

УДК 621.787.4

DOI: 10.20535/2077-7264.1(75).2022.266644

© **І. В. Шепеленко**, д-р техн. наук, доц., **Я. Б. Немировський**, д-р техн. наук, проф., **Центральноукраїнський національний технічний університет**, Кропивницький, **Е. К. Посвятенко**, д-р техн. наук, проф., **Національний транспортний університет**, Київ, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ЇХ АНТИФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Досліджено ефективність поєднання холодного пластичного деформування та фрикційно-механічного методу нанесення антифрикційних покриттів при обробці деталей тертя. У результаті проведених досліджень запропоновано комбіновану технологію відновлення гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання з використанням деформуючого протягування та фінішної антифрикційної безабразивної обробки.

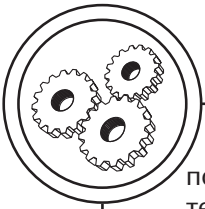
Ключові слова: інженерія поверхонь; деформуюче протягування; фінішна антифрикційна безабразивна обробка; гільзи циліндрів; технологічний процес.

Постановка проблеми

Підвищення якості виробів у багатьох випадках залежить від властивостей поверхневого шару робочих поверхонь деталей, що входять до складу виробу. Тому при виборі матеріалу, технології обробки варто розмежовувати функції серцевини і поверхневого шару деталі. Така конструкторсько-технологічна концепція створення виробів є не тільки стратегічною, але і універсальною, оскільки домінує протягом усього життєвого циклу виробу, зокрема, при його виготовленні, експлуатації та ремонті, а також при відновленні окремих вузлів та деталей.

На сьогодні розроблено багато методів, які впливають на властивості поверхневого шару робочих поверхонь деталей машин [1–3]. Кожен з цих методів позначається на експлуатаційних властивостях робочих поверхонь через комплекс геометричних і фізико-механічних характеристик поверхневого шару. Насамперед, це стосується точності, шорсткості, площі опорної поверхні, мікрорельєфу, зміцнення, залишкових напружень, мікроструктури, адгезійної властивості покриття і основи, ресурсу використаної пластичності матеріалу.

Отриманий в процесі обробки комплекс фізико-механічних і геометричних характеристик



поверхневого шару поверхонь тертя дозволяє збільшити зносостійкість, втомну міцність, антифрикційні властивості, міцність посадок з натягом та інші властивості.

Вищенаведене обумовлює те, що пріоритетним напрямом сучасного машинобудування є інженерія поверхонь деталей машин, яка полягає в розробці нових комбінованих технологій, що можуть ефективно впливати на робочий поверхневий шар деталі з метою управління його складом, структурою та властивостями.

Аналіз попередніх досліджень

Найбільш ефективними процесами інженерії поверхні деталей машин як в основному, так і у вторинному (ремонтно-відновлюваному) виробництві є комбіновані (гібридні) технології.

На прикладі обробки робочої поверхні гільзи циліндрів двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) розглянемо існуючі методи інженерії поверхні, які можуть бути ефективно використані при складанні технологічного процесу відновлення цієї деталі.

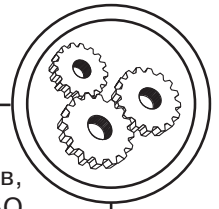
Згідно з [4], стан поверхневого шару гільз є одним із основних факторів, що визначають ресурс і надійність роботи двигуна. Існуючий технологічний процес, що включає операції розточування з подальшим хонінгуванням, не забезпечує створення оптимального поєднання механічних і геометричних характеристик робочої поверхні. Тому двигуни, оснащені такими гільзами, піддають багатогодинній обкатці на стенді для припрацю-

вання поверхонь тертя. Це забезпечує трансформацію вихідної шорсткості, перерозподіл залишкових напружень тощо.

Авторами [5, 6] наведено дослідження впливу деформуючого протягування на стан робочої поверхні обробленої гільзи та запропоновано технологічний процес обробки гільз з використанням холодного пластичного деформування з подальшим чистовим хонінгуванням. Така технологія має переваги перед існуючою за рахунок отримання обробленої поверхні з поліпшеними механічними характеристиками і шорсткістю, близькою до рівноважної, тобто технологічний мікрорельєф практично не відрізняється від мікрорельєфу, що утворюється в процесі експлуатації гільз. Однак і цей технологічний процес має суттєвий недолік. Після операції чистового хонінгування на робочій поверхні гільзи неминуче залишаються абразивні мікрочастки, що призводять до прискореного зносу поршневих кілець.

Технологія антифрикційного плосковершинного хонінгування гільз [7] задля створення мікрорельєфу з подальшим його заповненням антифрикційним матеріалом шляхом натирання спеціальними антифрикційними брусками не знайшла широкого використання через зараження робочої поверхні абразивними частками. Але використання антифрикційного матеріалу дозволило підвищити антифрикційні властивості деталі.

Слід зазначити, що для підвищення триботехнічних характеристик робочих поверхонь найбільше застосування знайшли



способи формування антифрикційних покриттів на металеві поверхні тертя [3]. Аналіз схем нанесення антифрикційних покриттів показав, що найбільш ефективним, простим в реалізації та таким, що не вимагає складного обладнання, є фінішна антифрикційна безабразивна обробка (ФАБО) [8].

Однак застосування існуючих технологій нанесення покриттів ФАБО не забезпечує достатнього зміцнення поверхні деталей, а отже — зносостійкість на більш тривалий термін. Тому, досить перспективним з точки зору підвищення зносостійкості та міцності зчеплення покриття з основою слід вважати напрям з використання методів комбінованої обробки. Можливість суміщення ФАБО з методами холодного пластичного деформування, зокрема з деформуючим протягуванням, дозволить підвищити якість обробки робочої поверхні гільз циліндрів.

Мета роботи

Розробка нового технологічного процесу, що поєднує операцію деформуючого протягування та фінішну операцію нанесення антифрикційних покриттів, що дозволить забезпечити на робочій поверхні гільзи сприятливі по відношенню до зносостійкості комплекс геометричних і механічних характеристик з одночасним підвищенням антифрикційних властивостей обробленої поверхні.

Результати проведених досліджень

Розглянуто декілька варіантів технологічних процесів нанесення

антифрикційних покриттів, що включають операції ФАБО і деформуючого протягування. Кожен з варіантів може бути використано при обробці отворів залежно від технічних вимог до виробу.

Перший варіант полягає в обробці отвору деформуючим протягуванням після операції ФАБО. В цьому випадку антифрикційне покриття наноситься фрикційно-механічним методом. Для реалізації запропонованої технології використано пристрій для нанесення антифрикційного покриття (рис. 1).

Особливістю конструкції інструменту (рис. 1) є те, що латунні бруски, які входять в контакт з оброблюваною поверхнею і здійснюють зворотно-поступовий рух, забезпечується нанесення антифрикційного покриття на певній ділянці. Далі, інструмент повертається на кут, що забезпечує нанесення покриття на інших ділянках. Вказаний цикл повторюється до тих пір, поки робоча поверхня не вкриється суцільним антифрикційним покриттям. Таким чином, в результаті зношування антифрикційних брус-



Рис. 1. ФАБО гільз циліндрів

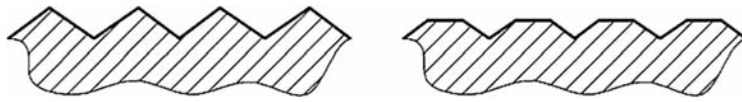
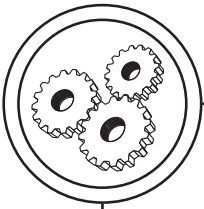


Рис. 2. Формування поверхневого шару: а — розточуванням; б — деформуючим протягуванням

ків відбувається перенесення антифрикційного матеріалу на робочу поверхню гільзи циліндрів,

а дискретне обертання останньої забезпечує нанесення антифрикційного покриття по всій внутрішній поверхні.

Наступна операція деформуючого протягування забезпечує збільшення адгезії між покриттям і основним матеріалом, а також зміцнення основи.

Можливий також інший варіант технологічного процесу, коли заздалегідь розточену поверхню (рис. 2, а) деформують робочим елементом з кутом $\alpha \leq 2^\circ$ для створення площадок (рис. 2, б), що служать місцем для адгезії наліпшої латуні і в цілому для інтенсифікації процесу нанесення адгезійної сітки.

ФАБО наступна після деформуючого протягування, виконується за технологією, що описана вище. Слід зазначити, що після нанесення антифрикційного покриття можлива повторна операція деформуючого протягування, яку призначають залежно від технічних вимог до виробу.

Встановлено [9], що параметри шорсткості поверхневого шару робочої поверхні після ФАБО змінюються несуттєво. Тому особливої уваги заслуговують операції, що передують нанесенню антифрикційних покриттів. Отже, при побудові технологічного процесу обробки гільз циліндрів, що містить як заключну операції ФАБО, необхідно вибрати попе-



Рис. 3. Схема технологічного процесу відновлення гільз циліндрів ДВЗ в I ремонтний розмір

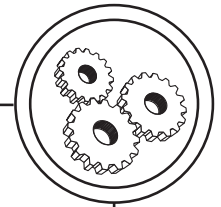


Рис. 4. Комбінованої протяжки для обробки гільз циліндрів ДВЗ [10]

редню операцію, яка забезпечує покращені по відношенню до зносостійкості мікрорельєф і фізико-механічні характеристики поверхневого шару.

Проведені дослідження дозволили запропонувати технологічний процес обробки гільз циліндрів двигунів ДВЗ при їх відновленні в I ремонтний розмір. З урахуванням вищевикладеного розроблено і рекомендовано наступний технологічний процес відновлення гільз циліндрів (рис. 3).

У відповідності до представленої схеми (рис. 3) після розбирання двигуна проводиться миття та очищення гільз від бруду, накипу та їх дефектація. При дефектації гільзи, що мають

знос понад третього ремонтного розміру, а також тріщини і відколи, підлягають бракуванню.

Комбіноване протягування виконувалося на вертикально-протяжному верстаті мод. МА7У-750 в умовах ІСМ НАН України з використанням ріжуче-деформуючої протяжки (рис. 4).

ФАБО гільз циліндрів виконувалося за технологією та з пристроєм, наведеному на рис. 1.

Порівняння фізико-механічних характеристик поверхневого шару, обробленого за двома різними технологічними процесами (розточування, хонінгування і протягування, ФАБО) показало перевагу запропонованої технології (рис. 5).

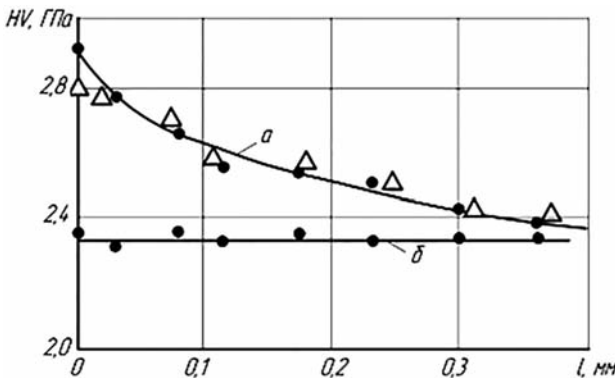
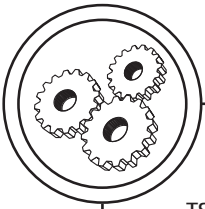


Рис. 5. Розподіл твердості за товщиною стінки гільзи ДВЗ при обробці: а — за новим технологічним процесом (• — після протягування; Δ — після протягування і ФАБО); б — за існуючим технологічним процесом (розточування і хонінгування) [11]



Операція деформуючого протягування значно (до 25 %) зміцнює поверхневий шар матеріалу гільзи. Глибина зміцнення при цьому досягає близько 0,3 мм, що гарантує наявність зміцненого матеріалу в парі тертя навіть при тривалій експлуатації. Нанесення антифрикційного покриття забезпечує підвищення антифрикційних властивостей робочої поверхні гільзи.

Проведення стендових випробувань показало ефективність прийнятих технічних рішень. Так середній знос робочої поверхні гільзи після двогодинного припрацювання склав 4,2 мкм, що в 1,7 разів менше зносу, отриманого на гільзах, оброблених за існуючою технологією (7,2 мкм).

Таким чином, поєднання холодного пластичного деформування і ФАБО дозволив розробити успішний варіант техно-

логічного процесу обробки внутрішньої поверхні гільзи циліндрів ДВЗ із сірого модифікованого чавуну.

Висновки

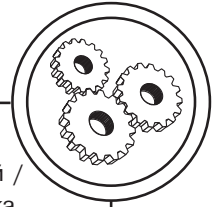
1. Встановлено ефективність поєднання операції холодного пластичного деформування і ФАБО, що дозволяє підвищити зносостійкість оброблених гільз ДВЗ.

2. Розроблено новий технологічний процес обробки гільз ДВЗ, що включає операції ДПР і ФАБО, який забезпечує отримання робочої поверхні гільзи з поліпшеними фізико-механічними і трибологічними характеристиками.

3. Запропонована технологія забезпечує підвищення зносостійкості деталі в 1,7 раз порівняно з гільзами, що оброблені за існуючою технологією.

Список використаної літератури

1. Ющенко К. А. Інженерія поверхні: підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов та ін. К.: Наукова думка, 2007. 559 с.
2. Тихоненко В. В. Упрочняющие технологии формирования износостойких поверхностных слоев / В. В. Тихоненко, А. М. Шкилько // Фізична інженерія поверхні. 2011. т. 9, № 3. С. 237–243.
3. Черновол М. И. Способы формирования антифрикционных покрытий на металлические поверхности трения / М. И. Черновол, И. В. Шепеленко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету, Кіровоград, 2012. Вип. 25(1). С. 3–8.
4. Рыжов Э. В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Рыжов Э. В. К.: Наукова думка, 1984. 272 с.
5. Немировский Я. Б. Шероховатость поверхностей трения гильз ДВС, обработанных с использованием пластического деформирования / Я. Б. Немировский, М. М. Потемкин, А. В. Чернявский // Трение и износ. 1989. Т. 10, № 3. С. 446–451.
6. Немировский Я. Б. Особенности обработки гильз ДВС деформирующим протягиванием / Я. Б. Немировский, А. В. Чернявский // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. / Кіровоград. нац. техн. ун-т. Кіровоград, 2004. Вип. 15. С. 425–432.



7. Чеповецкий И. Х. Триботехнология формирования поверхностей / И. Х. Чеповецкий, С. А. Ющенко, А. В. Бараболя и др. Киев: Наук. думка, 1989. 232 с.

8. Черновол М. І. Пристрої для фрикційно-механічного нанесення покриттів / М. І. Черновол, І. В. Шепеленко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету, Кіровоград, 2013. Вип. 26. С. 58–62.

9. Shepelenko I. V. Technological factors influence on the antifriction coatings quality // Проблеми трибології (Problems of Tribology), Хмельницький, 2021. Т. 26, № 2/100. С. 50–57.

10. Посвятенко Е. К. Інженерія деталей, оброблених протягуванням: монографія / Е. К. Посвятенко, Я. Б. Немировський, С. Е. Шейкін та ін. Кропивницький: Видавець Лисенко В. Ф., 2021. 466 с.

11. Nemyrovskiy Y. 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 / Y. Nemyrovskiy, I. Shepelenko, E. Posviatenko, M. Chernovol, F. Zlatopolskiy // Problems of Tribology. 2022. 27(1/103). Pp. 14–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-103-1-14-25>.

References

1. Yushchenko, K. A., Borysov, Yu. S., Kuznetsov, V. D., & others (2007). *Inzheneriia poverkhni [Surface engineering]*. Kyiv: Naukova dumka, 559 [in Ukrainian].

2. Tikhonenko, V. V., & Shkil'ko, A. M. (2011). Uprochnyayushchie tekhnologii formirovaniya iznosostoykikh poverkhnostnykh sloev. *Fizychna inzheneriia poverkhni*, Vol. 9, 3, 237–243.

3. Chernovol, M. I., & Shepelenko, I. V. (2012). Sposoby formirovaniya antifriktsionnykh pokrytyy na metallicheskie poverkhnosti treniya. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 25(1), 3–8.

4. Ryzhov, E. V. (1984). *Tekhnologicheskie metody povysheniya iznosostoykosti detaley mashin*. Kyiv: Naukova dumka, 272.

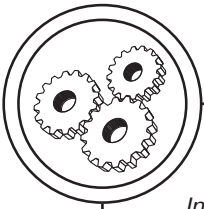
5. Nemirovskiy, Ya. B., Potemkin, M. M., & Chernyavskiy, A. V. (1989). Sherokhovatost' poverkhnostey treniya gil'z DVS, obrabotannykh s ispol'zovanie plasticheskogo deformirovaniya. *Trenie i iznos*, Vol. 10, 3, 446–451.

6. Nemirovskiy, Ya. B., & Chernyavskiy, A. V. (2004). Osobennosti obrabotki gil'z DVS deformiruyushchim protyagivaniem. *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytvstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia*, 15, 425–432.

7. Chepovetskiy, I. Kh., Yushchenko, S. A., Barabolya, A. V., & others (1989). *Tribotekhnologiya formirovaniya poverkhnostey*. Kiev: Nauk. dumka, 232.

8. Chernovol, M. I., & Shepelenko, I. V. (2013). Prystroi dlia fryktsiino-mekhanichnoho nanesennia pokryttiv. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 26, 58–62 [in Ukrainian].

9. Shepelenko, I. V. (2021). Technological factors influence on the antifriction coatings quality. *Problemy trybolohii (Problems of Tribology)*, Vol. 26, 2/100, 50–57 [in English].



10. Posvyatenko, E. K., Nemyrovskiy, Y. B., Sheykin, S. E., & others (2021). *Inzheneriia detalei, obrobenykh protiahuvanniam [Engineering of parts processed by broaching]*. Kropyvnytskyi: Publisher V. F. Lysenko, 466 [in Ukrainian].

11. Nemyrovskiy, Y., Shepelenko, I., Posviatenko, E., Chernovol, M., & Zlatopolskiy, F. (2022). 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. *Problemy trybolohii (Problems of Tribology)*, 27(1/103), 14–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-103-1-14-25> [in English].

The purpose of the work is to develop a technological process that combines the deforming drawing operation and the finishing operation of applying anti-friction coatings.

Keywords: surface engineering; deforming drawing; final anti-friction non-abrasive treatment; cylinder liners; technological process.

Надійшла до редакції 27.05.22