

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.1

DOI: 10.20535/2077-7264.1(71).2021.238995

© Т. А. Роїк, д-р техн. наук, проф., А. О. Бровкин, аспірант,
О. П. Шостачук, старш. викл., КПІ ім. Ігоря Сікорського,
Київ, Україна

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ТОНКОГО ЕЛЬБОРОВОГО ШЛІФУВАННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ САМОЗМАЩУВАЛЬНИХ КОМПОЗИТНИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ДРУКАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

В статті представлено результати досліджень з особливостей формування параметрів шорсткості R_a при тонкому круглому ельборовому шліфуванні робочих поверхонь композитних самозмащувальних деталей на основі промислових шліфувальних відходів інструментальної сталі 05X12H6Д2МФСГТ з домішками твердого мастила, що призначені для роботи у високооберткових вузлах офсетних циліндрів друкарських машин; надано реко-мендації з режимів ельборового шліфування для забезпечення високих параметрів якості робочих поверхонь деталей.

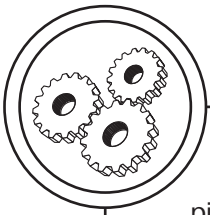
Ключові слова: самозмащувальна композиційна деталь;
ельборовий шліфувальний круг; режими шліфування;
шорсткість; зернистість; зв'язка; зносостійкість;
вузли друкарських машин.

Постановка проблеми

Розвиток поліграфічної галузі вимагає від спеціалістів-розробників та технологів друкарського обладнання створення нових і удосконалення існуючих машин, які мають забезпечити високі вимоги до параметрів їх надійності, довговічності та ремонтоздатності. Це повною мірою стосується якості і окремих деталей, як важливих конструктивних елементів, які працюють в умовах інтенсивного зношування у вузлах друкарських машин, і безперервно піддаються дії навантажуючих експлуатаційних факто-

рів. Від якості таких деталей залежить надійність і стабільність як конструкційного вузла, так і друкарської машини у цілому.

Зростання швидкостей руху деталей, коли швидкості обертання, зокрема, у вузлах тертя офсетних циліндрів, сягають 1000 об./хв. і вище, а навантаження на пару тертя збільшуються до 7,0 МПа призводить до виникнення на робочих поверхнях миттєвих температур від 300 до 500° С, що створює важкі умови експлуатації друкарських машин [1, 2].



За таких умов роботи жодне рідке мастило стає неприцездатним, оскільки воно викидається при обертанні відцентровими силами із зони тертя. Як наслідок, контактні поверхні залишаються не захищеними, що інтенсифікує знос деталей. Вказані умови експлуатації потребують спеціальних заходів і підходів для забезпечення стабільної роботи таких вузлів і апаратів, а, відтак і підвищення їх надійної роботи.

У зв'язку з цим авторами [3–8] розроблено нові антифрикційні композитні матеріали та деталі з них на основі промислових шліфувальних відходів легованих сталей, зокрема, відходів штампових сталей 05X12H6Д2МФСГТ, 4ХМНФС, ШХ15, Р6М5, Р6М5К5 та ін., які містять у своєму складі тверде мастило CaF_2 для роботи в умовах самозмащення, що істотно збільшило довговічність вузлів тертя високооберткових поліграфічних машин.

Втім питання якості оброблення робочих контактних поверхонь розроблених композитних самозмащувальних деталей досліджено не достатньо, що не дозволяє прогнозувати операційну поведінку деталі і вузла тертя, насамперед, офсетного високооберткового вузла друкарської машини.

Це актуалізує пошук шляхів з одного боку задля підвищення зносостійкості вузлів тертя і окремих антифрикційних деталей, що входять до їх складу, і з іншого боку з метою підвищення зносостійкості та збільшення термінів експлуатації високошвидкісної друкарської машини у цілому.

З огляду на оптимізацію параметрів якості поверхонь оброблення вельми детально було до-

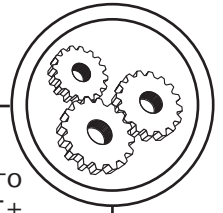
сліджено процеси тонкого абразивного шліфування і магнітоабразивної обробки (МАО) [9], та сформовано технологічні рекомендації.

Проте процеси тонкого ельборового шліфування нових самозмащувальних композитних деталей тертя, виготовлених на основі вторинної сировини залишились не дослідженими. Натомість саме такі процеси, через реалізацію відомого принципу технологічної спадкоємності, на 80–90 % забезпечують умови формування високих параметрів якості поверхонь тертя композитних деталей високооберткових друкарських машин [1, 2]

На сьогодні фахівцями визначено, що використання такого виду фінішної обробки як ельборове шліфування дає змогу забезпечити високі параметри якості робочих поверхонь деталей [10].

Втім обмеженість даних з особливостей процесів ельборового шліфування, насамперед, круглого шліфування і його впливу на характеристики контактних поверхонь антифрикційних композитних деталей вузлів високошвидкісних друкарських машин, не дозволяє прогнозувати і цілеспрямовано керувати функціональними властивостями таких деталей, а, відтак, забезпечувати тривалу і стабільну роботу машини.

Вищенаведені аргументи стали мотивацією для проведення досліджень процесу тонкого круглого ельборового шліфування антифрикційних деталей з нових самозмащувальних композитних матеріалів на основі шліфувальних відходів інструментальних сталей та встановлення його



впливу на параметри шорсткості поверхонь. Це дозволить сформувати технологічні рекомендації виконання тонкої обробки робочих поверхонь нових циліндричних деталей, що сприятимуть підвищенню зносостійкості і тривалості роботи вузла тертя і друкарської машини у цілому. Вказане свідчить про актуальність означеної теми і потребує виконання комплексу різнопланових досліджень.

Мета роботи

Визначення параметрів шорсткості поверхонь при тонкому круглому ельборовому шліфуванні нових самозмащувальних композитних антифрикційних деталей на основі шліфувальних відходів сталі 05X12H6Д2МФСГТ з домішками твердого мастила CaF_2 та встановлення впливу зернистості шліфувального круга, типу зв'язки інструменту і режимів різання на параметри якості поверхонь нових циліндричних деталей тертя високошвидкісних друкарських машин.

Результати проведених досліджень

У дослідженнях використовувались зразки з нових самозмащувальних композитних матеріалів на основі шліфувальних відходів легованої інструментальної сталі 05X12H6Д2МФСГТ, до якої на етапі синтезу були додані порошки твердого мастила фториду кальцію (CaF_2).

Після технологічних операцій виготовлення, що складались з підготовки вихідної шихти (змішування сталевих порошоків-відходів з порошками CaF_2), пресування і спікання брикетів, були

одержані зразки наступного складу, мас. %: 05X12H6Д2МФСГТ + (5–8) CaF_2 .

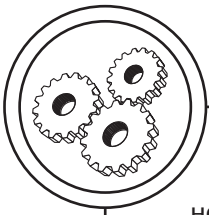
Вимірювання величин параметрів шорсткості поверхонь R_a при ельборовому шліфуванні зразків виконувались при глибині шліфування t у діапазоні 0,002–0,05 мм з використанням оптичного профілометра ProfilControl 7S (Pixargus GmbH).

Триботехнічні випробування виконувались на машині тертя ВМТ-1 при швидкостях обертання 300–800 об./хв., навантаженні 3,0–5,0 МПа в парі з контртілом із загартованої сталі 20Х з твердістю HRC = 48–50 на повітрі.

У всіх експериментальних дослідженнях з тонкого шліфування використовувались шліфувальні круги з ельбору ЛО зернистістю М50, М28, М14 та М7 на керамічній, металевій, бакелітовій, та бакелітно-гумовій зв'язці.

Оскільки деталі тертя вузлів друкарських машин мають циліндричну форму, в ході експериментів зразки з нових деталей піддавались круглому ельборовому шліфуванню за різних режимів різання: поперечна подача (S_n) — 0,1; 0,2; 0,5 та 1,0 мм/подв. хід; швидкість виробу (поздовжня подача), V_v — 2, 5, 10 м/хв.; швидкість кругу 22 м/с.

У процесі експериментів зовнішнє кругле ельборове шліфування виконувалось на прецизійному верстаті AS–250 «Werkzajt» (Німеччина), а для внутрішнього круглого шліфування застосовувався прецизійний внутрішньошліфувальний верстат надвисокої точності SS–125 «Studder» (Швейцарія).



Результати досліджень залежності параметру шорсткості R_a від режимів шліфування наведено на рис.

Аналіз результатів рис. показує, що параметр шорсткості R_a змінюється зі зміною режимних факторів різання — глибини шліфування, поперечної і поздовжньої подач та ілюструє, що мінімізація шорсткості поверхні може бути досягнута за мінімальних технологічних параметрів обробки.

Це дозволяє використовувати отримані практичні результати для технологічних рекомендацій.

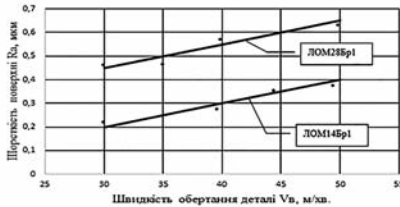
Важливим фактором, що впливає на параметри якості поверхонь оброблення, є зернистість ельборового інструменту. Тому в роботі були виконані експерименти для визначення впливу

розміру абразивного зерна шліфувального круга на параметр шорсткості R_a . Результати експериментів наведені у табл. 1.

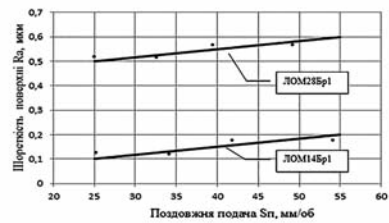
Результати табл. 1 дозволяють виразити важливі висновки: найменшу шорсткість поверхні у досліджуваному діапазоні зернистості інструменту забезпечують ельборові круги з зернистістю 7–14 мкм. Ці результати можуть бути пояснені загальними положеннями теорії шліфування [2, 10–13].

В результаті математичної обробки експериментальних даних було отримано кореляційне рівняння зв'язку параметру шорсткості R_a з зернистістю A ельборового інструменту, що має вигляд:

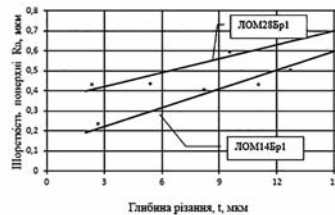
$$R_a = 0,0053A - 0,0070.$$



а

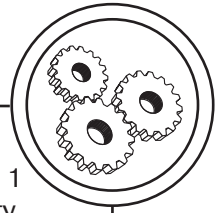


б



в

Залежність параметрів шорсткості поверхні R_a від режимів тонкого ельборового шліфування V_b , S_p , t при тонкому круглому внутрішньому шліфуванні (швидкість ельборового круга — $V_{кр.} = 40$ м/с): а — $S_p = 30$ мм/об.; $t = 2$ мкм; б — $V_b = 50$ м/хв.; $t = 2$ мкм; в — $V_b = 50$ м/хв.; $S_p = 30$ мм/об.



Тому, знаючи зернистість ельборового шліфувального круга А, можна оцінити параметр шорсткості R_a і обрати інструмент, що забезпечить вимоги до якості робочих поверхонь деталей. Це значно спрощує роботу технологів-практиків щодо раціонального вибору шліфувального інструменту під час розробки технологічних процесів.

З погляду вибору ріжучого інструменту задля досягнення високих параметрів якості робочих поверхонь деталей не менш важливим фактором є матеріал зв'язки ельборового круга. Тому в роботі були виконані дослідження впливу складу зв'язки інструменту на параметр шорсткості R_a , результати яких представлено у табл. 2.

Аналіз результатів, наведених у табл. 2, показує, що мінімізація параметру шорсткості R_a забезпечується використанням ельборового інструменту на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1. Це пов'язано з більшою еластичністю бакелітно-гумової зв'язки порівняно з іншими, і тому при врізанні ріжучого інструменту у метал кожне зерно круга амортизується в напрямку пружно-еластичного середовища зв'язки під дією складових сил різання. В результаті має місце фактичне зменшення глибини різання. Таким чином умови формування шорсткості поверхні змінюються, що призводить до мінімізації параметру шорсткості R_a , який є одним з важливіших показників якості поверхні оброблюваної деталі.

Зазначені висновки отримано з аналізу експериментальних даних при дослідженнях з використанням бакелітної, керамічної,

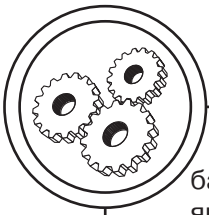
Таблиця 1
Вплив зернистості інструменту на параметр шорсткості поверхні R_a при круглому зовнішньому ельборовому шліфуванні

| Характеристика ельборового (ЛО) інструменту | Матеріал зразків |
|---|------------------|
| | R_a , мкм |
| ЛО5Бр1 100 % | 0,911 |
| ЛОМ28Бр1 100 % | 0,288 |
| ЛОМ20Бр1 100 % | 0,297 |
| ЛОМ14Бр1 100 % | 0,227 |
| ЛОМ10Бр1 100 % | 0,214 |
| ЛОМ7Бр1 100 % | 0,179 |
| 63СМ14Гл | 0,683 |
| 63СМ7Гл | 0,380 |

Примітки: Верстат — AS-250 «Werkzajt» (Німеччина); режими шліфування: швидкість круга — 22 м/с; поздовжня подача (швидкість виробу) — 2 м/хв; поперечна подача — 0,1 мм/подв. хід; глибина різання — 0,002 мм; обробка — без охолодження.

металевої і бакелітно-гумової зв'язок та різних зернистостей ельборового круга — 50, 28, 14, 10 та 7 мкм.

Слід зазначити, оскільки у процесах різання металів всі супроводжувальні явища ідентичні як для круглого зовнішнього, так і для круглого внутрішнього шліфування, при дослідженні особливостей ельборового шліфування зразків з нового композиту використовували ельборові круги ЛО зернистістю 14–28 мкм на



бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1), які забезпечили отримання найкращих результатів.

Як було сказано вище, нові самозмащувальні композитні деталі призначені для роботи у вузлах тертя офсетних циліндрів високошвидкісних друкарських машин.

Тому зразки нових композитів після тонкого ельборового шліфування піддавались порівняльним триботехнічним випробуванням із зразками з литої латуні CuZn37, EN 1652–98 (аналог — латунь Л63, ГОСТ 15527), яка нині

працює у вузлах офсетних циліндрів друкарської машини КВА «Rapida 105» (табл. 3).

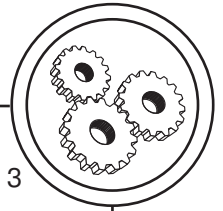
Як видно з табл. 3, досліджуваний композит за рівнем триботехнічних властивостей значно перевищує відому марку литої латуні CuZn37, EN 1652–98 (аналог — латунь Л63, ГОСТ 15527) [14, 15], яка застосовується лише для роботи у режимі змащування рідким мастилом за аналогічних умов навантаження у вузлах офсетних циліндрів друкарської машини КВА «Rapida 105».

Таблиця 2

Вплив матеріалу зв'язки ельборового круга на параметр шорсткості поверхні R_a зразків на основі відходів сталі 05X12H6Д2МФСГТ при круглому внутрішньому шліфуванні

| Характеристика абразивного інструменту | Матеріал зв'язки круга | Параметр шорсткості, R_a , мкм |
|--|------------------------|----------------------------------|
| ЛО5Б1 100 % | Бакелітна Б1 | 0,951 |
| ЛО5Бр1 100 % | Бакелітно-гумова Бр1 | 0,884 |
| ЛО5К1 100 % | Керамічна К1 | 1,273 |
| ЛО5М1 100 % | Металева М1 | 1,214 |
| ЛОМ28Б1 100 % | Бакелітна Б1 | 0,320 |
| ЛОМ28Бр1 100 % | Бакелітно-гумова Бр1 | 0,269 |
| ЛОМ28К1 100 % | Керамічна К1 | 0,525 |
| ЛОМ14Б1 100 % | Бакелітна Б1 | 0,242 |
| ЛОМ14Бр1 100 % | Бакелітно-гумова Бр1 | 0,211 |
| ЛОМ14К1 100 % | Керамічна К1 | 0,417 |
| ЛОМ10Бр1 100 % | Бакелітно-гумова Бр1 | 0,207 |
| ЛОМ7Бр1 100 % | Бакелітно-гумова Бр1 | 0,169 |

Примітки: Верстат — SS-125 «Studder» (Швейцарія); режими різання: швидкість круга — 22 м/с; поздовжня подача (швидкість виробу) — 2 м/хв; поперечна подача — 0,1 мм/подв. хід; глибина різання — 0,002 мм; шліфування — без охолодження.



Таблиця 3

Триботехнічні властивості композиту на основі відходів сталі 05X12Н6Д2МФСГТ і литої латуні CuZn37

| Склад, мас. % | Коеф. тертя | Інтенсивність зношування, мкм/км (при 800 об./хв.) | Граничне навантаження, МПа | Гранична швидкість обертання, об./хв. |
|--|-------------|--|----------------------------|---------------------------------------|
| 05X12Н6Д2МФСГТ + (5–8) CaF ₂ | 0,18–0,21 | 61–68 | 5,0 | 850 |
| Латунь CuZn37, EN 1652–98 (аналог — латунь Л63, ГОСТ 15527) [14, 15] | 0,37–0,39 | 476–480 | 1,5 | 550 |

Така трибологічна поведінка досліджуваного композиту пов'язана зі швидким формуванням самозмашувальних захисних плівок на робочих поверхнях завдяки зглаженому їх мікрорельєфу, що утворився внаслідок тонкого ельборового шліфування.

Завдяки тонкій фінішній ельборовій обробці скоротився час припрацьовування контактних поверхонь у 1,5–2 рази порівняно з литою латунню, яка застосовується у зазначених вузлах, що є наслідком утворення щільних самозмашувальних плівок, які забезпечують ефект перманентного змащування ділянок контакту, а це, у свою чергу, збільшує зносостійкість і стабілізує роботу вузла тертя друкарської машини.

Висновки

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

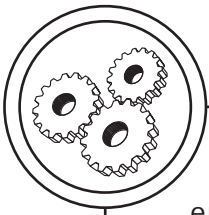
1. Вперше досліджено процес тонкого круглого ельборового шліфування нового самозмашувального композиційного матеріалу, одержаного з викорис-

танням цінної і дешевої сировини — регенованих шліфувальних відходів інструментальної високолегованої сталі 05X12Н6Д2МФСГТ, що відкриває широкі можливості одержання високоякісних і дешевих деталей тертя з нових композитів для поліграфічної техніки.

2. Показано, що на параметр шорсткості поверхні оброблення R_a чинять істотний вплив зернистість, матеріал зв'язки ельборового круга та режими тонкого ельборового шліфування.

3. Найкращі величини параметру шорсткості R_a, що відповідають високим вимогам до якості поверхонь деталей високооборотних вузлів тертя офсетних циліндрів друкарських машин, забезпечують шліфувальні круги з ельбору ЛО зернистістю 14–28 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці та тонкі режими різання, а саме:

— для зовнішнього круглого ельборового шліфування: швидкість абразивного круга — 30 м/с, швидкість виробу (деталі) — 30 м/хв., позовжня подача — 30 мм/об., глибина різання — 2 мкм;



— для круглого внутрішнього ельборового шліфування: швидкість круга — 40 м/с, швидкість виробу — 50 м/хв., поздовжня подача — 30 мм/об., глибина різання — 2 мкм.

4. Робочі поверхні нових самозмащувальних композитів, які були оброблені за визначеними режимами тонкого ельборового шліфування, сприяли швидкому утворенню на контактних ділянках щільних самозмащувальних плівок з твердим мастилом CaF_2 , і, як наслідок, забезпечили мінімізацію триботехнічних властивостей пари тертя.

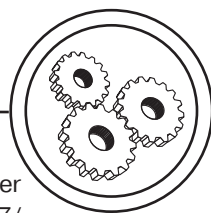
5. Високі параметри якості контактних поверхонь, які сформувались при тонкому круглому ельборовому шліфуванні, стали передумовою реалізації ефекту перманентного змащування ділянок контакту, що сприяло під-

вищенню зносостійкості, зменшило час припрацьовування і стабілізувало роботу вузла тертя офсетного циліндра.

6. Подальші дослідження будуть присвячені проведенню експериментів з встановлення закономірностей формування параметрів якості робочих поверхонь нових самозмащувальних композитних деталей тертя друкарських машин, зокрема, параметрів шорсткості та фізичних властивостей поверхневого шару у процесі прецизійної обробки із застосуванням різних шліфувальних інструментів, таких, як кругів на основі синтетичного алмазу та борозону, що стане передумовою для реалізації подальших кроків з підвищення зносостійкості деталей та вузлів такого типу і високообертової поліграфічної машини у цілому.

Список використаної літератури

1. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин: монографія / [П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, А. В. Шевчук та ін.]. К.: НТУУ КПІ. 2015, 428 с.
2. Шліфування і доводка зносостійких антифрикційних композитних деталей друкарських машин: монографія / [А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, П. О. Киричок, Ю. Ю. Віцюк, В. Г. Олійник]. ч. 3. К.: Видавничий дім «АртЕк», 2021. 202 с. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41909>.
3. Jamroziak K. New Antifriction Composite Materials Based On Tool Steel Grinding Waste / K. Jamroziak, T. Roik // WIT Transaction on Engineering Sciences, Volume 124, 2019: WIT-press, Material and Contact Characterisation IX, WIT Press Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, SO40 7AA, UK, Computational Mechanics International Inc 25 Bridge Street, Billerica, MA 01821, USA, pp. 151–159. DOI: 10.2495/MC190151.
4. Антифрикційний композиційний матеріал на основі інструментальної легованої сталі: пат. 128694 Україна: МПК (2018.01) C22C33/02 / Т. А. Роїк, Ю. Ю. Віцюк, О. А. Гавриш. Заявка № u201713010 від 28.12.2017. Опубл. 10.10.2018. Бюл. № 19. С. 4.
5. Композиційний зносостійкий матеріал: пат. 122870 Україна: МПК (2018.01) C22C 21/02/ Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк. Заявка № u 201708942 від 08.09.2017. Опубл. 25.01.2018. Бюл. № 2. С. 4.
6. Roik T. Tribotechnical Properties of Composite Materials Produced from ShKh15SG Steel Grinding Waste / T. Roik, O. Gavrysh, Iu. Vitsiuk // Powder



Metallurgy and Metal Ceramics: Springer Science + Business Media, LLC, Springer Nature 2019, New York: Volume 58(7), (2019), pp. 439–445, DOI 10.1007/s11106-019-00093w, First Online: 05 December 2019. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11106-019-00093-w>.

7. Роїк Т. А. Антифрикційний композиційний матеріал на основі шліфувальних відходів інструментальної сталі для деталей друкарських машин / Т. А. Роїк, Ю. Ю. Віцюк // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. 2019. Вип. 68. С. 79–85. DOI:10.36910/6775.24153966.2019.68.1.

8. Роїк Т. А. Структура і триботехнічні властивості композиційних антифрикційних матеріалів на основі відходів сталі P7M2Ф6 / Т. А. Роїк, Ю. Ю. Віцюк, О. І. Хмільярчук // Наукові Вісті КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2020. № 1. С. 54–60. DOI:10.20535/kpi-sn.2020.1.189200.

9. Фінішна алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів: монографія / [А. П. Гавриш, П. П. Мельничук]. Житомир: держ. технол. ун-т ЖДТУ, 2004. 551 с.

10. Гавриш А. П. Вплив складу інструменту і режимів тонкого ельборового шліфування на шорсткості поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, П. О. Киричок, О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Зб. наук. праць. Житомир: ЖДТУ. 2013. Вип. 14. С. 16–32.

11. Новиков М. В. Абразивні матеріали / М. В. Новиков // Енциклопедія Сучасної України: електрон. версія [веб-сайт] / гол. ред.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін.; ІНМ НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопед. досл. НАН України, 2006. Режим доступу: http://esu.com.ua/search_articles.php?id=42203.

12. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред. Н. В. Новикова и С. А. Клименко. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2014. 608 с. Режим доступу: <https://docplayer.ru/40252931-Instrumenty-iz-sverhtverdyh-materialov.html>.

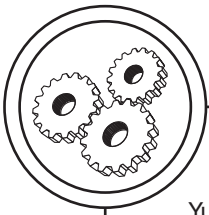
13. Основи теорії різання матеріалів / Мазур М. П. та ін.; за ред. М. П. Мазура. 3-є вид. перероб. і доп. Львів: Новий Світ, 2020. 472 с. Режим доступу: <http://ns2000.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/Osnovy-teorii-rizani-mater.pdf>.

14. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації: монографія / [Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш]. К.: НТУУ «КПІ», 2007. 404 с.

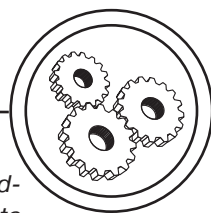
15. Roik T. Boundary conditions analysis of the possible use bushings made from copper composite materials for towing vehicle's chassis / T. Roik, O. Gavrish, Iu. Vitsiuk, O. Khmiliarchuk // Journal of Science of the Gen. Tadeusz Kościuszko Military Academy of Land Forces, Wrocław, Poland. 2018. Volume 187. № 1. pp. 140–149. DOI: 10.5604/01.3001.0011.7368.

References

1. Kyrychok, P. O. & Roik, T. A. & Havrysh, A. P. & Shevchuk, A. V. & etc. (2015). *Novitni kompozytsiini materialy detalei tertia polihrafichnykh mashyn [The Latest Composite Materials of Friction Parts of Printing Machines]*. Kyiv: NTUU KPI, 428 p. [in Ukrainian].



2. Havrysh, A. P. & Roik, T. A. & Havrysh, O. A. & Kyrychok, P. O. & Vitsiuk, Yu. Yu. & Oliinyk, V. H. (2021). *Shlifuvannia i dovodka znosostiikykh antyfryktsiynykh kompozytnykh detalei drukarskykh mashyn [Grinding and Finishing of Wear-Resistant Antifriction Composite Parts of Printing Machines]*. Part. 3. Kyiv: Vydavnychi dim 'ArtEk', 202 p. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41909> [in Ukrainian].
3. Jamroziak, K. & Roik T. (2019). New Antifriction Composite Materials Based On Tool Steel Grinding Waste. *WIT Transaction on Engineering Sciences*, Volume 124, 151–159. DOI: 10.2495/MC190151 [in English].
4. Roik, T. A. & Vitsiuk, Yu. Yu. & Havrysh, O. A. *Antyfryktsiyni kompozytsiyni material na osnovi instrumentalnoi lehovanoi stali [Antifriction Composite Material Based on Tool Alloy Steel]* // Patent 128694 UA. Publish 10.10.2018 [in Ukrainian].
5. Roik, T. A. & Havrysh, O. A. & Vitsiuk, Yu. Yu. *Kompozytsiyni znosostiiky material [Composite Wear-Resistant Material]* // Patent 122870 UA. Publish [in Ukrainian].
6. Roik, T. & Gavrysh, O. & Vitsiuk, Iu. (2019). Tribotechnical Properties of Composite Materials Produced from ShKh15SG Steel Grinding Waste. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics: Springer Science + Business Media*, Volume 58(7), 439–445. DOI 10.1007/s11106-019-00093w [in English].
7. Roik, T. A. & Vitsiuk, Yu. Yu. (2019). Antyfryktsiyni kompozytsiyni material na osnovi shlifovalnykh vidkhodiv instrumentalnoi stali dlia detalei drukarskykh mashyn [Antifriction Composite Material Based on Grinding Waste Tool Steel for Printing Machine Parts] *Mizhvuzivskyi zbirnyk 'Naukovi notatky'*, 68, 79–85. DOI:10.36910/6775.24153966.2019.68.1 [in Ukrainian].
8. Roik, T. A. & Vitsiuk, Yu. Yu. & Khmiliarchuk, O. I. (2020). Struktura i trybotekhnichni vlastyvoli kompozytsiynykh antyfryktsiynykh materialiv na osnovi vidkhodiv stali R7M2F6 [Structure and Tribotechnical Properties of Composite Antifriction Materials Based on P7M2F6 Steel Waste]. *Naukovi Visti KPI im. Ihoria Sikorskoho*, 1, 54–60. DOI:10.20535/kpi-sn.2020.1.189200 [in Ukrainian].
9. Havrysh, A. P. & Melnychuk, P. P. (2004). *Finishna almazno-abrazyvna obrobka mahnitnykh materialiv [Finishing Diamond-Abrasive Processing of Magnetic Materials]*. Zhytomyr: derzh. tekhnol. un-t. ZhDTU, 551 p. [in Ukrainian].
10. Havrysh, A. P. & Roik, T. A. & Kyrychok, P. O. & Havrysh, O. A. & Vitsiuk, Yu. Yu. (2013). Vplyv skladu instrumentu i rezhymiv tonkoho elborovoho shlifuvannia na shorstkist poverkhon kompozytnykh pidshypanykh kovzannia polihrachnykh mashyn [Influence of Tool Composition and Modes of Fine Elbor Grinding on Surface Roughness of Composite Plain Bearings of Printing Machines]. *Protsesy mekhanichnoi obrobky v mashynobuduvanni*, 14, 16–32 [in Ukrainian].
11. Novykov, M. V. (2006). Abrazyvni materialy [Abrasive Materials]. *Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy*. Retrieved from http://esu.com.ua/search_articles.php?id=42203 [in Ukrainian].
12. (2014). *Instrumenty iz sverkhtverdykh materialov [Superhard Tools]*. Moscow: Mashinostroenie, 608 p. Retrieved from <https://docplayer.ru/40252931-Instrumenty-iz-sverhtverdyh-materialov.html> [in Russian].
13. Mazur, M. P. & etc. (2020). *Osnovy teorii rizannia materialiv [Fundamentals of the Theory of Cutting Materials]*. Lviv: Novyi Svit, 472 p. Retrieved from <http://ns2000.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/Osnovy-teorii-rizan.mater.pdf> [in Ukrainian].



14. Roik, T. A. & Kyrychok, P. O. & Havrysh, A. P. (2007). *Kompozytsiini pidshyynkovi materialy dlia pidvyshchenykh umov ekspluatatsii [Composite Bearing Materials for Increased Operating Conditions]*. Kyiv: NTUU 'KPI', 404 p. [in Ukrainian].

15. Roik, T. & Gavrish, O. & Vitsiuk, Iu. & Khmiliarchuk, O. (2018). Boundary conditions analysis of the possible use bushings made from copper composite materials for towing vehicle's chassis. *Journal of Science of the Gen. Tadeusz Kościuszko Military Academy of Land Forces*, Volume 187, 1, 140–149. DOI: 10.5604/01.3001.0011.7368 [in English].

The article presents the experimental results on the formation of the roughness parameters Ra during fine circular elbor grinding of the working surfaces of composite self-lubricating parts based on 05H12N6D2MFSGT tool steel's industrial grinding waste with solid lubricant additives, designed to work in high-speed units of printing machines' offset cylinders; recommendations on the modes of elbor grinding were provided to ensure high quality parameters of the parts' working surfaces.

Key words: self-lubricating composite part; elbor grinding wheel; grinding modes; roughness; granularity; bond; wear resistance; units of printing machines.

Надійшла до редакції 17.03.21