УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.1
DOI: 10.20535/1810-0546.2016.2.61149

$\boxed{\text{А.П. Гавриш}}$, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, Р.А. Хохлова
Національний технічний університет України “КПІ”, Київ, Україна

# ВПЛИВ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТА І РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ТОНКОМУ ШЛІФУВАННІ ЗНОСОСТІЙКИХ НІКЕЛЕВИХ КОМПОЗИТІВ НА ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

**Background.** Study on the technological process of thin abrasive grinding of wear resistance composite parts, synthesized on the base of utilized and regenerated industrial wastes of nickel alloys ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП975 with additions of hard lubricant $CaF_2$ has been carried out.

**Objective.** The purpose of the work is the experimental research of processes of thin abrasive grinding of friction parts made of new composite materials based on nickel and identification of influence on the parameters of part surface roughness of the abrasive instrument type, its granularity and cutting modes.

**Methods.** Surface treatment of printing machines wear-resistant parts based on nickel by thin grinding on the plain-grinding, round-external-finishing and internal-grinding machines with grinding instruments made of chromium electrocorundum (33A) with granularity 14–28 μm on the glyphtal bond and application of thin cutting modes.

**Results.** It was show, that granularity, the abrasive instrument bond material and parameters of thin abrasive grinding essentially influence the parameters of surface roughness machining Ra. The best performance Ra parameters satisfy the grinding chromium electrocorundum 33A discs with granularity 14–28 μm on the glyphtal bond and thin cutting modes that meet the high requirements at work surfaces of friction parts for printing machines. Advantage of the surface machining with grinding chromium electrocorundum discs was shown.

**Conclusions.** Also it was demonstrated, that the formation of high quality parameters of details surface, made of new composite materials based on nickel essentially depends on the type of the abrasive instrument, cutting modes of composites and bond material. The recommendations on the production were developed.

**Keywords:** new composite materials; nickel alloy wastes; tool; friction parts; surface roughness; thin abrasive grinding; cutting modes.

## Вступ

Однією з найважливіших проблем при створенні новітніх зразків сучасної техніки для поліграфічних комплексів є забезпечення високих параметрів надійності, довговічності, зносостійкості та ремонтоздатності. Особливо гострим це питання є у випадках, коли деталі, вузли, механізми та в цілому виробниче обладнання працюють у жорстких режимах експлуатації: температурні навантаження у межах 850–900 °C, питомий тиск на деталі 7–8 МПа, агресивне навколишнє середовище (кисень повітря, виробничий пил з абразивною властивістю випаровування лаків та інших технологічних середовищ тощо).

У цих умовах забезпечити конкурентоспроможність нової техніки, зробити так, щоб нові поліграфічні комплекси були здатні задовольняти безперервно зростаючі потреби споживачів і, особливо, характеристики довговічності та зносостійкості, можливо за допомогою створення нових конструкційних матеріалів та широкого їх застосування при виготовленні деталей, насамперед деталей тертя, які на сьогодні здебільшого не здатні забезпечити безвідмовну довгострокову роботу техніки за жорстких умов експлуатації. Деталі тертя при цьому швидко виходять з ладу, збільшується кількість простоїв складного обладнання, істотно зростають витрати на поточні ремонти.

В останні роки вченими-металознавцями було створено нові високозносостійкі композиційні сплави, які синтезовані на основі використання утилізованих та регенерованих промислових відходів виробництва деталей із нікелевих матеріалів типу ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП929, ЭП975 та інших в електротехнічній, електронній, радіотехнічній та аерокосмічній галузях промисловості. Ці відходи є цінною та дешевою сировиною, але, на жаль, навіть на сьогодення здебільшого вивозяться у відвали і не використовуються у повторному циклі виробництва [1–7]. У складі цих відходів є гостродефіцитні для промисловості України матеріали, такі як вольфрам, ванадій, молібден, нікель, ніобій, титан, кобальт, іридій та інші. Створені нові композиційні матеріали пройшли всебічну перевірку, захищені патентами України і набули поширення при виготовленні деталей тертя (підшипників ковзання, циліндричних втулок пальців захоплювачів автооператорів, роликів конвеєрних систем, підтримувачів контактувальних пристроїв вузлів переадресації готової продукції) поліграфічних комплексів KBA Rapida-6+L-NN-L (шестикольорового з двома лакувальними секціями) фірми Kochig+Baner AG (ФРН), KBA Rapida 75-4 (ФРН), п'ятикольорових пристроїв Oce Arizona 6160-XTS Cannon (США), ножових різальних машин типу Wohlenberg Trim-tec 560 (ФРН), висікального обладнання для паперу та картону Drossertst-6 BO Mistral (ФРН) тощо.

Відомо, що зносостійкість деталей як одна із головних характеристик надійності обладнання істотно залежить від шорсткості поверхонь тертя деталей при їх взаємодії у складі машин і механізмів [7–14]. Параметри шорсткості поверхні формуються під час технологічних операцій її фінішної абразивної обробки [7, 15–22]. Нажаль, на сьогодення розгалужених досліджень технологічних процесів тонкого фінішного абразивного оброблення висколегованих зносостійких композитів на основі нікелю не проведено.

Усе це вимагає від науковців і практиків всебічно дослідити процеси тонкого абразивного шліфування підшипників ковзання із нових композиційних матеріалів на основі використання відходів нікелевих сплавів та на цій основі розробити типові технологічні процеси для галузі поліграфічного машинобудування, що ілюструє актуальність вибраної теми досліджень.

## Постановка задачі

Метою роботи є дослідження параметрів шорсткості поверхні при тонкому абразивному шліфуванні нових композиційних підшипників на основі відходів нікелевих сплавів ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ та ЭП975 з домішками твердого мастила (фториду кальцію $CaF_2$), а також встановлення впливу зернистості шліфувального круга, матеріалу зерна абразиву, типу зв'язки інструмента й основних режимів різання на якісні показники поверхонь оброблення підшипників ковзання.

## Матеріали і результати досліджень

Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної задачі виконувались згідно з методикою, наведеною в працях [7, 15, 23]. Проте шліфування нікелевих композитів має низку особливостей, які автори статті врахували при напрацюваннях з вивчення технологічних процесів тонкого абразивного шліфування нікелевих композитів ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ та ЭП975 (табл. 1).

По-перше, ці композиційні матеріали (за своїми характеристиками) належать до класу магнітом'яких сплавів, тобто вони здатні до перемагнічування при дії слабких магнітних полів і, таким чином, мають високу структурну чутливість. Як слідує з досліджень надтонкої обробки магнітних матеріалів [23–25], тонке шліфування деталей із них слід виконувати, застосовуючи абразивні круги з карбіду кремнію зеленого (63С) зернистістю М14–М28 на еластичних гліфталевих зв'язках Гл. Це дає змогу раціонально збалансувати силове і температурне поля, які виникають на лезі абразивного зерна інструмента при зрізанні надтонких стружок

***Таблиця* 1.** Фізико-механічні й антифрикційні властивості композитів на основі нікелю

| Властивості композита | Композит на основі сплавів нікелю | | |
|---|---|---|---|
| | ХН55ВМТКЮ | ХН50ВТФКЮ | ЭП975 |
| Межа міцності на розтяг, МПа | 670 | 660 | 640 |
| Твердість, МПа | 850 | 860 | 830 |
| Ударна в'язкість, кДж/м$^2$ | 815 | 820 | 850 |
| Коефіцієнт тертя при 5 МПа | 0,27* | 0,29** | 0,31** |
| Інтенсивність зношування при 5 МПа | 72* | 70* | 65* |
| Гранична температура, °С | 880 | 890 | 850 |
| Граничне навантаження, МПа | 8,5 | 8,6 | 8,2 |
| Початкова магнітна проникність, Гс/Е | 10000 | 9000 | 11000 |
| Максимальна магнітна проникність, Гс/Е | 50000 | 55000 | 58000 |
| Коерцитивна сила, А/м | 0,0050 | 0,0055 | 0,0060 |
| Питомий електричний опір, Ом·мм$^2$/м | 0,70 | 0,72 | 0,71 |

*Примітки.* * – випробовування за 100 °С; ** – випробовування за 250 °С; змащування індустріальним мастилом І-20 у парі з контртілом зі сталі 45 (45-48HRC).

з перерізом $a_z$. Завдяки найбільшій гостроті (мінімальні значення кута різання і радіуса при вершині зерна) ріжучих зерен карбіду кремнію зеленого порівняно з іншими абразивами, наприклад електрокорундом білим 32А чи монокорундом 43А, вдається істотно знизити складові сили різання та рівень миттєвих контактних температур шліфування і, таким чином, досягти мінімальних значень параметра шорсткості поверхні $R_a$ та спотворень поверхневого шару поверхонь оброблення деталей зі структурно-чутливих магнітом'яких сплавів, зокрема пермалоєвого ласу 79НМ, 80НХС, 81НМТ, Mu-metal, Supermaloy, Sinko системи "нікель–залізо–хром–молібден–іридій".

Проте ці закономірності (при обробці легованих вольфрамом, титаном, ванадієм, ніобієм та іридієм нікелевих композитів [5, 6]) не підтверджуються. На перший план виходять фактори тертя і адгезії в зоні зрізання стружок різних за своєю фізичною суттю матеріалів – високолегованого композита на основі нікелю і матеріалу, з якого виготовлені абразивні зерна шліфувального круга.

Попередніми дослідженнями авторів статті [26, 27] було доведено, що мінімальне тертя і адгезію при абразивній обробці композитів на основі нікелю забезпечують шліфувальні круги з електрокорунду хромистого (33А) з вмістом у складі абразиву 1,8–2,0 % оксиду хрому CrO. Ця обставина є вирішальною при виборі інструмента для оброблення, бо внаслідок мінімальної адгезії частинки мікростружок не налипають на ріжучу кромку абразивного зерна, не збільшують кута при вершині зерна та радіуса його заокруглення і, таким чином, сприяють збереженню необхідної гостроти абразивного зерна. Отже, вдається істотно подовжити гостроту ріжучого інструмента і, як результат, отримати найкращі параметри якості поверхні оброблення композитної сталі.

У зв'язку з цим усі дослідження технологічного процесу тонкого абразивного шліфування композитів на основі нікелю здійснювались із застосуванням шліфувальних кругів з електрокорунду хромистого 33А.

По-друге, унаслідок того, що нікелеві композити належать до класу структурно-чутливих магнітом'яких матеріалів, для яких характерним є стан, коли під дією навіть незначних навантажень відбуваються структурні руйнації у поверхневих шарах деталі оброблення, було визнано за доцільне виконувати тонке абразивне шліфування нікелевих композитів за мінімально можливих для верстатного обладнання режимів різання. Це повністю узгоджується з фундаментальними працями з теорії абразивного оброблення, рекомендації яких обґрунтовують можливість отримання найліпших показників якості поверхонь оброблення при їх шліфуванні з надтонкими, фінішно-оздоблювальними режимами різання [15–25].

Результати експериментальних досліджень наведені в табл. 2–4.

Аналіз даних табл. 2 показує, що параметр шорсткості $R_a$ змінюється зі зміною режимних факторів оброблення – глибини шліфування, поперечної та поздовжньої подач.

***Таблиця 2.*** Параметр шорсткості $R_a$ при тонкому плоскому шліфуванні підшипникового композиційного сплаву ХН55ВМТКЮ

| Поперечна подача $S_{поп}$, мм/подв. хід | Швидкість виробу $V_в$, м/хв | Глибина шліфування $t$, мм | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 0,001 | 0,002 | 0,005 |
| | | $R_a$, мкм | | |
| 0,1 | 1 | 0,190 | 0,240 | 0,410 |
| | 3 | 0,200 | 0,260 | 0,450 |
| | 5 | 0,230 | 0,280 | 0,490 |
| 0,2 | 1 | 0,310 | 0,390 | 0,520 |
| | 3 | 0,340 | 0,410 | 0,550 |
| | 5 | 0,390 | 0,430 | 0,610 |
| 0,3 | 1 | 0,430 | 0,520 | 0,700 |
| | 3 | 0,450 | 0,540 | 0,750 |
| | 5 | 0,480 | 0,570 | 0,790 |
| 0,5 | 1 | 0,520 | 0,670 | 0,830 |
| | 3 | 0,550 | 0,710 | 0,900 |
| | 5 | 0,670 | 0,780 | 0,970 |

*Примітки.* Верстат – FF-350 "Abawerk" (ФРН); абразив – 33АМ14СМ1Гл на гліфталевій зв'язці; швидкість круга – 22 м/с; обробка – без охолодження.

Обробка експериментів за допомогою статистичних методів, зокрема із застосуванням методу Стьюдента, для випадку залежних змінних оброблених зразків за фіксованих значень двох варіюючих величин (наприклад, $V_в$, $t$) та змінної третьої величини (наприклад, $S_{поп}$) [28, 29] показала, що досліджені сукупності суттєво різні.

Аналогічні результати отримані при порівнянні будь-яких вибірок для подач 0,1–1,0 мм/подв. хід та швидкостей 2–10 м/хв. До речі, зі збільшенням різниці між подачами порівнюваних вибірок і різниці між швидкостями відмінності між табличним та розрахунковим розподілом Стьюдента зростають. Це дає змогу зробити висновок, що існує зв'язок між параметром шорсткості поверхні $R_\text{а}$ та глибиною різання $t$:

$$R_\text{а} = f(t),\ S_\text{поп} = \text{const},\ V_\text{в} = \text{const}.$$

Використовуючи методи математичної статистики, неважко показати, що існує зв'язок між параметром $R_\text{а}$ та поперечною подачею $S_\text{поп}$:

$$R_\text{а} = f(S_\text{поп}),\ V_\text{в} = \text{const},\ t = \text{const}.$$

Аналогічний статистичний зв'язок існує між параметром шорсткості $R_\text{а}$ та швидкістю $V_\text{поп}$:

$$R_\text{а} = f(V_\text{в}),\ V_\text{поп} = \text{const},\ t = \text{const}.$$

Дослідження фактичного зв'язку між шорсткістю поверхні та режимними факторами шліфування методами кореляційного аналізу дало змогу встановити кількісні співвідношення між досліджуваними факторами.

Для отримання рівняння множинної кореляції на основі наведених експериментальних даних були знайдені коефіцієнти кореляції парних залежностей:

$$R_\text{а}\text{–}t;\ R_\text{а}\text{–}S_\text{поп};\ R_\text{а}\text{–}V_\text{в};\ S_\text{поп}\text{–}V_\text{в};\ S_\text{поп}\text{–}t;\ t\text{–}V_\text{в}.$$

Проведені розрахунки показують, що між факторами $R_\text{а}$, $S_\text{поп}$, $V_\text{в}$, $t$ існує тісний лінійний зв'язок. Формальний математичний аналіз показує, що між факторами $S_\text{поп}\text{–}t$, $t\text{–}V_\text{в}$, $S_\text{поп}\text{–}V_\text{в}$ зв'язок відсутній, хоча це видно із загальних технічних міркувань. Отримані коефіцієнти кореляції $r_\text{к}$ далекі від одиниці. Це свідчить про те, що, крім цього фактора (для якого визначено $r_\text{к}$), на $R_\text{а}$ впливають й інші фактори. Значення коефіцієнтів кореляції вказує на ступінь впливу на шорсткість поверхні досліджуваних факторів.

Найбільший вплив на параметр шорсткості $R_\text{а}$ чинять глибина різання $t$ та поперечна подача $S_\text{поп}$, найменше – швидкість випробу $V_\text{в}$.

Рівняння множинної кореляції для досліджуваних факторів має вигляд

$$R_\text{а} = 0,255S_\text{п} + 4,9t + 0,005V_\text{в} - 0,053. \quad (1)$$

Розраховані за формулою (1) значення $R_\text{а}$ відрізняються від експериментальних на 12–15 %, що дає змогу використовувати формулу (1) в практичних розрахунках. Наприклад, знаючи конкретні значення $S_\text{п}$, $t$, $V_\text{в}$ для певного абразивного інструмента, можна орієнтовно визначити, яким буде параметр $R_\text{а}$ та оцінити (з точки зору вимог, що висуваються до підшипників) прийнятність вибраних режимів шліфування.

Слід зазначити, що отримані висновки підтверджуються також при тонкому абразивному шліфуванні кругами зернистістю М50, М28, М14, М7 з електрокорунду білого (25А), карбіду кремнію зеленого (63С) та монокорунду (43А). Відповідні експериментальні дані наведені в табл. 3.

***Таблиця 3.*** Вплив матеріалу зерна і зернистості інструмента на $R_a$ при тонкому плоскому шліфуванні заготовок композиційних підшипників на основі відходів нікелю

| Характеристика абразивного інструмента | Матеріал зразків | | |
|---|---|---|---|
| | ХН55ВМТКЮ | ХН50ВТФКЮ | ЭП975 |
| | $R_\text{а}$, мкм | | |
| 33А5Гл | 0,590 | 0,610 | 0,650 |
| 25А5Гл | 0,650 | 0,635 | 0,675 |
| 63СМ28Гл | 0,310 | 0,300 | 0,320 |
| 33АМ28Гл | 0,250 | 0,270 | 0,280 |
| 43АМ28Гл | 0,330 | 0,350 | 0,370 |
| 63СМ7Гл | 0,170 | 0,160 | 0,180 |
| 33АМ7Гл | 0,110 | 0,120 | 0,135 |

*Примітки.* Верстат – FF-350 "Abawerk" (ФРН); режими шліфування: швидкість круга – 22 м/с; швидкість виробу – 1 м/хв; поперечна подача – 0,1 мм/подв. хід; глибина різання – 0,001 мм; обробка – без охолодження.

Аналіз даних табл. 3 дає змогу зробити суттєві практичні висновки: найменшу шорсткість поверхні у досліджуваному діапазоні зернистості інструмента (7–50 мкм) забезпечує абразив зернистістю 7 мкм, а серед розглянутої гами матеріалів зерна найкращі результати забезпечують абразиви з електрокорунду хромистого 33АМ7Гл-33АМ28Гл із вмістом у складі абразиву близько 2 % оксиду хрому CrO. Ці результати можуть бути пояснені загальними положеннями теорії шліфування.

Дійсно, збільшення шорсткості поверхонь зі зростанням зернистості зумовлюється збільшенням перерізу $a_z$ зрізу шару металу. Покращення шорсткості для інструментів з абразивів на основі електрокорунду хромистого 33А може бути пояснено (як відзначалось вище) лише збереженням гостроти ріжучих поверхонь абразивних зерен унаслідок зменшення адгезійних явищ і коефіцієнта тертя абразиву по поверхні нікелевого композиту при зрізанні стружок, а отже, і зменшенням налипання мікрочастинок оброблюваного композиційного сплаву на ріжучу кромку зерна з відповідною мінімізацією кута загострення при вершині та радіуса її заокруглення.

У результаті математичної обробки експериментальних даних було отримано кореляційне рівняння зв'язку параметра шорсткості $R_a$ із зернистістю $A$ абразивного інструмента з електрокорунду хромистого (33А):

$$R_{\text{a}} = 0,007A - 0,0085\,. \qquad (2)$$

Таким чином, знаючи зернистість шліфувального круга $A$, можна розрахувати параметр шорсткості $R_a$ і впевнитись у тому, що вибраний інструмент забезпечить вимоги до якості робочих поверхонь підшипників ковзання. Це значно спрощує зусилля технологів-практиків при раціональному виборі шліфувального інструмента під час проектування технологічних процесів.

Суттєвим питанням є і те, як впливає склад зв'язки абразивного круга на параметр шорсткості поверхні $R_a$ (табл. 4). Слід зауважити, що основні експерименти проводились на зразках композитів, отриманих на основі відходів нікелевих сплавів ХН55ВМТКЮ з домішками твердого мастила $CaF_2$, і дещо обмежена кількість дослідів виконувалася на зразках композитів ХН50ВТФКЮ та ЭП975 (для встановлення загальних закономірностей).

Аналіз даних табл. 4 дає підстави стверджувати, що найкращі значення параметрів шорсткості $R_a$ поверхонь оброблення деталей із нових композиційних сплавів на основі інструментальних сталей забезпечують інструменти на гліфталевій зв'язці, що можна пояснити її більшою еластичною здатністю. Таким чином, при шліфуванні (під час врізання абразивного зерна у метал) під дією складових сил різання кожне зерно начебто демпфується в напрямку пружно-еластичного середовища зв'язки. Це зумовлює фактичне зменшення глибини різання. Отже, змінюються умови формування шорсткості поверхні оброблення, і, як наслідок, зменшується параметр шорсткості $R_a$, який є одним із найголовніших факторів, що характеризує якість поверхні після тонкого абразивного шліфування.

Слід зауважити, що ці висновки зроблені на підставі аналізу фактичних даних, отриманих під час експериментального дослідження із застосуванням широкої гами зв'язок (гліфталевої, керамічної, бакелітової), матеріалів зерна шліфувального круга (карбіду кремнію зеленого, електрокорунду хромистий, монокорунду) та зернистостей абразиву (50, 28 і 14 мкм).

***Таблиця* 4.** Вплив матеріалу зв'язки абразиву на параметр шорсткості обробленої поверхні $R_a$ зразків із композитів на основі відходів нікелевого сплаву ХН55ВМТКЮ при плоскому шліфуванні

| Характеристика абразивного інструмента | Матеріал зв'язки круга | Параметр шорсткості $R_a$, мкм |
|---|---|---|
| 33А5Гл | Гліфталева | 0,590 |
| 33А5К | Керамічна | 0,670 |
| 63СМ28Гл | Гліфталева | 0,310 |
| 33АМ28Гл | Гліфталева | 0,250 |
| 33АМ14Гл | Гліфталева | 0,200 |
| 63СМ14Гл | Гліфталева | 0,270 |
| 33АМ7Гл | Гліфталева | 0,110 |
| 63СМ7Гл | Гліфталева | 0,170 |
| 33АМ7К | Керамічна | 0,180 |

*Примітки.* Верстат — FF-350 "Abawerk" (ФРН); режими різання: швидкість круга — 22 м/с; швидкість виробу — 1 м/хв; поперечна подача — 0,1 мм/подв. хід; глибина різання — 0,001 мм; шліфування — без охолодження.

Беручи до уваги те, що фізичні явища у процесі різання металів принципово подібні для плоского, зовнішнього круглого та внутрішнього шліфування, експериментальне дослідження процесів зовнішнього круглого і внутрішнього шліфування композиційних підшипникових сплавів на основі відходів нікелю виконували з урахуванням наведених вище результатів. Зокрема, для дослідів використовувались абразивні інструменти на основі електрокорунду хромистого (33А) зернистістю 14—28 мкм, які сформовані у шліфувальні круги гліфталевою зв'язкою.

Зазначимо, що зовнішнє кругле шліфування виконувалось на прецизійному верстаті AS-250 "Werkzojt" (ФРН), а для внутрішнього шліфування застосовувався прецизійний внутрішньошліфувальний верстат надвисокої точності SS-125 "Studder" (Швейцарія).

Основні результати досліджень наведені на рис. 1, 2.

Аналіз експериментів (див. рис. 1) показує, що на шорсткість поверхонь деталей із нових композиційних матеріалів при зовнішньо-

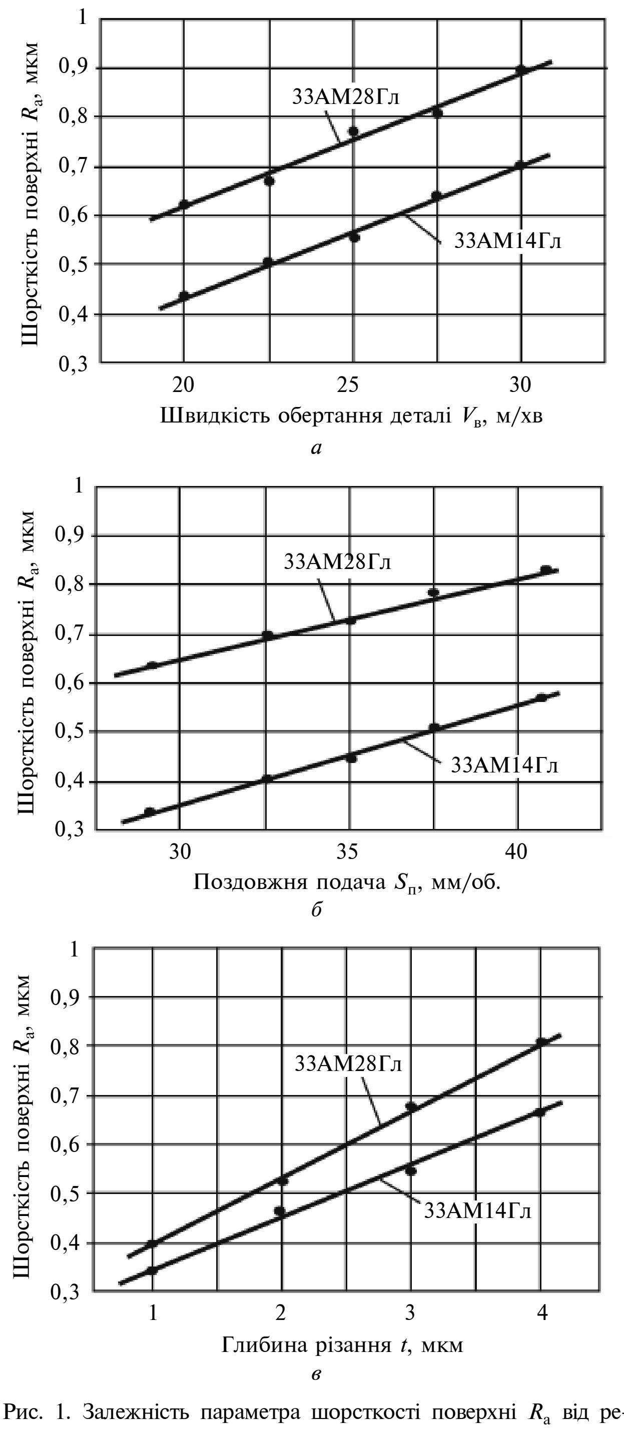


Рис. 1. Залежність параметра шорсткості поверхні $R_a$ від режимів шліфування $S_п$, $V_в$, $t$ при зовнішньому круглому шліфуванні композитів на основі нікелю (швидкість абразивного круга – 30 м/с): *а* – $S_п$ = = 30 мм/об; $t$ = 1 мкм; *б* – $V_в$ = 20 м/хв; $t$ = 1 мкм; *в* – $V_в$ = 20 м/хв; $S_п$ = 30 м/об

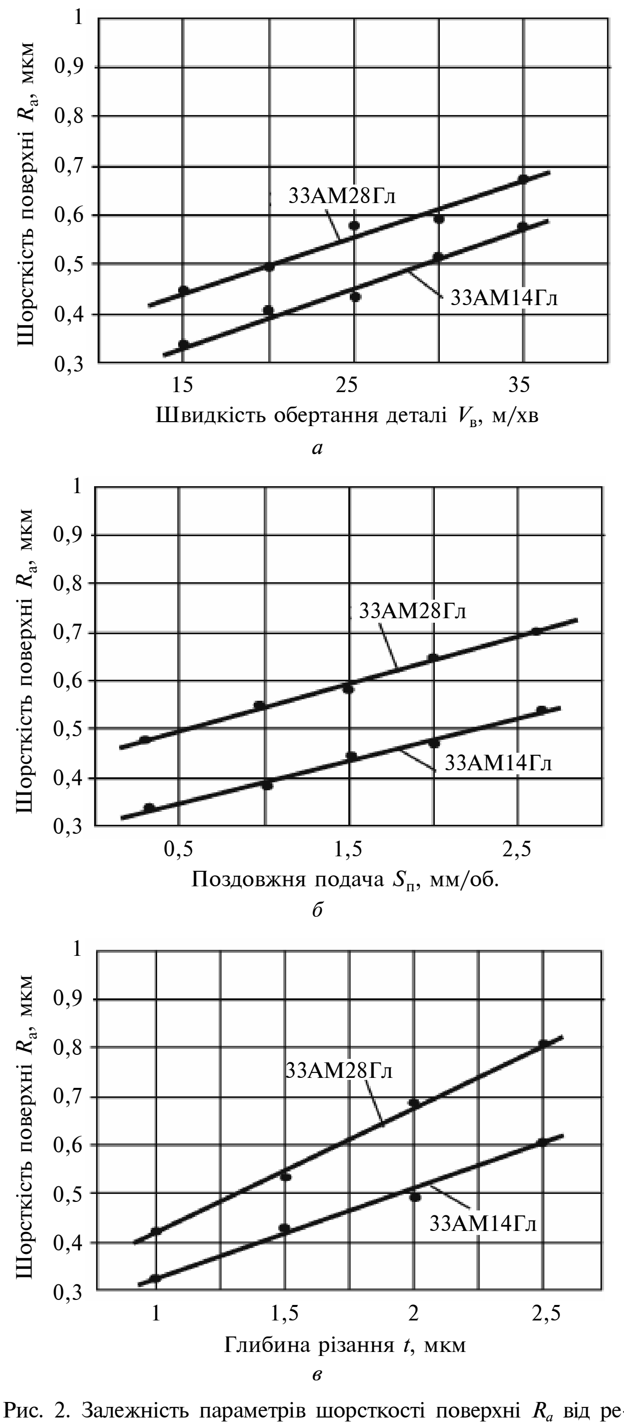


Рис. 2. Залежність параметрів шорсткості поверхні $R_a$ від режимів шліфування $S_п$, $V_в$, $t$ при тонкому круглому внутрішньому шліфуванні композитів на основі нікелю (швидкість абразивного круга – 35 м/с): *а* – $S_п$ = 0,5 м/хв; $t$ = 1 мкм; *б* – $V_в$ = 15 м/хв; $t$ = 1 мкм; *в* – $V_в$ = 15 м/хв; $S_п$ = 0,5 м/хв

му круглому шліфуванні (як і при плоскому абразивному шліфуванні) істотно впливають режими різання: швидкість виробу $V_в$, поздовжня подача $S_п$ та глибина різання $t$, а також розмір зерна абразиву, матеріал зерна та склад зв'язки абразивного інструмента.

Аналогічно з плоским шліфуванням найкращу якість оброблених зовнішніх поверхонь композитних циліндричних деталей (за параметром шорсткості $R_а$) забезпечує тонке абразивне кругле шліфування з використанням шліфувальних кругів з електрокорунду хромистого (33А) із вмістом у складі абразиву до 2 % оксиду хрому (CrO) зернистістю 14–28 мкм (М14–М28) на еластичній гліфталевій зв'язці (Гл) та із застосуванням тонких режимів різання ($V_в \to \min$; $S_п \to \min$; $t \to \min$).

Схожі результати отримані при тонкому круглому внутрішньому абразивному шліфуванні робочих поверхонь тертя підшипників ковзання з нових композиційних сплавів на основі відходів нікелю.

Результати експериментів наведені на графіках (див. рис. 2).

Аналіз рис. 2 показує, що при застосуванні для прецизійного внутрішнього шліфування деталей із нових композиційних сплавів на основі відходів нікелю з використанням для оброблення абразивних кругів на основі електрокорунду хромистого (33А) зернистістю 14–28 мкм на гліфталевій зв'язці найбільше впливають на параметр шорсткості поверхні $R_а$ глибина різання $t$, поздовжня подача $S_п$ та швидкість обертання деталі $V_в$.

Найкращі результати за параметром $R_а$ (тобто отримання мінімальної шорсткості поверхні) забезпечують тонкі режими абразивного шліфування, а саме мінімальні можливі (з точки зору технічних можливостей верстата) режими різання – глибина шліфування, поздовжня подача та швидкість обертання деталі.

## Висновки

Узагальнюючи комплекс виконаних досліджень, необхідно зробити важливі як наукові, так і практичні висновки.

Уперше досліджено питання абразивного оброблення нових композиційних матеріалів, синтезованих на основі утилізованих та регенерованих відходів нікелевих сплавів.

Показано, що основні закономірності тонкого прецизійного шліфування нових композиційних сплавів збігаються при плоскому, круглому зовнішньому та внутрішньому шліфуванні.

Доведено, що на параметр якості поверхні оброблення $R_а$ суттєво впливають матеріал зерна абразиву, його зернистість, матеріал зв'язки абразивного круга та режими шліфування.

Найкращі показники параметра $R_а$, які забезпечують вимоги до поверхонь тертя деталей поліграфічних машин, забезпечують шліфувальні круги з електрокорунду хромистого зернистістю 14–28 мкм на гліфталевій зв'язці та тонкі режими різання, а саме:

– для плоского шліфування: швидкість круга – 22 м/с, поздовжня подача – 1–3 м/хв, поперечна подача – 0,1 мм/подв. хід; глибина різання – 1–3 мкм;

– для зовнішнього круглого шліфування: швидкість абразивного круга – 35 м/с, швидкість виробу (деталі) – 20 м/хв, поздовжня подача – 30 мм/об, глибина різання – 1 мкм;

– для круглого внутрішнього шліфування: швидкість круга – 35 м/с, швидкість виробу – 15 м/хв, поздовжня подача – 0,5 мм/об, глибина різання – 1 мкм.

Подальші дослідження доцільно виконувати, вивчаючи формування параметрів шорсткості поверхонь оброблення $R_а$ при тонкому абразивному шліфуванні інших антифрикційних матеріалів, таких як диборид титану, композитів типу сапоніт титану та сапоніт алюмінію, порошкових сплавів на основі гібриду титану та боридів цирконію.

## Список літератури


1. *Косторнов А.Г.* Триботехническое материаловедение. – Луганск: Ноули, 2012. – 701 с.
2. *Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысельский И.Д.* Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения. – К.: Наук. думка, 1985. – 624 с.
3. *Лебенсон Г.А.* Производство порошковых изделий. – М.: Металлургия, 1990. – 240 с.
4. *Федорченко И.М., Пугина Л.И.* Композиционные спеченные антифрикционные материалы. – К.: Наук. думка, 1980. – 404 с.
5. *Роїк Т.А., Киричок П.О., Гавриш А.П.* Композиційні підшипникові матеріали для підвищення умов експлуатації. – К.: ВПК "Політехніка", 2007. – 404 с.
6. *Новітні* композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Ю.Ю. Віцюк. – К.: ВПК "Політехніка", 2014. – 427 с.
7. *Технологія* поліграфічного машинобудування / П.О. Киричок, Т.А. Роїк, А.В. Шевчук та ін. – К.: НТУУ "КПІ", 2014. – 504 с.

8. *Надежность* и долговечность машин / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский, А.К. Караулов. – К.: Техніка, 1975. – 408 с.
9. *Костецкий Б.И.* Основные вопросы теории трения и изнашивания деталей машин. – М.: Машгиз, 1955. – 152 с.
10. *Костецкий Б.И.* Поверхностная прочность материалов при трении. – К.: Наук. думка, 1982. – 126 с.
11. *Крагельский И.В.* Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 478 с.
12. *Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.* Основы расчетов та трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
13. *Рыжов Э.В.* Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – К.: Наук. думка, 1984. – 340 с.
14. *Рыжов Э.В.* Контактная жесткость деталей машин. – К.: Наук. думка, 1987. – 320 с.
15. *Киричок П.О., Роїк Т.А., Гавриш А.П.* Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин. – К.: ВПК "Політехніка", 2014. – 404 с.
16. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов. – М.: Машиносторение, 1974. – 320 с.
17. *Основи* теорії різання матеріалів / За заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ, 2010. – 423 с.
18. *Ящерицын П.И.* Прогрессивная технология финишной обработки деталей. – Минск: Беларусь, 1989. – 312 с.
19. *Инструменты* из сверхтвердых материалов / Под. ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 607 с.
20. *Лавриненко В.І., Новіков М.В.* Надтверді абразивні матеріали в механообробні. – К.: Вид-во ІНМ НАНУ, 2013. – 456 с.
21. *Сверхтвердые* материалы. Получение и применение. В 6 т. / Под общ. ред. Н.В. Новикова. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАНУ, 2007. – Т. 6. Алмазно-абразивный инструмент в технологиях обработки / Под ред. А.А. Шепелева. – 340 с.
22. *Эльбор* в машиностроении / Под ред. В.С. Лысанова. – М.: Машиностроение, 1978. – 280 с.
23. *Гавриш А.П., Мельничук П.П.* Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 652 с.
24. *Гавриш А.П.* Шлифование и доводка магнитных материалов. – Л.: Машиностроение, 1985. – 118 с.
25. *Обеспечение* качества поверхностей деталей из магнитномягких сплавов прецизионной доводки: Монографія / Т.А. Роик, П.О. Киричок, А.П. Гавриш и др. – К.: ВПК "Політехніка", 2013. – 233 с.
26. *Вплив* фізико-механічних властивостей абразивних матеріалів на процес шліфування високолегованих композитів для поліграфічних машин / А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок та ін. // Технологія і техніка друкарства. – 2015. – № 3 (49). – С. 72–84.
27. *Оптимізація* вибору абразивних матеріалів для шліфування зносостійких деталей з легованих титаном композитів для технологічних комплексів / А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, О.І. Лотоцька, В.Г. Олійник // Технологічні комплекси. – Луцьк: Вид-во Луцьк. нац. техн. ун-ту, 2014. – № 2 (10). – С. 148–153.
28. *Кутай А.К., Кордонський Х.Б.* Анализ точности и контроль качества в машиностроении. – М.: Машгиз, 1958. – 366 с.
29. *Кутай А.К.* Теория вероятности и математическая статистика. Приборостроение и средства автоматики. Т. 1. – М.: Машгиз, 1963. – 412 с.

## References

1. A. Kostornov, *Tribotechnical Material Science*. Lugansk, Ukraine: Nouly, 2012, 701 p. (in Russian).
2. I. Fedorchenko *et al.*, *Powder Metallurgy. Materials, Technology, Properties, Ranges of Application*. Kyiv, USSR: Naukova Dumka, 1985, 624 p. (in Russian).
3. G. Lebenson, *Production of Powder Parts*. Moscow, USSR: Metallurgia, 1990, 240 p. (in Russian).
4. I. Fedorchenko *et al.*, *Sintered Composite Antifriction Materials*. Kyiv, USSR: Naukova Dumka, 1980, 404 p. (in Russian).
5. T. Roik *et al.*, *Composite Bearing Materials for Service Condition Increase*. Kyiv, Ukraine: Politekhnica, 2007, 404 p. (in Ukrainian).
6. T. Roik *et al.*, *New Composite Materials for Printing Machines Friction Parts*. Kyiv, Ukraine: Politekhnica, 2014, 427 p. (in Ukrainian).
7. P. Kyrychok *et al.*, *Printing Production Technology*. Kyiv, Ukraine: Politekhnica, 2014, 504 p. (in Ukrainian).
8. B. Kostetsky *et al.*, *Reliability and Longevity of Machines*. Kyiv, USSR: Technica, 1975, 408 p. (in Russian).
9. B. Kostetsky, *Fundamental Questions at Theory of Friction and Wearing the Parts of Machine*. Moscow, USSR: Mashgiz, 1955, 152 p. (in Russian).
10. B. Kostetsky *et al.*, *Surface Strength of Materials at Friction*. Kyiv, USSR: Naukova Dumka, 1982, 126 p. (in Russian).
11. I. Kragelsky *et al.*, *Friction and Wearing*. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 1968, 478 p. (in Russian).
12. I. Kragelsky *et al.*, *Foundations Analysis on the Friction and Wearing*. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 1977, 526 p. (in Russian).

13. E. Rizhov, *Technological Methods for Machine Parts Durability Improvement*. Kyiv, USSR: Naukova Dumka, 1984, 340 p. (in Russian).
14. E. Rizhov, *Contact Rigidity of Machine Parts*. Kyiv, USSR: Naukova Dumka, 1987, 320 p. (in Russian).
15. P. Kyrychok *et al.*, *Finishing Processing of Printing Machine Wear-Resistant Parts*. Kyiv, Ukraine: Politekhnica, 2014, 404 p. (in Ukrainian).
16. E. Maslov, *Material Grinding Theory*. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 1974, 320 p. (in Russian).
17. M. Mazur *et al.*, *Basic Theory of Cutting Materials*. Lviv, Ukraine: Novyj Svit, 2010, 423 p. (in Ukrainian).
18. P. Yascheritsyn, *Advanced Technology of Parts Finishing Processing*. Minsk, USSR: Belarus, 1989, 312 p. (in Russian).
19. N. Novikov *et al.*, *Tools of Superhard Materials*. Moscow, Russia: Mashinostroenie, 2014, 607 p. (in Russian).
20. V. Lavrinenko and N. Novikov, *Super Hard Abrasives in Machines*. Kyiv, Ukraine: ISM of NAIU, 2013, 456 p. (in Ukrainian).
21. *Super Hard Material Tools*, N. Novikov and S. Klimenko, Eds. Moscow, Russia: Mashinostroenie, 2014, 607 p. (in Russian).
22. *Elbor in Mechanical Engineering*, V. Lysanov, Ed. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 1978, 280 p. (in Russian).
23. A. Gavrish and P. Melnychuk, *Diamond-Abrasive Treatment of Magnetic Materials*. Zhytomyr, Ukraine: ZDTU, 2003, 652 p. (in Ukrainian).
24. A. Gavrish, *Grinding and Finishing of Magnetic Materials*. Leningrad, USSR: Mashinostroenie, 1985, 118 p. (in Russian).
25. T. Roik *et al.*, *Quality Ensuring of Magnetically soft Alloys Parts' Surfaces of Precision Finishing*. Kyiv, Ukraine: Politekhnica, 2013, 233 p. (in Russian).
26. A. Gavrish *et al.*, "Influence of physical and mechanical properties of abrasive materials on the grinding process of high-alloy composites for printing machines", *Technology and Printing Technology*, no. 3 (49), pp. 72–84, 2015 (in Ukrainian).
27. A. Gavrish *et al.*, "Optimization choices of abrasive materials for high-resistant composites grinding for technological complexes", *Technological Complexes*, no. 2 (10), pp. 148–153, 2014 (in Ukrainian).
28. A. Kutaj and G. Kordonskij, *Accuracy Analysis and Control Quality in Machine Building*. Moscow, USSR: Mashgiz, 1958, 366 p. (in Russian).
29. A. Kutaj, *Probability Theory and Mathematical Statistics*, vol. 1. Moscow, USSR: Mashgiz, 1963, 412 p. (in Russian).

А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, Р.А. Хохлова

ВПЛИВ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТА І РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ТОНКОМУ ШЛІФУВАННІ ЗНОСОСТІЙКИХ НІКЕЛЕВИХ КОМПОЗИТІВ НА ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

**Проблематика.** Дослідження технологічного процесу тонкого абразивного шліфування деталей зі зносостійких композиційних матеріалів, синтезованих на основі використання утилізованих і регенерованих відходів виробництва з нікелевих сплавів ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП975 з домішками твердого мастила $CaF_2$.

**Мета дослідження.** Експериментальне дослідження процесів тонкого абразивного шліфування деталей тертя з нових композиційних матеріалів на основі нікелю та встановлення впливу на параметри шорсткості поверхні деталі типу абразивного інструмента, його зернистості та режимів різання.

**Методика реалізації.** Обробка поверхонь деталей тертя поліграфічних машин зі зносостійких композитів на основі нікелю тонким шліфуванням на плоско-, кругло- і внутрішньошліфувальних верстатах шліфувальними інструментами з електрокорунду хромистого (33А) зернистістю 14–28 мкм на гліфталевій зв'язці та із застосуванням тонких режимів різання.

**Результати дослідження.** Встановлено, що на параметр шорсткості поверхні оброблення $R_a$ суттєво впливають зернистість, матеріал зв'язки абразивного круга та режими тонкого абразивного шліфування. Найкращі показники $R_a$, які задовольняють високі вимоги до робочих поверхонь деталей тертя поліграфічних машин, забезпечують шліфувальні круги з електрокорунду хромистого 33А зернистістю 14–28 мкм на гліфталевій зв'язці та тонкі режими різання. Показано переваги обробки поверхонь кругами з електрокорунду хромистого.

**Висновки.** Доведено, що формування високої якості поверхонь деталей, які виготовлені з нових композиційних матеріалів на основі нікелю, суттєво залежить від типу абразивного інструмента, режимів різання композитів та матеріалу зв'язки. Розроблено рекомендації для виробництва.

**Ключові слова:** нові композиційні матеріали; відходи нікелевих сплавів; інструмент; деталі тертя; шорсткість поверхні; тонке абразивне шліфування; режими різання.

А.П. Гавриш, Т.А. Роик, П.А. Киричок, Р.А. Хохлова

ВЛИЯНИЕ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОНКОМ ШЛИФОВАНИИ ИЗНОСОСТОЙКИХ НИКЕЛЕВЫХ КОМПОЗИТОВ НА ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИН

**Проблематика.** Исследование технологического процесса тонкого абразивного шлифования деталей из износостойких композиционных материалов, синтезированных на основе использования утилизированных и регенерированных отходов производства из никелевых сплавов ХН55ВМТКЮ, ХН50ВТФКЮ, ЭП975 с добавками твердой смазки $CaF_2$.

**Цель исследования.** Экспериментальное исследование процессов тонкого абразивного шлифования деталей трения из новых композиционных материалов на основе никеля и определение влияния на параметры шероховатости поверхности детали типа абразивного инструмента, его зернистости и режимов резания.

**Методика реализации.** Обработка поверхностей деталей трения полиграфических машин из износостойких композитов на основе никеля тонким путем шлифования на плоско-, кругло- и внутреннешлифовальных станках шлифовальными инструментами из электрокорунда хромистого (33А) зернистостью 14–28 мкм на глифталевой связке и применения тонких режимов резания.

**Результаты исследования.** Определено, что на параметры шероховатости поверхности обработки $R_a$ существенно влияют зернистость, материал связки абразивного круга и режимы тонкого абразивного шлифования. Наилучшие показатели $R_a$, которые удовлетворяют высоким требованиям к рабочим поверхностям деталей трения полиграфических машин, обеспечивают шлифовальные круги из электрокорунда хромистого 33А зернистостью 14–28 мкм на глифталевой связке и тонкие режимы резания. Показаны преимущества обработки поверхностей кругами из электрокорунда хромистого.

**Выводы.** Доказано, что формирование высокого качества поверхностей деталей, которые изготовлены из новых композиционных материалов на основе никеля, существенно зависит от типа абразивного инструмента, режимов резания композитов и материала связи. Разработаны рекомендации для производства.

**Ключевые слова:** новые композиционные материалы; отходы никелевых сплавов; инструмент; детали трения; шероховатость поверхности; тонкое абразивное шлифование; режимы резания.

Рекомендована Радою
Видавничо-поліграфічного інституту
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
8 вересня 2015 року