

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.787.4

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.156-165>

І.В. Шепеленко, доц., д-р техн. наук, **А.М. Кириченко**, проф., д-р техн. наук, **С.О. Магопєць**, доц., канд. техн. наук, **М.В. Красота**, доц., канд. техн. наук, **І.Ф. Василенко**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: kntucpfzk@gmail.com

Зміна шорсткості поверхні при нанесенні антифрикційних покриттів

В роботі розглянуто шорсткість поверхні антифрикційного покриття як основний критерій оцінки якості отриманого покриття. Експериментальні дослідження нанесення антифрикційного покриття фрикційно-механічним методом виконувалися за розробленою методикою на зразках із сірого чавуну СЧ20. В якості матеріалу антифрикційного покриття використано латунь Л63. Встановлені основні закономірності зміни шорсткості поверхневого шару в залежності від параметрів процесу фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО). Отримані дані дозволяють прогнозувати та керувати в процесі ФАБО таким важливим геометричним параметром поверхневого шару, як шорсткість, а отже, підвищити якість отриманого покриття.

шорсткість, антифрикційні покриття, фінішна антифрикційна безабразивна обробка, параметри процесу

Постановка проблеми. Підвищення зносостійкості, контактної міцності, корозійній стійкості та ін. експлуатаційних властивостей деталей пов'язано з управлінням параметрами стану поверхневого шару і передусім – з шорсткістю поверхні. Вплив початкової шорсткості на зношування проявляється вже в період припрацювання, а форма і висота мікронерівностей впливають на знос спряжених поверхонь. Їх інтенсивність зношування багато в чому залежить від величини контакту і напруженого стану поверхневого шару, які також пов'язані з розмірами і формою мікронерівностей [1].

Параметри шорсткості поверхні певним чином впливають на показники її фізичного стану (наклепування, внутрішні напруження, мікротріщини, структура) [2]. Елементи шорсткості є концентраторами напружень, які знижують характеристики міцності матеріалу. Величина концентрації напружень залежить у свою чергу від глибини западин мікронерівностей та радіусу їх закруглень [3].

Вибір параметрів шорсткості здійснюється з урахуванням умов експлуатації деталей. Початкова шорсткість, що близька до експлуатаційній, зменшує знос, температуру та коефіцієнт тертя. Отримана рівноважна шорсткість дозволяє звести до мінімуму величину зносу та тривалість припрацювання поверхонь тертя.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дані робіт [4, 5 та ін.] свідчать про значний вплив різних параметрів мікро і макрогеометрії на експлуатаційні характеристики робочих поверхонь.

В роботі [6] вказано, що шорсткість поверхні є одним з основних чинників, що визначають інтенсивність зношування пар тертя. Доведено істотний вплив шорсткості поверхневого шару на корозійну стійкість [7]. Остання підвищується при зниженні висотних параметрів, оскільки у западинах збираються речовини, що утворюють вогнища корозії та інтенсифікують процес руйнування металу. Низька шорсткість дозволяє також краще утримуватися пасивуючій плівці, що захищає поверхню від зовнішньої дії. Проте, шорсткість поверхні доцільно знижувати до певного значення, оскільки низька шорсткість призводить до збільшення зносу із-за схоплювання спряжених поверхонь.

Надійність нерухомих з'єднань деталей також значною мірою залежить від шорсткості поверхні [2]. При великих значеннях R_a внаслідок того, що змінання мікроступів порушує вид посадки, скорочується термін служби сполучення. При малих значеннях R_a не забезпечується необхідне зчеплення спряжених поверхонь. Для кожної деталі та властивій їй умов тертя існує певна оптимальна контурна площа контактування, сукупність плям контакту, оптимально розташованих на номінальній площі. Причому, шорсткість поверхонь тертя також мають оптимальні значення, які для конкретних пар тертя знаходять експериментально.

Параметри якості поверхні, що визначають її експлуатаційні властивості, формуються протягом усього технологічного процесу, проте найбільший вплив мають фінішні операції, дослідженню яких завжди приділялася велика увага [8]. Отже, саме на фінішну обробку покладаються завдання щодо забезпечення необхідної якості поверхневого шару. На наш погляд, нанесення антифрикційних покриттів на заключних етапах технологічного процесу виготовлення та відновлення деталей фінішною антифрикційною безабразивною обробкою (ФАБО), окрім отримання антифрикційного покриття, забезпечить досягнення оптимальної шорсткості в зоні контактування та необхідних фізико-механічних властивостей робочих поверхонь деталі.

В дослідженнях [9, 10], присвячених утворенню антифрикційного покриття ФАБО, встановлено, що шорсткість поверхні є основним критерієм оцінки якості плівки, що наноситься. В роботах [11, 12] доведена необхідність забезпечення початкового мікрорельєфу для створення сприятливих умов для мікрорізання антифрикційного матеріалу мікроступами поверхні та підвищення якості утворення покриття фрикційно-механічним методом. В зв'язку з цим виникає необхідність проведення спеціальних досліджень впливу параметрів процесу ФАБО на шорсткість поверхневого шару.

Постановка завдання. Метою представлених досліджень є встановлення основних закономірностей зміни шорсткості поверхневого шару, обробленого ФАБО.

Методика проведених досліджень. Параметри і характеристики шорсткості поверхні регламентовані ГОСТ 2789-73*[13]. Дослідження поверхні, обробленої фрикційно-механічним методом ФАБО, здійснювалися на спеціальних зразках із сірого чавуну СЧ 20, виготовлених у вигляді дисків (рис.1). Причому, для інтенсифікації мікрорізання антифрикційного матеріалу при нанесенні покриттів на поверхні диска заздалегідь створювався певний мікрорельєф відповідно до рекомендацій [14, 15] з використанням токарних різців із твердого сплаву ВК4.

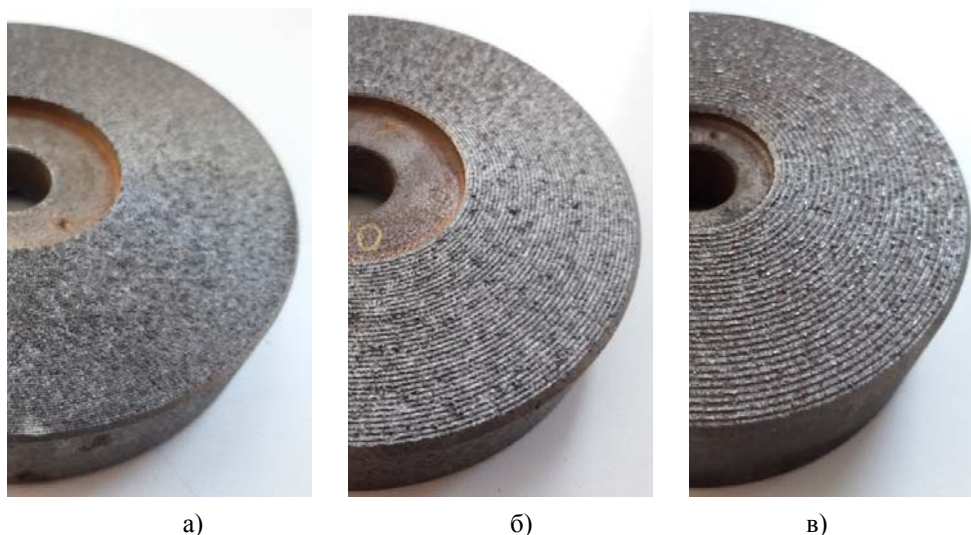


Рисунок 1 – Зразки із чавуну СЧ20 з різними кроками t виступів мікрорельєфу при дослідженні процесу ФАБО: а) $t = 0,05$ мм; б) $t = 0,10$ мм; в) $t = 0,15$ мм

Джерело: розроблено авторами

Оскільки форма і розміри мікронерівностей обробленої поверхні визначаються, передусім, геометрією різця в плані та величиною його подачі, тому для отримання різних за розмірами та формою виступів і западин мікронерівностей поверхні на дослідницьких зразках нами вибрані певні значення головного φ і допоміжного φ_1 кутів в плані [16] та величини поперечної подачі S різця, які забезпечили крок виступів мікрорельєфу 0,05; 0,10; 0,15; 0,175 мм.

Нанесення покриттів фрикційно-механічним методом ФАБО здійснювалося за розробленою авторами методикою [17] з використанням оригінального пристрою на вертикально-фрезерному верстаті мод. 676П.



Рисунок 2 – Робоча зона пристрою для нанесення антифрикційного покриття

Джерело: розроблено авторами

В якості матеріалу антифрикційного покриття використана латунь Л63. Зусилля притискання антифрикційного бруска до оброблюваної поверхні P склали 82,4 Н; 164,6 Н. Оцінка якості покриття виконувалася після двох, шести та дванадцяти проходів антифрикційного бруска по обробленій поверхні. Таким чином, на дослідницьких зразках із чавуну СЧ20 наносилися антифрикційні покриття у вигляді доріжки упоперек мікровиступів основи (рис.3). При цьому ширина нанесеного покриття відповідала ширині антифрикційного інструменту – 6 мм.



Рисунок 3 – Досліджувані зразки з антифрикційним покриттям

Джерело: розроблено авторами

При проведенні експериментів шорсткість поверхні до і після ФАБО вимірювали за допомогою профілографа Mahr XR20 – приладу на базі ПК (рис.4). Шорсткість поверхні оцінювалася середнім арифметичним відхиленням профілю R_a . В якості величини параметра шорсткості R_a застосовували її середнє значення, що було отримано в результаті трьох вимірів.



Рисунок 4 – Вимірювання шорсткості поверхні дослідних зразків з використанням профілографа Mahr XR20

Джерело: розроблено авторами

Виклад основного матеріалу. Враховуючи те, що шорсткість поверхні, яка досягається ФАБО, разом із сплосністю, може бути основним критерієм якості покриття, та багато в чому визначати процес припрацювання в початковій період експлуатації, в роботі головну увагу приділено вивченню саме цього геометричного параметра мікрорельєфу.

До технологічних факторів ФАБО при вибраній схемі обробки слід віднести: зусилля притискання антифрикційного бруска P , число циклів (проходів) натирання N і

швидкість переміщення інструменту V . Зважаючи на низькі значення V , вплив цього чинника в дослідженнях не враховувався.

Оскільки на сплошність антифрикційного покриття істотно впливає мікрорельєф початкової поверхні, шорсткість поверхні визначалася до і після нанесення покриттів фрикційно-механічним методом ФАБО. Зміна величин значення середньоарифметичного відхилення профілю зразків визначалася як:

$$\Delta R_a = R_{a \text{ ФАБО}} - R_a, \quad (1)$$

де $R_{a \text{ ФАБО}}$ – шорсткість поверхні після ФАБО, мкм;

R_a – вихідна шорсткість поверхні, мкм.

Отримані значення дозволили встановити основні закономірності зміни параметра шорсткості ΔR_a залежно від технологічних параметрів ФАБО (рис.5-7). Профілограми поверхні досліджуваних зразків після точіння і подальшого ФАБО представлені на рис.8.

Аналіз експериментальних даних (рис.5-7) переконливо свідчить про значну зміну середньоарифметичного відхилення профілю ΔR_a поверхні після ФАБО. Разом з тим механізм цих змін для різних значень шорсткості початкової поверхні та режимів обробки при вибраній схемі різних.

Встановлено, що величина ΔR_a тим значніше, чим вище значення R_a початкової поверхні. У цьому сенсі найбільші значення ΔR_a спостерігається при нанесенні покриттів на заздалегідь підготовлену поверхню під покриття з кроком 0,175 мм (рис.5). Цей факт підтверджує особливо важливу роль мікрорізання в процесі формування антифрикційного покриття, який переконливо доведено в роботах [11, 12].

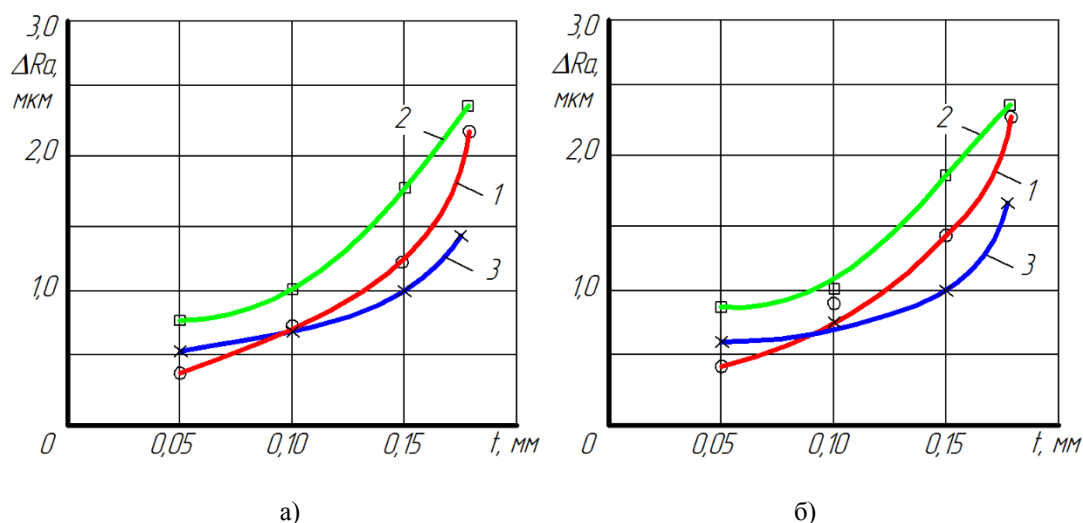


Рисунок 5 – Залежність зміни шорсткості ΔR_a в процесі ФАБО від кроку виступів мікрорельєфу початкової поверхні t при зусиллі $P=82,4$ Н (а), $P=164,6$ Н (б) і кількості циклів натирання N : 1 – 2; 2 – 6; 3 – 12
Джерело: розроблено авторами

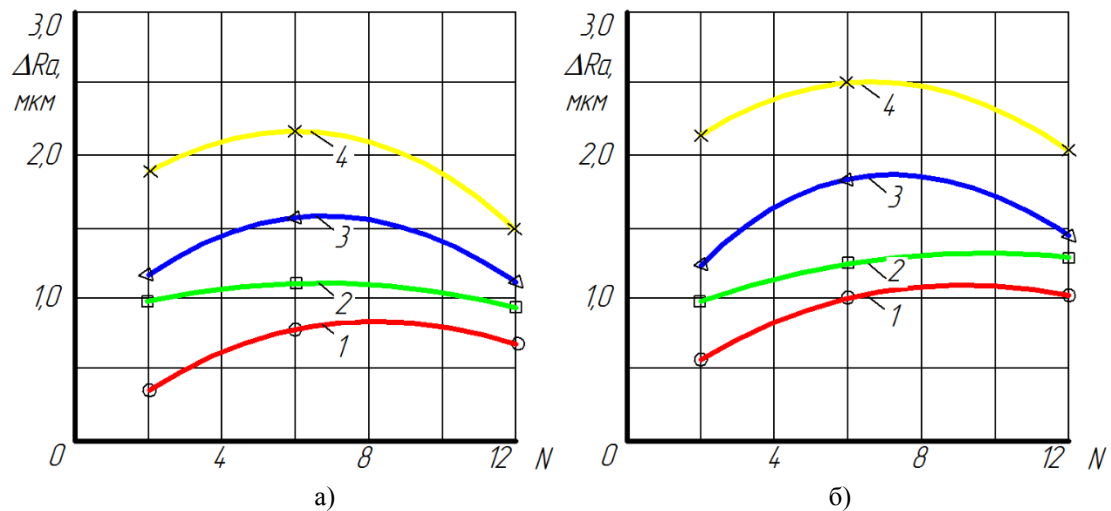


Рисунок 6 – Залежність зміни шорсткості ΔR_a в процесі ФАБО від кількості циклів натирання N при зусиллі $P = 82,4$ Н (а), $P = 164,6$ Н (б) і кроці виступів мікрорельєфу початкової поверхні t : 1 – 0,05 мм; 2 – 0,1 мм; 3 – 0,15 мм; 4 – 0,175 мм

Джерело: розроблено авторами

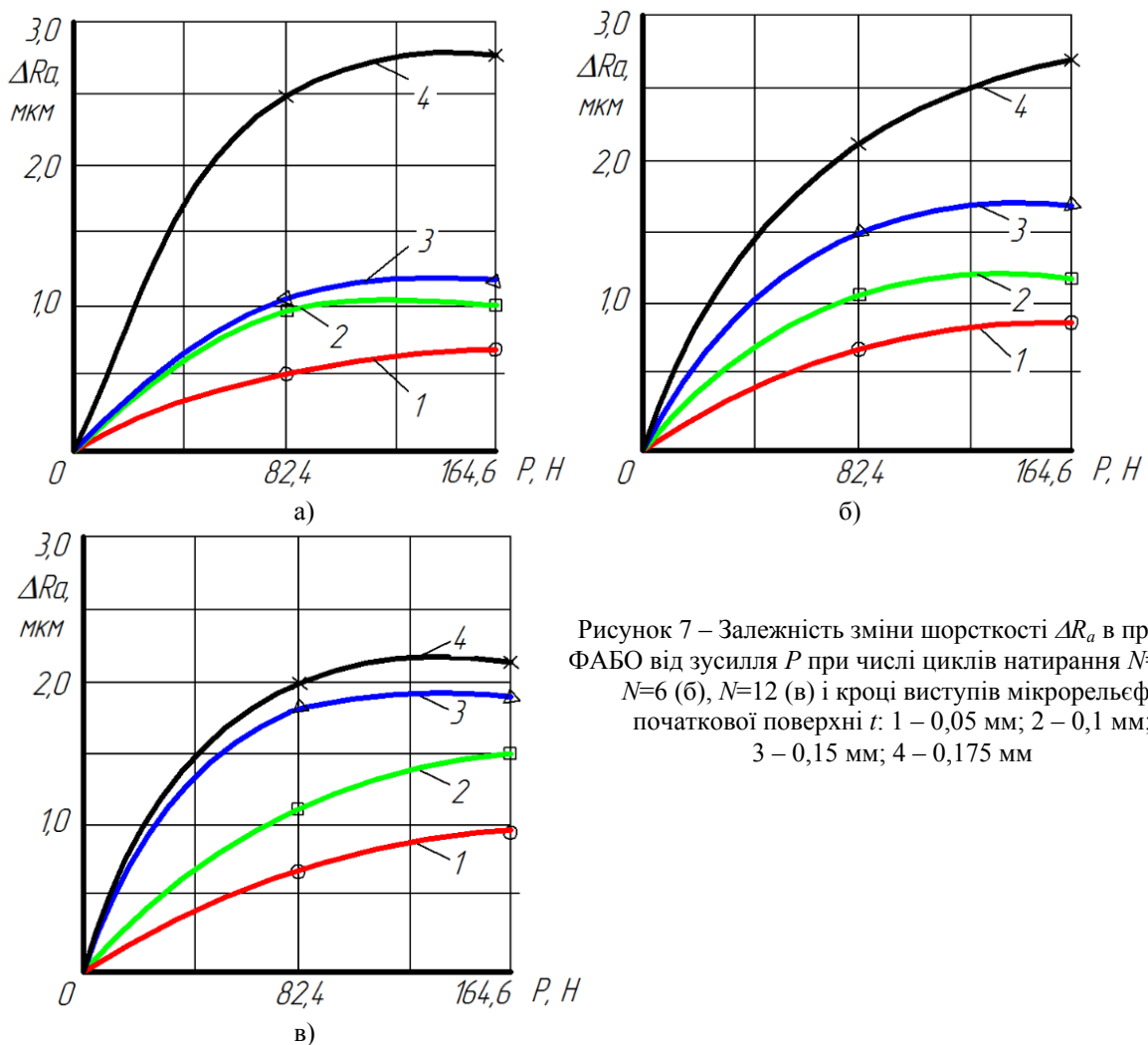


Рисунок 7 – Залежність зміни шорсткості ΔR_a в процесі ФАБО від зусилля P при числі циклів натирання $N=2$ (а), $N=6$ (б), $N=12$ (в) і кроці виступів мікрорельєфу початкової поверхні t : 1 – 0,05 мм; 2 – 0,1 мм; 3 – 0,15 мм; 4 – 0,175 мм

Джерело: розроблено авторами

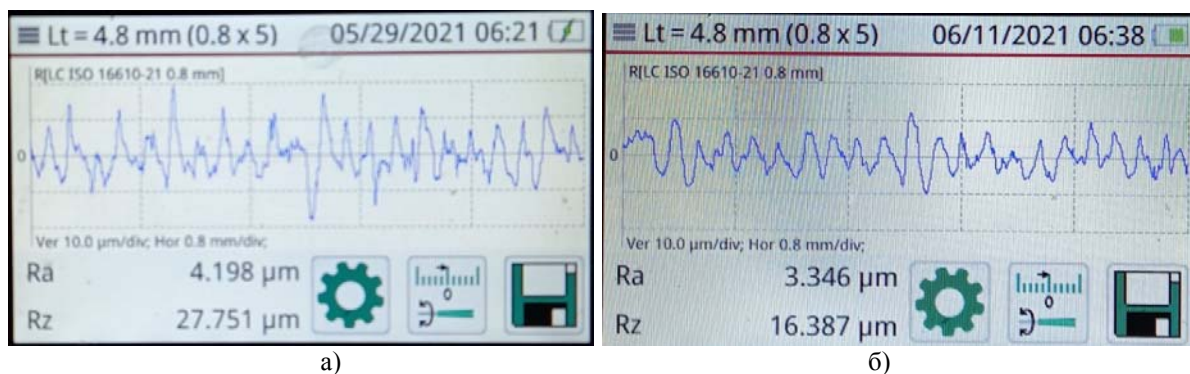


Рисунок 8 – Профілограми вимірювання шорсткості досліджуваних зразків після точіння (а) і подальшого нанесення антифрикційного покриття ФАБО (б)

Джерело: розроблено авторами

Проте високі значення R_a початкової поверхні не дозволяють отримувати суцільне покриття, що робить можливим його руйнування внаслідок контактної взаємодії спряжених поверхонь. При нанесенні покриття фрикційно-механічним методом ФАБО на заздалегідь обробленій поверхні з кроком 0,1 мм вдалося отримати суцільне покриття.

Встановлено (рис.6), що найбільш раціональною кількістю циклів (проходів) натирання є $2 \div 6$. Подальші цикли натирання не підвищують якість антифрикційного покриття з точки зору шорсткості поверхні.

Зі збільшенням зусилля притискання (контактного тиску) антифрикційного інструменту до оброблюваної поверхні (рис.7) спостерігається деяке підвищення шорсткості, а потім його стабілізація, що пояснюється інтенсивнішим затиранням антифрикційного матеріалу (латуні Л63) у западини мікрорельєфу і згладжуванням їх вершин. Це також підтверджують дані профілограм (рис.8), які свідчать про те, що нанесення антифрикційного покриттів ФАБО підвищують якість поверхні, згладжуючи мікрорельєф і западини за рахунок нанесення на їх поверхню антифрикційного матеріалу.

Висновки.

1. Нанесення антифрикційного покриттів ФАБО за розробленою схемою дозволило підвищити якість поверхні, значно знижуючи її шорсткість за рахунок затирання латуні у западини мікрорельєфу поверхні, а також часткового змінання та згладжування гребінців мікронерівностей. Це призводить до більше рівномірного та щільнішого нанесення покриття на оброблювану поверхню.

2. Зі збільшенням параметра початкової шорсткості поверхні R_a зростає і величина зміни середньоарифметичного відхилення профілю ΔR_a . Але, високі початкові значення середньоарифметичного відхилення профілю R_a не дозволяють досягати суцільного, а отже, якісного антифрикційного покриття ФАБО.

3. Отримання якісного антифрикційного покриття при вибраній схемі ФАБО стало можливим за наступними режимами обробки: зусилля притискання антифрикційного бруска $P = 164,6$ Н; кількість циклів натирання $N = 6$.

4. Результати виконаних досліджень при нанесенні антифрикційних покриттів ФАБО в частині досліджень шорсткості дозволяють прогнозувати та керувати цим важливим геометричним параметром поверхневого шару, який багато в чому визначає якість обробленої поверхні.

Список літератури

1. Ръжов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. К.: Наукова думка, 1994. 181 с.
2. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. К.: Техника, 1981. 142 с.
3. Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости / Б.А. Ляшенко и др. Киев : НАН Украины, ИПП им. Г.С. Писаренко, 2010. 93 с.
4. Чернец М.В., Клименко Л.П., Пашечко М.И. Трибомеханика, триботехника, триботехнологии. Т.1. Механика трибоконтактного взаимодействия при скольжении. Николаев: Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2006. 476 с.
5. Соловых Е.К. Тенденции развития технологий поверхностного упрочнения в машиностроении: монография. Кировоград, КОД, 2012. 92 с.
6. Шепеленко И.В., Черкун В.В. Влияние состояния исходной поверхности на процесс ФАБО. *Научный вестник Таврийского государственного агротехнологического университета*. 2013. Вып. 3 (1). С.150–155.
7. Поверхневе зміцнення матеріалів працюючих в умовах комплексного впливу агресивних речовин: монографія / Б.П. Серета та ін. Кам'янське: ДДТУ, 2019. 173 с.
8. Черновол М.И., И.В. Шепеленко, Будар Мохамед Р.Ф. Повышение качества финишной обработки отверстий. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту.* 2016. Вып.29. С.104–111.
9. Shepelenko I.V. Technological factors influence on the antifriction coatings quality// *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. 2021. Т.26, №2/100. С.50–57.
10. Shepelenko I.V. The study of surface roughness in the process of finishing antifriction non-abrasive treatment. *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. 2020. №1/95. С.34–40.
11. Shepelenko I. Mechanics of Micro-cutting Using FANT/ I. Shepelenko, Y. Tsekhanov, M. Storchak M. et al.// In: Tonkonogyi V. et al. (eds) *Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham (2021), pp.619–628.
12. Shepelenko I. Power Parameters of Micro-cutting During Finishing Anti-friction Non-abrasive Treatment/ I. Shepelenko, Y. Nemyrovskiy, Y. Tsekhanov et al. *New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 128*. Springer, Cham (2020), pp.194–201.
13. ГОСТ 2789-73 (СТ СЭВ 638-77). Шероховатость поверхности. М.: Гос. Комитет СССР по стандартам, 1981. 7 с.
14. Rasheed A Abdullah. Experimental quality improvement of the application of antifriction coating/ Abdullah Rasheed A, Ihor Shepelenko, Eduard Posviatyenko. *Journal of Physics: Conference Series, Volume 1706, First International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials 13-14 August 2020, Coimbatore, India*, pp.1–11.
15. Shepelenko I. Improving the Efficiency of Antifriction Coatings by Means of Finishing the Antifriction Non-abrasive Treatment/ I. Shepelenko, Y. Tsekhanov, Y. Nemyrovskiy et al. *Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham (2020), pp.289–298.
16. Филоненко С. Н. Резание металлов. Киев: Наук. дум., 1975. 232 с.
17. Шепеленко І.В., Немировський Я.Б., Посвятенко Е.К. Підвищення якості антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування. *Mechanics and Advanced Technologies*, 2022. Т. 6, № 1. С.24–30.

References

1. Ryzhov, E.V., Klymenko, S.A. & Hutsalenko, O.H. (1994). *Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva detalej s pokrytiami* [Technological support of the quality of parts with coatings]. Kyiv, Naukova dumka [in Russian].
2. Matalin, A.A. (1981). *Tekhnologicheskije metody povysheniya dolgovechnosti detalej mashin* [Technological methods for increasing the durability of machine parts]. Kyiv, Tekhnika [in Russian].
3. Lyashenko, B.A., Solovyh, E.K., Mirnenko, V.I. et al. (2010). *Optimizaciya tekhnologii naneseniya pokrytij po kriteriyam prochnosti i iznosostojkosti* [Optimization of coating technology according to the criteria of strength and wear resistance]. Kyiv, IPP im. G.S. Pisarenko [in Russian].

4. Chernec, M.V., Klimenko, L.P. & Pashechko, M.I. (2006). *Tribomekhanika, tribotekhnika, tribotekhnologii* [Mechanics of tribocontact interaction during sliding]. Nikolaev, Izdatel'stvo NGTU im. Petra Mogily [in Russian].
5. Solovyh, E.K. (2012). *Tendencii razvitiya tekhnologij poverhnostnogo uprochneniya v mashinostroenii* [Trends in the development of surface hardening technologies in mechanical engineering]. Kirovograd, KOD [in Russian].
6. Shepelenko, I.V. & Cherkun, V.V. (2013). Vliyanie sostoyaniya iskhodnoj poverhnosti na process FABO [Influence of the initial surface state on the FABO process]. *Naukovij visnik Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu – Scientific bulletin of Tavriya State Agro-Technological University, Issue 3 (1)*, 150–155 [in Russian].
7. Sereda, B.P., Bannikov, L.P., Nesterenko, S.V., et al. (2019). *Poverkhneve zmitsnennia materialiv pratsiuiuchykh v umovakh kompleksnoho vplyvu ahresyvnykh rehovyn* [Surface strengthening of materials working under conditions of complex exposure to aggressive substances]. Kamianske, DDTU [in Ukraine].
8. Chernovol, M.I., Shepelenko, I.V. & Mohamed R.F. Budar (2016). Povyshenie kachestva finishnoj obrabotki otverstij [Better Hole Finishing]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohrads'koho nats. tekhn. un-tu – Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation: coll. of science avenue of Kirovohrad National Technical University, Issue 29*, 104–111 [in Russian].
9. Shepelenko, I.V. (2021). Technological factors influence on the antifriction coatings quality. *The international scientific journal Problems of Tribology. Vol.29. No 2/100*. 50–57. [in English].
10. Shepelenko, I.V. (2020). The study of surface roughness in the process of finishing antifriction non-abrasive treatment. *The international scientific journal Problems of Tribology, Vol.28, No 1/95*, 34–40. [in English].
11. Shepelenko, I., Tsekhanov, Y., Storchak, M. et al. (2021). Mechanics of Micro-cutting Using FANT. *Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer*, 619–628 [in English].
12. Shepelenko, I., Nemyrovskiy, Y., Tsekhanov, Y. et al. Power Parameters of Micro-cutting During Finishing Anti-friction Non-abrasive Treatment. *New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer*, 194–201 [in English].
13. Sherohovatos' poverhnosti [Surface roughness]. (1981). *GOST 2789-73 (ST SEV 638-77)*. Moskva. Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam [in Russian].
14. Rasheed A Abdullah, Shepelenko, Ihor & Posviatyenko, Eduard (2020). Experimental quality improvement of the application of antifriction coating. *Journal of Physics: Conference Series. First International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials, Vol. 1706*, 1–11 [in English].
15. Shepelenko, I., Tsekhanov, Y., Nemyrovskiy, Y. et al. (2020). 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*. 289–298 [in English].
16. Filonenko, S.N. (1975). *Rezanie metallov* [Metal cutting]. Kyiv, Naukova dumka [in Russian].
17. Shepelenko, I.V., Nemyrovskiy, Ya.B. & Posviatenko, E.K. (2022). Pidvyshchennia yakosti antyfraktsiinykh pokryttiv z vykorystanniam plastychnoho deformuvannia [Improving the quality of antifriction coatings using plastic deformation]. *Mechanics and Advanced Technologies. Vol.6. No 1*. 24–30 [in Ukraine].

Ihor Shepelenko, Assoc. Prof., Dsc., **Andrii Kyrychenko**, Prof., DSc., **Sergii Mahopets**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Michael Krasota**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Vasylenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Change in Surface Roughness When Applying Anti-friction Coatings

The analysis of literary sources made it possible to state that the surface roughness obtained by the finish anti-friction non-abrasive treatment (FANT) is one of the main quality criteria of the anti-friction coating and largely determines the process of running-in during the initial period of operation. The purpose of the presented research is to establish the main patterns of changes in the roughness of the surface layer treated by FANT.

Application of anti-friction coatings was carried out according to the method developed by the authors using the original device on a vertical milling machine. Special disc-shaped samples made of gray cast iron SCH20 were used as the tested samples. L63 brass was used as the material of the anti-friction coating. Among

the technological factors that changed with the selected FANT scheme, the following were selected: the pressure force of the anti-friction bar and the number of rubbing passes. The roughness of the surface was estimated by the average arithmetic deviation of the R_a profile. The average value obtained as a result of three measurements was taken as the value of the roughness parameter R_a .

The obtained values made it possible to establish the main patterns of changes in the roughness parameter depending on the technological parameters of FANT. It is shown that with an increase in the initial surface roughness parameter R_a , the value of the change in the average arithmetic deviation of the profile ΔR_a also increases. High initial values of the arithmetic average deviation of the R_a profile do not allow obtaining a continuous, and therefore high-quality anti-friction coating of FANT. Obtaining a high-quality anti-friction coating with the selected FANT scheme became possible with the following processing modes: pressing force of the anti-friction bar $P = 164.6 \text{ N}$; the number of rubbing cycles is $N = 6$. The results of the studies performed on the application of FANT anti-friction coatings make it possible to predict and control such an important geometric parameter of the surface layer as roughness, which largely determines the quality of the treated surface.

roughness, anti-friction coatings, finish anti-friction non-abrasive treatment, process parameters

Одержано (Received) 27.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 06.10.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022