

УДК 621.822.1:621.7.09

## **ВПЛИВ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ КОМПЗИТНИХ ПІДШИПНИКІВ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ТОНКОМУ ШЛІФУВАННІ**

© А. П. Гавриш, д.т.н., професор, А. В. Шевчук, д.т.н., професор, Т. А. Роїк, д.т.н., професор, В. А. Ковальов, к.т.н., доцент, Ю. Ю. Віцюк, к.т.н., НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**В статье приведены результаты исследований влияния состава абразивного инструмента на параметры шероховатости поверхностей подшипников скольжения, предназначенных для узлов трения полиграфических машин и изготовленных из новых композитных материалов на основе отходов штамповых сталей. Установлены зависимости параметров шероховатости поверхностей от зернистости, материала зерна и свойств связки абразивных инструментов для операций тонкого шлифования.**

**In the article there are the research results of influence the composition abrasive tools for parameters of surfaces bearing's of sliding roughness which are appropriated for printing machines' friction units and manufactured of new composite materials on the base of stamp steels wastes. Dependences of surfaces roughness parameters from graininess, material of abrasive grains and properties of abrasive tools' coupling agent for the fine grinding technology have been determined.**

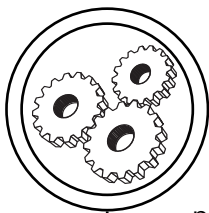
### **Постановка проблеми**

Вимоги до якості поверхонь деталей тертя, які працюють в умовах інтенсивного зношування, постійно зростають, що обумовлюється безперервним підвищенням важливих експлуатаційних параметрів поліграфічної техніки і, в першу чергу, зростанням термінів служби деталей, механізмів і у цілому машин.

Останнім часом для суттєвого збільшення строків експлуатації підшипників ковзання поліграфічних машин були синтезовані та впроваджені у виробництво нові композиційні

матеріали, створені на основі відходів легованої сталі 86Х6НФТ і здатні успішно експлуатуватись за швидкостями обертання до 400 об./хв. і питомими тисками 2–4 МПа [1–3].

У виготовленні вузлів тертя друкарських машин КВА «Rapida-105», «STAR BINDER 1509» та інші застосовані підшипники ковзання, технологія механічної обробки яких побудована таким чином, що на фінішних операціях технологічного процесу використовують абразивне шліфування та надтонке магніто-абразивне (МАО) оброблення [3].



З точки зору оптимізації параметрів якості поверхонь оброблення достатньо детально було досліджено процеси МАО [4–6] та створені відповідні технологічні рекомендації.

На жаль процеси тонкого абразивного шліфування нових композиційних деталей тертя, виготовлених на основі вторинної сировини, зокрема, на основі шліфувальних відходів сталі 86Х6НФТ, досліджені недостатньо, хоча вони, внаслідок дії відомого [2] принципу технологічної спадкоємності, на 80–90 % формують умови отримання найякісніших поверхонь тертя композитних підшипників. Усе це веде до застосування на практиці різних технологічних схем шліфування, не завжди оптимальних. Вказане викликає поширення різних технологій, часто суттєво різних, і які здебільшого створені відповідно до можливостей того чи іншого підприємства.

Усе це вимагає від науковців і практиків всебічно дослідити процеси тонкого абразивного шліфування підшипників ковзання з нових композиційних матеріалів на основі шліфувальних відходів інструментальних сталей та на цій основі створити типові технологічні процеси для галузі поліграфічного машинобудування, що ілюструє актуальність обраної теми досліджень.

### **Мета роботи**

Метою даної роботи було дослідження параметрів шорст-

кості поверхонь при тонкому абразивному шліфуванні нових композитних підшипників на основі шліфувальних відходів сталі 86Х6НФТ з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$  та встановлення впливу зернистості шліфувального круга, матеріалу зерна абразиву, типу зв'язки інструменту і основних режимів різання на якісні показники поверхонь оброблення підшипників ковзання.

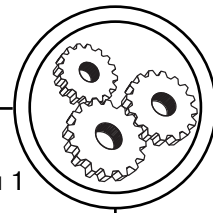
### **Результати проведених досліджень**

Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної задачі виконувались згідно з методикою, наведеною у роботах [2–6]. Їх результати наведені у табл. 1.

Аналіз даних табл. 1 показує, що параметр шорсткості  $R_a$  змінюється зі зміною режимних факторів оброблення — глибини шліфування, поперечної та поздовжньої подач.

Обробка експериментів за допомогою статистичних методів, зокрема, із застосуванням методу Ст'юдента для випадку залежних змінних оброблених зразків при фіксованих значеннях двох варіюючих величин (наприклад,  $V_b$ ,  $t$ ) та при змінній третій величині (наприклад,  $S_{\text{поп.}}$ ), 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. Доречі, зі збільшенням різниці між подачами



Таблиця 1

Параметр шорсткості  $R_a$  при тонкому плоскому шліфуванні підшипникового композитного сплаву [1]

| Поперечна подача $S_{\text{поп}}$ , мм/подв. хід | Швидкість виробу (поздовжня подача) $V_B$ , м/хв. | Глибина шліфування $t$ , мм |       |       |
|--|---|-----------------------------|-------|-------|
|  |   | 0,002                       | 0,01  | 0,05  |
|  |   | $R_a$ , мкм                 |       |       |
| 0,1  | 2   | 0,270                       | 0,352 | 0,685 |
|  | 5   | 0,321                       | 0,400 | 0,719 |
|  | 10  | 0,330                       | 0,423 | 0,865 |
| 0,2  | 2   | 0,351                       | 0,430 | 0,934 |
|  | 5   | 0,410                       | 0,419 | 1,058 |
|  | 10  | 0,414                       | 0,512 | 1,212 |
| 0,5  | 2   | 0,541                       | 0,792 | 1,575 |
|  | 5   | 0,626                       | 0,879 | 1,798 |
|  | 10  | 0,650                       | 0,955 | 1,020 |
| 1,0  | 2   | 0,821                       | 0,954 | 2,100 |
|  | 5   | 0,927                       | 1,075 | 2,410 |
|  | 10  | 1,033                       | 1,155 | 2,620 |

Примітки: Верстат — FF-350 «Abawerk» (ФРН), абразив - 63СМ14СМ25 на гліфта-левій зв'язці, швидкість круга — 22 м/с, обробка — без охолодження.

порівнюваних вибірок і різниці між швидкостями відмінності між табличним та розрахунковим розподілом Ст'юдента зростають. Це дозволяє зробити висновок, що існує зв'язок між параметром шорсткості поверхні  $R_a$  та глибиною різання  $t$ :

$$R_a = f(t), S_{\text{поп.}} = \text{const}, V_B = \text{const}.$$

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

$$R_a = f(S_{\text{поп.}}), V_B = \text{const}, t = \text{const}.$$

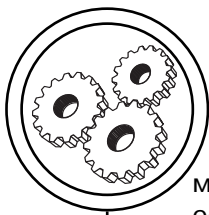
Аналогічний статистичний зв'язок існує між параметром шорсткості  $R_a$  та швидкістю  $V_B$ :

$$R_a = f(V_B), S_{\text{поп.}} = \text{const}, t = \text{const}.$$

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

Для отримання рівняння множинної кореляції на основі наведених експериментальних даних були знайдені коефіцієнти кореляції парних залежностей  $R_a - t$ ;  $R_a - S_{\text{поп.}}$ ;  $R_a - V_B$ ;  $S_{\text{поп.}} - V_B$ ;  $S_{\text{поп.}} - t$ ;  $t - V_B$ .

Проведені розрахунки показують, що між факторами  $R_a$ ,  $S_{\text{поп.}}$ ,  $V_B$ ,  $t$  існує щільний лінійний зв'язок. Формальний математичний аналіз показує, що між факторами  $S_{\text{поп.}} - t$ ,  $t - V_B$ ,  $S_{\text{поп.}} - V_B$  зв'язок відсутній, хоча це видно із загальних технічних



міркувань. Отримані коефіцієнти кореляції  $r_k$  далекі від 1. Це свідчить про те, що крім даного фактору (для якого визначено  $r_k$ ), на  $R_a$  впливають й інші фактори. Значення коефіцієнтів кореляції вказує на ступінь впливу на шорсткість поверхні досліджуваних факторів.

Найбільший вплив на параметр шорсткості  $R_a$  чинять глибина різання  $t$  та поперечна подача  $S_{\text{поп.}}$ , найменше — швидкість випробу  $V_B$ .

Рівняння множинної кореляції для досліджуваних факторів має вигляд:

$$R_a = 0,267S_{\text{п}} + 5,2t + 0,006V_B - 0,055. \quad (1)$$

Розраховані за формулою (1) значення  $R_a$  відрізняються від експериментальних на 12–15 %, що дозволяє використовувати формулу (1) в практичних розрахунках. Наприклад, знаючи

конкретні значення  $S_{\text{поп.}}$ ,  $t$ ,  $V_B$  для даного абразивного інструменту, можна орієнтовно визначити яким буде параметр  $R_a$  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 M50, M28, M14, M7 з електрокорунду білого (25A), карбіду кремнію зеленого (63C) та монокорунду (M). Відповідні експериментальні дані наведені у табл. 2.

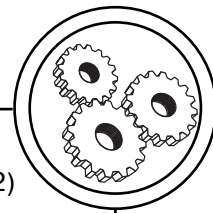
Аналіз даних табл. 2 дозволяє зробити суттєві практичні висновки: найменшу шорсткість поверхні у досліджуваному діапазоні зернистості інструменту (7–50 мкм) забезпечує абразив з зернистістю 7 мкм, а серед розглянутої гама матеріалів зерна — найкращі результати забезпечують абрази-

Таблиця 2

Вплив матеріалу зерна та зернистості інструменту на параметр шорсткості поверхні  $R_a$  при тонкому плоскому шліфуванні заготовок композитних підшипників на основі відходів інструментальних сталей [6]

| Характеристика абразивного інструменту | Матеріал зразків             |                             |                               |
|--|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
|  | 86X6НФТ+5 % CaF <sub>2</sub> | 4ХМНФС+5 % CaF <sub>2</sub> | 5Х3В3МФС+5 % CaF <sub>2</sub> |
|  | R <sub>a</sub> , мкм         |                             |                               |
| 63С5Гл                                 | 1,28                         | 1,32                        | 1,36                          |
| 25А5Гл                                 | 1,52                         | 1,54                        | 1,59                          |
| 63СМ28Гл                               | 0,787                        | 0,789                       | 0,795                         |
| 25АМ28Гл                               | 0,654                        | 0,719                       | 0,775                         |
| ММ28Гл                                 | 0,975                        | 0,964                       | 0,981                         |
| 63СМ7Гл                                | 0,257                        | 0,249                       | 0,275                         |
| 23АМ7Гл                                | 0,358                        | 0,390                       | 0,410                         |

Примітки: Верстат — FF-350 «Abawerk» (ФРН); 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.



ви з карбїду кремнїю зеленого. Цї результати можуть бути пояснені загальними положеннями теорії шліфування.

Дійсно, збільшення шорсткості поверхонь зі зростанням зернистості обумовлюється збільшенням перерізу  $a_z$  зрізу шару металу. Покращення шорсткості для інструментів з карбїду кремнїю зеленого пояснюється тим, що зерна карбїду кремнїю мають найгострішу форму (мінімальний кут загострення при вершині зерна) та найменший (порівняно з електрокорундовими та монокорундовими зернами) радіус округлення одиночного зерна.

В результаті математичної обробки експериментальних даних було отримано кореляційне рівняння зв'язку параметру шорсткості  $R_a$  з зернистістю  $A$  абразивного інструменту з карбїду кремнїю зеленого (63С), що має вигляд:

$$R_a = 0,0072A - 0,0083. \quad (2)$$

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 інструменту під час проектування технологічних процесів.

Суттєвим питанням є і те, як впливає склад зв'язки абразивного круга на параметр шорсткості поверхні  $R_a$ , результати дослідження якого наведені у табл. 3.

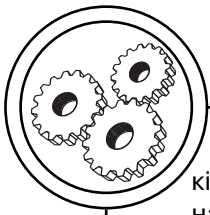
Слід зауважити, що основні експерименти проводились на зразках композитів, отриманих на основі шліфувальних відходів інструментальної сталі 86Х6НФ з домішками твердого мастила  $CaF_2$ , і дещо обмежена

Таблиця 3

Вплив матеріалу зв'язки абразиву на параметр шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  зразків з композитів на основі відходів сталі 86Х6НФТ при плоскому шліфуванні

| Характеристика абразивного інструменту | Матеріал зв'язки круга | Параметр шорсткості $R_a$ , мкм |
|--|------------------------|---------------------------------|
| 63С5Гл                                 | гліфталева             | 1,28                            |
| 63С5К                                  | керамічна              | 1,53                            |
| 63СМ28Гл                               | гліфталева             | 0,787                           |
| 63СМ28К                                | керамічна              | 1,153                           |
| 63СМ14Гл                               | гліфталева             | 0,621                           |
| 63СМ14К                                | керамічна              | 0,710                           |
| 63А5Гл                                 | гліфталева             | 1,12                            |
| 23А5К                                  | керамічна              | 1,78                            |

Примітки: Верстат — FF-350 «Abawerk» (ФРН); 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.



кількість дослідів виконувалась на зразках композитів з інших сталей, зокрема 4ХМНФС та 5ХЗВЗМФС, для встановлення загальних закономірностей.

Аналізуючи дані табл. 3, необхідно зазначити, що найкращі значення параметрів шорсткості  $R_a$  поверхонь оброблення деталей з нових композитних сплавів на основі інструментальних сталей забезпечують інструменти на гліфталевій зв'язці. Це може бути пояснено її більш еластичною здатністю і, таким чином, при шліфуванні (під час врізання абразивного зерна у метал) під дією складових сил різання кожне зерно начебто демпфується в напрямку пружньо-еластичного середовища зв'язки. Це обумовлює 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 (гліфталева, керамічна, бакелітова), матеріалів зерна шліфувального круга (карбід кремнію зелений, електрокорунд білий) та зернистостей абразиву (50, 28 та 14 мкм).

Приймаючи до уваги те, що фізичні явища у процесі різання

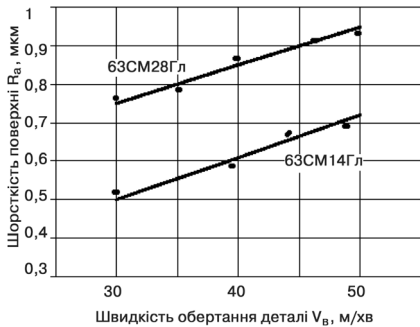
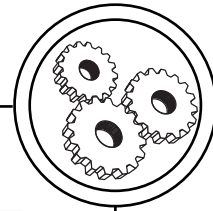
металів принципово подібні для плоского, зовнішнього круглого та внутрішнього шліфування, експериментальне дослідження процесів зовнішнього круглого і внутрішнього шліфування композитних підшипникових сплавів на основі відходів інструментальних сталей виконувалось з урахуванням вищенаведених результатів. Зокрема, для дослідів використовувались абразивні інструменти на основі карбіду кремнію зеленого (63С) зернистістю 14–28 мкм, які сформовані у шліфувальні круги гліфталевою зв'язкою.

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

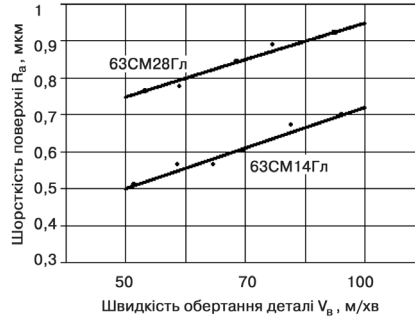
Основні результати досліджень наведені на рис. 1, 2.

Аналіз експериментів (див. рис. 1) показує, що на шорсткість поверхонь деталей з нових композитних матеріалів при зовнішньому круглому шліфуванні (як і при плоскому абразивному шліфуванні) суттєво впливають режими різання: швидкість виробу  $V_v$ , поздовжня подача  $S_n$  та глибина різання  $t$ , а також розмір зерна абразиву, матеріал зерна та склад зв'язки абразивного інструменту.

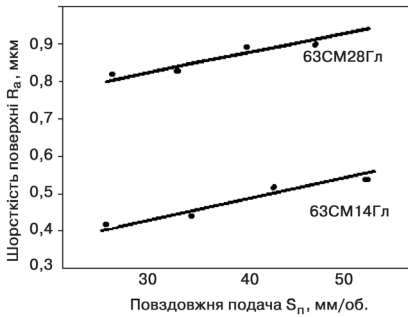
Аналогічно з плоским шліфуванням найкращу якість оброблених зовнішніх поверхонь композитних циліндричних деталей (за параметром шорсткості  $R_a$ )



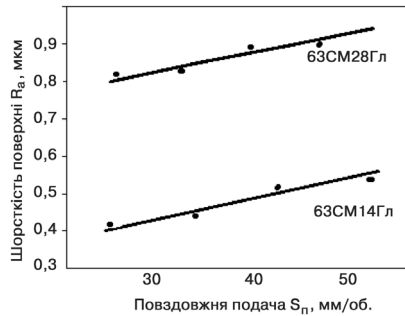
а



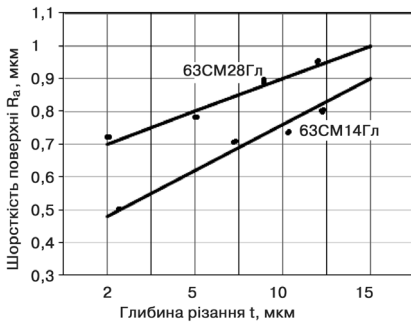
а



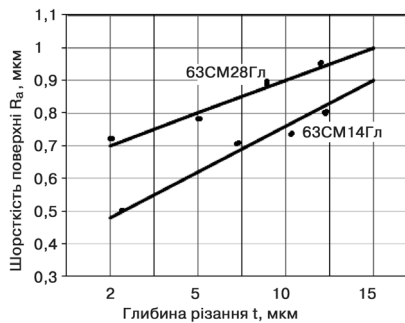
б



б



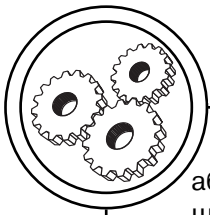
в



в

Рис. 1. Залежність параметрів шорсткості поверхні  $R_a$  від режимів шліфування  $V_B$ ,  $S_n$ ,  $t$  при зовнішньому круглому шліфуванні (швидкість абразивного круга —  $V_{кр} = 30$  м/с): а —  $S = 5$  мм/об.;  $t = 2$  мкм; б —  $V_B = 30$  м/хв.;  $t = 2$  мкм; в —  $V_B = 30$  м/хв.;  $S_n = 5$  м/об.

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



абразивним круглим зовнішнім шліфуванням забезпечує застосування інструментів на основі карбїду кремнію зеленого (63С) на гліфталевій зв'язці (Гл), зернистістю 14–28 мкм (М14–М28) та застосування тонких режимів шліфування ( $V_b \rightarrow \min$ ;  $S_n \rightarrow \min$ ;  $t \rightarrow \min$ ).

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

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

Аналіз рис. 2 показує, що при застосуванні для прецизійного внутрішнього шліфування деталей з нових композиційних сплавів на основі відходів інструментальних сталей з використанням для оброблення абразивних кругів на основі карбїду кремнію зеленого зернистістю 14–28 мкм на гліфталевій зв'язці, на параметр шорсткості поверхні оброблення  $R_a$  найбільше впливають глибина різання  $t$ , поздовжня подача  $S_n$  та швидкість обертання деталі  $V_b$ . Найкращі результати за параметром якості  $R_a$  (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.

1. Вперше досліджено питання абразивного оброблення нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей.

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

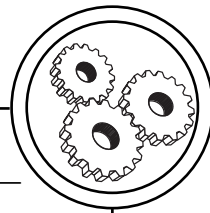
3. Доведено, що на параметр якості поверхні оброблення  $R_a$  суттєво впливають матеріал зерна абразиву, його зернистість, матеріал зв'язки абразивного круга та режими шліфування.

4. Найкращі показники параметру  $R_a$ , які забезпечують вимоги до поверхонь тертя деталей поліграфічних машин, забезпечують шліфувальні круги з карбїду кремнію зеленого зернистістю 14–28 мкм на гліфталевій зв'язці та тонкі режими різання, а саме:

— для плоского шліфування: швидкість круга — 22 м/с, поздовжня подача — 2 м/хв., поперечна подача — 0,1 мм/подв. хід; глибина різання — 2 мкм;

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





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

1. Патент України № 60522, МПК С22С33/02 (2006.01). Підшипниковий композиційний матеріал на основі інструментальної сталі / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Киричок П. О., Гавриш О. А., Віцюк Ю. Ю., Мельник О. О. — Оpubл. 25.06.2011, Бюл. № 12. 2. Роїк Т. А. Сучасні системи технологій заготовельного виробництва в машинобудуванні / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, О. А. Гавриш : Монографія. — К. : ЕКМО, 2010. — 212 с. 3. Гавриш О. А. Новітні технології виробництва стандартизованих виробів / О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, С. В. Войтко : Монографія. — К. : НТУУ «КПІ». — 2012. — 204 с. 4. Гавриш А. П. Новітні технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації / А. П. Гавриш, О. О. Мельник, Т. А. Роїк, М. Г. Аскеров, О. А. Гавриш : Монографія. — К. : НТУУ «КПІ», 2012. — 196 с. 5. Мельник О. О. Вплив технології виготовлення та магнітно-абразивної обробки на властивості високошвидкісних підшипників / О. О. Мельник, Ю. Ю. Віцюк, А. П. Гавриш, Т. А. Роїк // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». — Серія машинобудування. — К. : НТУУ «КПІ». — 2010. — № 59. — С. 75-78. 6. Роїк Т. А. Принципи одержання композиційних зносостійких матеріалів на основі відходів інструментального виробництва / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, П. О. Киричок, Ю. Ю. Віцюк, О. О. Мельник, В. В. Холявко // Междунар. сб. науч. трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». — Донецк : ДонНТУ, 2012. — Вып. 1, 2(43). — С. 261–265.

1. Patent Ukrainy № 60522, MPK S22S33/02 (2006.01). Pidshypnykovyi kompozytsiinyi material na osnovi instrumentalnoi stali / Roik T. A., Havrysh A. P., Kyrychok P. O., Havrysh O. A., Vitsiuk Yu. Yu., Melnyk O. O. — Opubl. 25.06.2011, Biul. № 12. 2. Roik T. A. Suchasni systemy tekhnologii zahotivelnoho vyrobnytstva v mashynobuduvanni / T. A. Roik, A. P. Havrysh, O. A. Havrysh : Monohrafiia. — K. : EKMO, 2010. — 212 s. 3. Havrysh O. A. Novitni tekhnologii vyrobnytstva standartyzovanykh vyrobiv / O. A. Havrysh, Yu. Yu. Vitsiuk, T. A. Roik, A. P. Havrysh, S. V. Voitko : Monohrafiia. — K. : NTUU «KPI». — 2012. — 204 s. 4. Havrysh A. P. Novitni tekhnologii finishnoho obroblennia kompozytsiinykh pidshypnykiv kovzannia dlia zhorstkykh umov ekspluatatsii / A. P. Havrysh, O. O. Melnyk, T. A. Roik, M. H. Askerov, O. A. Havrysh : Monohrafiia. — K. : NTUU «KPI», 2012. — 196 s. 5. Melnyk O. O. Vplyv tekhnologii vyhotovlennia ta mahnitno-abrazyvnoi obrobky na vlastyvoli vysokoshvydkisnykh pidshypnykiv / O. O. Melnyk, Yu. Yu. Vitsiuk, A. P. Havrysh, T. A. Roik // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut». — Seriia mashynobuduvannia. — K. : NTUU «KPI». — 2010. — № 59. — S. 75–78. 6. Roik T. A. Pryntsypy oderzhannia kompozytsiinykh znosostiikykh materialiv na osnovi vidkhodiv instrumentalnoho vyrobnytstva / T. A. Roik, A. P. Havrysh, P. O. Kyrychok, Yu. Yu. Vitsiuk, O. O. Melnyk, V. V. Kholiavko // Mezhdunar. sb. науч. трудов «Progressivnye tehnologii i sistemy mashinostroeniia». — Doneck : DonNTU, 2012. — Vyp. 1, 2(43). — S. 261–265.

Рецензент — В. Ф. Морфлюк, д.т.н., професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 13.09.12