рівним  $5^\circ$  згідно з розробленими рекомендаціям [14]. Ширина задньої поверхні у всіх різців була рівною 3 мм. Експерименти проводилися при навантаженні  $P = 38$  Н.



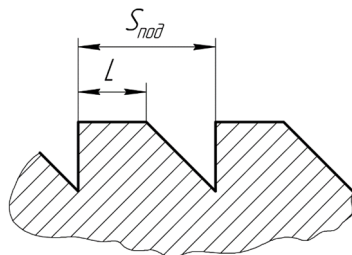
**Рис. 1.** Мікрорізці із чавуну СЧ20 з довжиною  $L$  задньої поверхні: а)  $L_1 = 6$  мм; б)  $L_2 = 4$  мм; в)  $L_3 = 2$  мм. Передній кут  $\gamma = 5^\circ$  та ширина задньої поверхні  $b = 3$  мм для всіх мікрорізців

Особливості утворення антифрикційного покриття досліджували також на плоских дискових зразках (рис. 2), які попередньо обточували з різними подачами  $S_{под}$ .



**Рис. 2.** Дослідні зразки із чавуну СЧ20 з різною довжиною  $L$  задньої поверхні: а)  $L_1 = 0,3$  мм; б)  $L_2 = 0,6$  мм; в)  $L_3 = 0,9$  мм. Передній кут  $\gamma = 5^\circ$  для всіх зразків

Форма сформованого розточуванням мікрорельєфу приведена на рис.3, а значення задньої поверхні  $L$  і подачі  $S_{под}$ , які змінювалися в процесі експерименту, представлені в табл. 1.



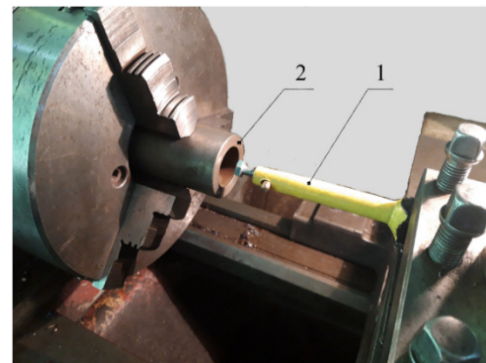
**Рис. 3.** Форма мікрорельєфу вихідної поверхні перед нанесенням покриття

**Таблиця 1.** Значення задньої поверхні  $L$ , подачі  $S_{под}$ , кількості виступів мікрорельєфу  $N$  і площі контакту  $S$  при проведенні експерименту

№ досліджу	$S_{под}$ , мм/об	$L$ , мм	$N$	$S$ , мм <sup>2</sup>
1	0,6	0,3	10	9
2	1,2	0,6	5	9
3	2	0,9	3	9

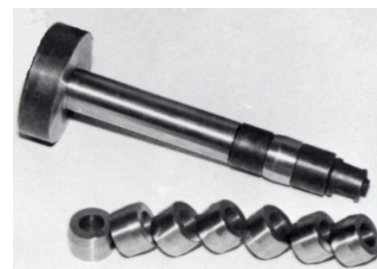
Нанесення антифрикційного покриття фрикційно-механічним методом виконувалося латунним інструментом прямокутної форми розмірами  $l \times b = 6 \times 3$ . Методика і обладнання для проведення експериментів наведена в [15].

Дослідження шорсткості поверхні після ФАБО і ДПР проводилися на втулках, виготовлених із сірого чавуну СЧ20. Внутрішня поверхня кожної із втулок підлягала розточуванню і нанесенню антифрикційного покриття ФАБО згідно з рекомендаціями [14]. Робоча зона установки для ФАБО показана на рис. 4.



**Рис. 4.** Установки для нанесення антифрикційних покриттів: 1 – інструмент для ФАБО; 2 – дослідний зразок

ДПР здійснювалося на вертикально-протяжному верстаті мод. МА7У-750 у виробничих умовах Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України з використанням збірних конструкцій протяжок (рис. 5), які дозволяють виконувати процес протягування як одиничними робочими елементами, так і групами елементів в різні комбінаціях [16]. При цьому використовувалися різні комплекти деформуючих елементів, виготовлених з твердих сплавів ВК15М.



**Рис. 5.** Загальний вигляд деформуючої протяжки



Зазначимо, що втулки оброблялися ДПР за такими схемами:

– одним деформуючим елементом з кутом робочого конуса  $\alpha = 2^\circ$  і натягом  $a = 0,1$ ;

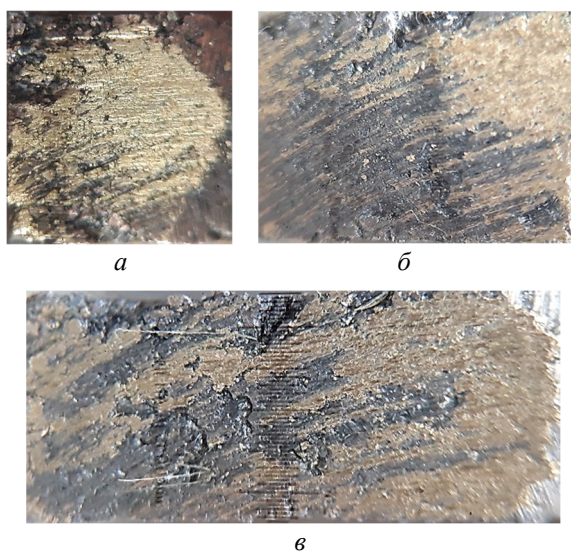
– двома деформуючими елементами з кутом робочого конуса  $\alpha = 4^\circ$  і натягом  $a = 0,1$  на кожний елемент.

Шорсткість поверхні після розточування, ФАБО та ДПР вимірювали за допомогою профілографа Mahr XR20 – приладу на базі ПК.

Величину площі покриття, а також його схильність до налипання на задній поверхні мікрорізьця визначали виходячи з результатів металографічного аналізу поверхні, використовуючи методи цифрової обробки зображень на ПК.

### Результати досліджень

Враховуючи висунуті припущення щодо впливу форми і розмірів мікронерівностей на формування антифрикційного покриття в роботі проводилися спеціальні дослідження ФАБО модельних зразків із чавуну СЧ20 (рис. 1). На рис. 6 показана задня поверхня мікрорізьців після обробки, на якій можна побачити ділянки адгезійного схоплювання, причому, чим менша довжина задньої поверхні, тим інтенсивніше мають місце адгезійні процеси.

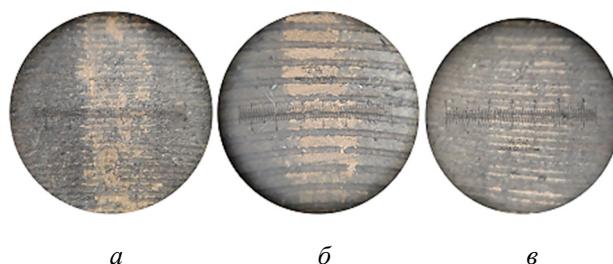


**Рис. 6.** Задня поверхня мікрорізьців після ФАБО при довжині  $L$  задньої поверхні: а)  $L_1 = 2$  мм; б)  $L_2 = 4$  мм; в)  $L_3 = 6$  мм

Можна побачити, що поблизу початку задньої поверхні інтенсивність покриття нижча, що, на наш погляд, пояснюється значним округленням ріжучої кромки в результаті її інтенсивного зношення. Більш того, адгезійні ділянки стабільно з'являються на деяких відстанях від ріжучої кромки. Особливо це помітно при великих довжинах  $L$  задньої поверхні (рис. 6, б, в). Наведені дані дозволяють стверджувати, що ділянка з

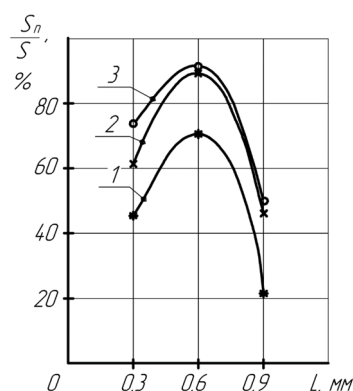
найменшою площею контакту має найвищий відсоток заповнення площі контакту адгезійним схоплюванням, який приблизно дорівнює 85%. Встановлено, що заповненість задньої поверхні мікрорізьця покриттям (сплошність покриття) обернено пропорційна площі задньої поверхні. Отже, зі збільшенням площі задньої поверхні мікрорізьця зменшується сплошність покриття.

Дослідження впливу технологічних факторів на якість утворення антифрикційного покриття виконувалося також на модельних зразках (рис. 2) за розробленою методикою [14]. На рис. 7 наведено мікрорельєфи поверхні після ФАБО, що відповідають певним подачам (табл. 1).



**Рис. 7.** Мікрорельєф поверхні зразків, отриманий після ФАБО при різних вихідних мікрорельєфах за рахунок зміни подач  $S_{nod}$ : а) 0,6 мм/об; б) 1,2 мм/об; в) 2 мм/об

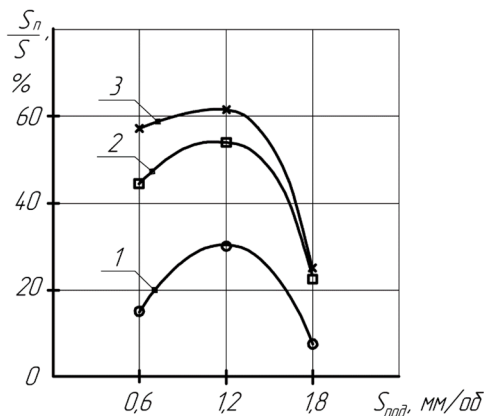
Згідно рис. 7 слідує, що найбільш сприятливі умови для нанесення покриття мають місце на площадках контакту при подачі  $S_{nod} = 1,2$  мм/об. В цьому випадку всі поверхні контакту, тобто поверхні виступів, заповненні адгезійно-налиполю латунню (площа покриття досягає приблизно 90%). При подачі  $S_{nod} = 0,6$  мм/об площа виступів з антифрикційним покриттям значно менша і досягає до 75%. При подачі  $S_{nod} = 2$  мм/об і довжині ділянки 0,9 мм тільки частина задньої поверхні покрита латунню, тобто застосування таких і більше подач недоцільне. Кількісне значення площі покриття, яка віднесена до загальної площі виступів, показано на рис. 8.



**Рис. 8.** Залежність відносної площі покриття виступів  $S_n/S$  від довжини вихідних виступів  $L$  при кількості проходів  $N$ : 1 – 2; 2 – 4; 3 – 6

Очевидно, що на перших проходах спостерігається мікрорізання вершинами виступів з подальшим їх інтенсивним зносом, а потім – на наступних циклах відбувається інтенсивне адгезійне нанесення антифрикційного матеріалу. Слід зазначити, що основна частина закріплення латуні відбувається протягом 4–6 циклів (кількостей проходів інструменту). Надалі вона мало змінюється.

На рис. 9 показана залежність відносної площі покриття до загальної площі всієї поверхні з урахуванням площі канавок від подачі. Її визначали виходячи з результатів металографічного аналізу поверхні, використовуючи методи цифрової обробки зображень на ПК. Можна побачити, що площа покриття при використанні оптимальної подачі перевищує 50%, тобто частина поверхні канавок також покрита латунню. На інших зразках цього не спостерігається. Наведені дані свідчать, що при нанесенні латуні на оброблену поверхню необхідно враховувати вплив вихідного мікрорельєфу.



**Рис. 9.** Залежність відносної площі ділянок налипання покриття до загальної площі мікрорельєфу  $S_n/S$  від подачі  $S_{под}$  при кількості проходів: 1 – 2; 2 – 4; 3 – 6

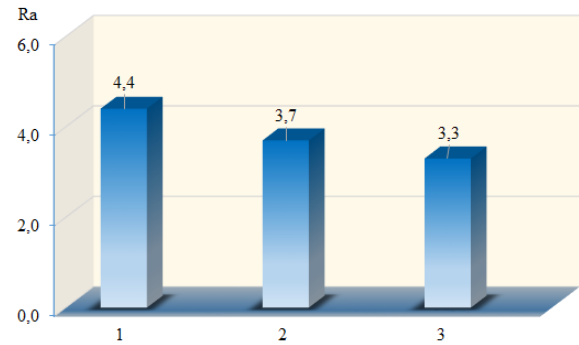
Таким чином, встановлено, що на формування якісного покриття фрикційно-механічним методом ФАБО значний вплив мають режими обробки (контактні навантаження  $P$ , число проходів  $N$ ), а також вихідний мікрорельєф обробленої поверхні (кут різання  $\gamma$ , довжина задньої поверхні  $L$  і подача  $S_{под}$ ).

Отримані результати експериментів дозволили встановити фактори, що впливають на утворення адгезійних ділянок покриття, інтервали їх варіювання, а також побудувати аналітичну модель впливу технологічних факторів на якість антифрикційного покриття [17].

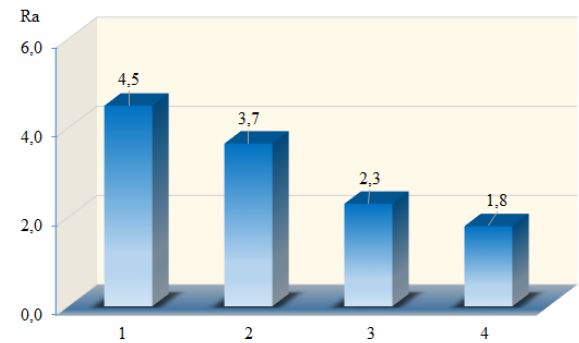
Виконаємо дослідження зміни висотного параметру шорсткості  $R_a$  і мікрорельєфу робочої поверхні при обробці втулок ФАБО (рис. 4) та ДПР.

Після розточування мікрорельєф обробленої поверхні представляє собою типовий мікрорельєф, який характерний для операції розточування, з виступами і

впадинами, які чергуються між собою. Середнє значення висотного параметру шорсткості  $R_a \approx 4,4$  мкм (рис. 10). ФАБО втулок (рис. 10, 11) несуттєво змінює шорсткість оброблюваної поверхні. Висотний параметр шорсткості знизився до значення  $R_a \approx 3,7$  мкм. Вершини мікронерівностей дещо згладилися, величина опорної поверхні  $t_p$  збільшилася приблизно на 12%.



**Рис. 10.** Зміна параметру  $R_a$  при обробці втулки: 1 – розточуванням; 2 – ФАБО; 3 – ДПР ( $\alpha = 2^\circ$ )



**Рис. 11.** Зміна параметру  $R_a$  при обробці втулки: 1 – розточуванням; 2 – ФАБО; 3 – ДПР з одним деформуючим елементом ( $\alpha = 4^\circ$ ); 4 – ДПР двома деформуючими елементами ( $\alpha = 4^\circ$ )

Після операції ДПР відбулися зміни з мікро рельєфом. Причому для втулки, яка оброблена одним деформуючим елементом з кутом  $\alpha = 2^\circ$ , вони незначні (рис. 10). Це слід пояснювати тим, що контактні тиски, розраховані за методикою [18], досягають значення  $q = 0,3$  ГПа. Тому в цьому випадку, згідно з рекомендаціями [19], антифрикційний шар грає роль твердого змащення, локалізуючи зсувні деформації в шарі змащення і змінюючи шорсткість незначно –  $R_a \approx 3,7$  мкм. Мікрорельєф обробленої ДПР поверхні несуттєво відрізняється від мікрорельєфу, отриманого ФАБО.

Дещо інша картина має місце при деформуванні втулки двома деформуючими елементами з кутом  $\alpha = 4^\circ$  (рис. 11). Вже після проходження першого елемента контактний тиск досягає значення  $q = 0,85$  ГПа, що перевищує значення критичного контактного тиску для даного матеріалу [19]. Мікрорельєф при цьому

відповідає мікрорельєфу, властивому операції ДПР. Він представляє собою плоскі ділянки із впадинами, що служать резервуарами для змащення. Значення крокового параметру  $S_m$  зменшується, що сприятливо впливає на зносостійкість. Значення опорної поверхні збільшується до  $t_p \approx 60\%$ , що також має позитивний вплив на зносостійкість. Висотний параметр шорсткості знижується і становить  $R_a = 2,3$  мкм. Після протягування другого деформуючого елемента характер мікрорельєфу не змінюється, а висотний параметр шорсткості зменшується і далі, досягаючи значення  $R_a = 1,8$  мкм (рис. 11). Параметри  $S_m$  і  $t_p$  також збільшуються. Слід зазначити, що отримане антифрикційне покриття характеризується високою суцільністю, що свідчить про його якість.

Таким чином, представлені дослідження свідчать, що з позицій оптимізації шорсткого шару в залежності від експлуатаційних вимог до нього можливий варіант побудови технологічного процесу з використанням операції ДПР після ФАБО. В цьому випадку слід враховувати можливість застосування антифрикційного покриття у вигляді твердого змащення, що відбувається при низьких контактних тисках, характерних для тонкостінних втулок, оброблюваних деформуючими елементами з кутами нахилу твірної робочого конуса  $\alpha \leq 2^\circ$ . Другий варіант обробки – з високими контактними тисками, коли екрануючі властивості антифрикційного покриття на робочій поверхні не працюють. В цьому випадку відбувається перебудова вихідного мікрорельєфу на мікрорельєф, що відповідає ДПР з використанням рідинних змащень.

Проведені дослідження дозволили запропонувати такі схеми технологічного процесу нанесення антифрикційного покриття на робочі поверхні чавунних виробів з використанням пластичного деформування:

– ФАБО + ДПР. В цьому випадку виконується попередня обробка на робочій поверхні задля утворення сітки з адгезійно закріплених часток латуні. Далі – наноситься основна частина латунного покриття, яка взаємодіючи з адгезійно закріпленими ділянками латуні, забезпечує підвищення якості нанесення покриття ФАБО. Наступна операція ДПР збільшує адгезію між покриттям і основним матеріалом, а також зміцнює основу.

– ДПР + ФАБО. Заздалегідь розточену поверхню деформують робочим елементом з кутом  $\alpha \leq 2^\circ$  для створення площадок, що служать місцем для адгезії налиплої латуні та в цілому для інтенсифікації процесу нанесення адгезійної сітки. Наступна операція ФАБО виконується за традиційною технологією.

Слід зазначити, що вибір схеми нанесення антифрикційного покриття залежить головним чином від технічних вимог, що пред'являють до виробу.

## Висновки

1. Визначені основні технологічні фактори, що впливають на якість антифрикційного покриття, отриманого фрикційно-механічним методом обробки чавунних виробів. Доведено залежність якості антифрикційного покриття від режимів обробки та вихідного мікрорельєфу робочої поверхні.

2. Встановлено, що шорсткість поверхні після ФАБО змінюється несуттєво, що необхідно враховувати при виборі технологічних операцій, що передують нанесенню антифрикційного покриття.

3. Доведено ефективність поєднання фрикційно-механічного методу нанесення антифрикційних покриттів та ДПР при обробці чавунних виробів. ДПР забезпечує збільшення адгезії між покриттям і основним матеріалом, а також зміцнення покриття та основи.

4. З'ясовано, що при ФАБО та ДПР в залежності від ділянок контактних навантажень шорсткість поверхні змінюється по різному:

– при деформуванні поверхні з контактним тиском меншим за критичний, мікрорельєф обробленої поверхні змінюється несуттєво, так як в цьому випадку антифрикційне покриття відіграє роль твердого змащення;

– при деформуванні поверхні з контактним тиском вищим за критичний, утворюється мікрорельєф подібний до мікрорельєфу, що отримується при деформуючому протягуванні з використанням рідинних змащень. Це дозволило зменшити значення висотного параметра з  $R_a = 3,7$  мкм до  $R_a = 1,8$  мкм.

5. Запропоновано схеми технологічного процесу нанесення антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування в залежності від технічних вимог до виробу.

## References

- [1] B.A. Ljashenko *et al.*, “Optymyzacyja tehnologyy nanesenija pokrytyj po kryterijam prochnosty u yznosostojkosti”, *Mono-grafija*, Kyev, NAN Ukrainy, YPP ym. G.S. Pysarenko, 2010.
- [2] M.Y. Chernovol and I.V. Shepelenko, “Sposobyu formyrovannya antyfrukcyonnyh pokrytyj na metallicheskye poverhnosty trenya”, *Zbirnyk naukovyh prac' Kirovograds'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu*, No. 25 (1), pp. 3–8, 2012.
- [3] D.N. Garkunov, “Fynyshnaja antyfrukcyonnaja bezabrazynnaja obrabotka (FABO) poverhnostej trenya detalej”, *RVM (Remont. Vosstanovlenye. Modernyzacyja)*, No. 5, pp. 24–29, 2009.
- [4] V.M. Kropivnyj *et al.*, “Chavun z vermykujalnym ghrafitom”, *Navchalnyj posibnyk*, Kropyvnyckyj, Vydavec Lysenko V.F., 2019.

- [5] .Kh. Chepovetskyi *et al.*, “Trybotekhnolohiya formyrovanyia pover”, *Monografyja*, Kyev, NAN Ukrainyy, Ynstytut sverkh-  
verdukh materyalov, 1989.
- [6] Hottlyb Poltser, “Osnovu fryktsyonnoho nanesenya pokrystya v uslovyakh selektyvnoi peredachy”, *RVM (Remont. Voss-  
tanovlenye. Modernyzatsyia)*, No. 10, pp. 23–28, 2010. <https://doi.org/10.1088/2058-7058/23/10/31>
- [7] A.M. Buhaev *et al.*, “FABO kak tekhnolohycheskyi metod povushenya resursa DVS”, *Mezhdunarodnui nauchno-ysle-  
dovatel'skyi zhurnal*, No. 1–4(55), pp. 36–38, 2017.
- [8] A.N. Lukashok, “Povushenye yznosostoikosty pretsyzyonnukh par trenya skolzheniya fryktsyonno-  
mekhanycheskym nanesenyem pokruty na osnove medno-tsynkovukh splavov”, *Monografyja*, Novopolotsk, PHU, 2005.
- [9] Rasheed A Abdullah, I. Shepelenko and E. Posviatnyenko, “Experimental quality improvement of the application of antifriction  
coating”, *Journal of Physics: Conference Series*, No. 1706, pp. 1–11, 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1706/1/012187
- [10] I. Shepelenko *et al.*, “Features of Plasticity Diagram Construction for Low-Plastic Materials”, *Advanced Manufacturing Pro-  
cesses III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, pp.353–362, 2022. doi: 10.1007/978-  
3-030-91327-4\_35
- [11] I. Shepelenko *et al.*, “Compression Mechanics of Cylindrical Samples with Radial Deformation Limitation”, *Advances in De-  
sign, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, pp. 53–62,  
2021. doi: 10.1007/978-3-030-77823-1\_6.
- [12] I. Shepelenko *et al.*, “Peculiarities of Interaction of Micro-roughnesses of Contacting Surfaces at FANT”, *Advances in Design,  
Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, pp. 452–461,  
2020. doi: 10.1007/978-3-030-50794-7\_44.
- [13] V.N. Starov, Ju.A. Cehanov, and M.Ju. Eremyn, *Osnovy mekhaniky mykrorezanyja*, *Monografyja*, Voronezh, 2006.
- [14] I. Shepelenko *et al.*, “Improving the Efficiency of Antifriction Coatings by Means of Finishing the Antifriction Non-abrasive  
Treatment”, *Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer,  
Cham, pp. 289–298, 2020. doi: org/10.1007/978-3-030-40724-7\_30
- [15] I. Shepelenko *et al.*, “Power Parameters of Micro-cutting During Finishing Anti-friction Non-abrasive Treatment”, *New Tech-  
nologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, pp 194–201,  
2020. doi: 10.1007/978-3-030-46817-0\_22
- [16] E.K. Posvjatenko, Ja.B. Nemyrovskij, and I.V. Shepelenko, “Protjaghuvannja ta protjazhnyj instrument”, *Monografyja*, Kro-  
pyvnyckyj, Vydavecj Lysenko V.F., 2020
- [17] I.V. Shepelenko, “Technological factors influence on the antifriction coatings quality”, *Problems of Tribology*, Khmeljnyckyj,  
No. 26 (2/100), pp. 50–57, 2021. doi: 10.31891/2079-1372-2021-100-2-50-57
- [18] E.K. Posvjatenko *et al.*, “Inzhenerija detalej, obroblenykh protjaghuvannjam”, *Monografyja*, Kropyvnyckyj, Vydavecj Ly-  
senko V.F., 2021.
- [19] Ja. Nemyrovskij *et al.*, “Creation of progressive hole processing processes based on the study of contact phenomena during  
deforming broaching and finishing antifriction non-abrasive treatment in various technological environments”, *Problems of  
Tribology*, No. 27(1/103), pp. 14–25, 2022. doi: 10.31891/2079-1372-2022-103-1-14-25

## Improving the quality of antifriction coatings using plastic deformation

I.V. Stepelenko, Ya.B. Nemyrovskij, E.K. Posviatenko

**Abstract.** One of the ways to solve the shortage of anti-friction materials based on copper is the creation of anti-friction coatings on the surface of parts made from domestic raw materials. The technology of applying anti-friction coatings by finishing anti-friction non-abrasive treatment on the working surfaces of cast-iron products is considered. The use of deforming broaching to improve the quality of the antifriction coating is proposed. The reserves for their improvement due to the creation of favorable shapes and sizes of micro-roughnesses in the operations preceding the coating are determined. The study of the contact interaction of the microroughness of the machined surface with the tool was carried out on model samples. The main regularities of the formation of an antifriction coating on a cast-iron surface are established depending on the initial microrelief and processing modes. The effectiveness of the use of deforming broaching when applying an antifriction coating is studied by changing the height parameter of roughness. The performed studies allowed us to propose various schemes of the technological process of applying anti-friction coatings by the friction-mechanical method using deforming broaching, depending on the technical requirements for the product.

**Keywords:** anti-friction coating, gray cast iron, finishing anti-friction non-abrasive treatment, deforming broaching, surface microrelief.