

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.3

А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, Ю.Ю. Віщюк, В.Г. Олійник

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ШВИДКІСНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ З КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН ПРИ АЛМАЗНОМУ ШЛІФУВАННІ

In the article the research results of defect layers formation on surface of high-speed sliding bearings made of new high-alloy composite materials from tool steels wastes and intended for printing machines have been presented. Such quality parameters of surface like cold-work strengthening and distortions of the 2nd type are supplied by the result of interaction between force and temperature fields appearing on the top of diamond grain at fine diamond grinding of friction surfaces of sliding bearings were shown. It was proved, that final quality of surface depends on interaction of simultaneously arising processes of strengthening and tempering of working surfaces of sliding bearings at diamond grinding. It was defined, that the dependences of cold-work strengthening degree, its depth and distortions of the 2nd type from composition of diamond tool, its graininess, bond type of diamond disc, parameters of grinding: using lubricating and cooling liquid, depth of grinding, rotation speed of the disc and line feed. The practical recommendations were formulated for choice of diamond grinding tools and cutting parameters, which meet the requirements of working surfaces quality of high-speed bearing for rotary printing machines.

Keywords: new composite alloys, force field, temperature, cutting forces' components, cold-work strengthening, friction pieces of printing machines, fine diamond grinding.

Вступ

Розвиток сучасної техніки вимагає забезпечення високих параметрів надійності, працездатності та зносостійкості друкарських машин, їх вузлів і деталей у широкому спектрі умов експлуатації від нормальних до екстремальних (швидкість обертання до 800 об/хв, тиск 3–8 МПа). Одним із поширених видів деталей, що експлуатуються у зазначених умовах, є підшипники ковзання високошвидкісних машин поліграфічної техніки, зокрема ротаційних апаратів типу КВА "Rapida-105", деталей вузлів тертя газоперекачувальних станцій, компресорів магістральних газогонів тощо.

Створення нових композиційних підшипникових матеріалів для важких умов експлуатації [1–4] з широким використанням як основи для них утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей переконливо довело наявність стабільно високих триботехнічних властивостей цих композитів [5].

Відомості про технологічні засади виготовлення та прецизійної механічної обробки нових композитних підшипників детально наведені у працях [4–7]. Цими дослідженнями було доведено, що на строки служби підшипників ковзання з нових композитів впливають показники якості поверхонь оброблення, а саме: параметри шорсткості поверхонь R_a та властивості поверхневого шару, з якого шліфувальним інструментом здійснюється зрізання тонких стружок. З цієї точки зору ставились задачі досяг-

нення характеристик мінімальної шорсткості R_a поверхонь оброблення, яка є передумовою високих функціональних властивостей підшипників. З цією метою були створені технологічні процеси, де фінішна абразивна обробка здійснювалась із застосуванням методів тонкого абразивного і алмазного шліфування, а також методів магнітно-абразивного оброблення [6–8].

На жаль, досліджень одного з найважливіших параметрів якості обробленої поверхні, яким є фізичні властивості поверхневого шару після тонкого алмазного шліфування, а саме знак і рівень залишкових напружень у зоні оброблення, глибина та ступінь наклепу, практично немає.

Вказані обставини зумовили необхідність детального вивчення властивостей тонкого поверхневого шару після алмазної обробки робочих поверхонь нових підшипників ковзання для друкарських машин. Виконання дослідів у цьому напрямі дає можливість науково обґрунтовано підходити до створення технології тонкого алмазного шліфування, а відтак призначати (залежно від складу того чи іншого композитного матеріалу) оптимальні режими різання.

Постановка задачі

Метою дослідження є встановлення науково обґрунтованих режимів тонкого алмазного шліфування робочих поверхонь підшипників ковзання з нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних

сталей 86ХНФТ, 4ХМНФС і 5ХЗВЗМФС. Ці режими різання повинні забезпечити відповідні параметри якості прошліфованих поверхонь та необхідний рівень експлуатаційних властивостей вузлів тертя високообертового друкарського обладнання.

Матеріали і результати досліджень

Методика вивчення фізичних властивостей поверхневого шару зразків наведена у працях [3, 4, 6, 8].

Слід підкреслити, що у всіх експериментах використовувалися зразки з нових композитних матеріалів 86Х6НФТ + 5 % CaF₂, 4ХМНФС + 5 % CaF₂ і 5ХЗВЗМФС + 5 % CaF₂ [1, 2, 10].

Зазначимо, що фізичні властивості поверхневого шару деталей із нових композитів, а саме глибина та ступінь наклепу, спотворення II-го роду, знак та величина залишкових напружень, цілковито залежать від взаємодії силового і температурного полів [11, 12].

Було враховано попередньо отримані авторами результати досліджень сил [11] та миттєвих контактних температур [11, 12], що виникають і одночасно діють на вершині абразивного зерна шліфувального круга при зрізанні тонких стружок з поверхні оброблення. При цьому сили різання спричинюють зміцнення тонкого поверхневого шару, в той час як миттєві контактні температури сприяють відпочинку зміцненої від дії сил різання поверхні. Як наслідок, формуються кінцеві значення параметрів якості поверхні оброблення. У праці [9] було спрогнозовано, що при раціональному підборі режимів шліфування у майбутньому

можливо буде виконувати обробку так, що відпочинок поверхневого шару від дії температур зможе повністю усунути зміцнення від сил різання.

Отже, технологічні дослідження впливу режимів різання при тонкому алмазному шліфуванні на фізичні властивості поверхневого шару деталей із нових композитів є актуальними, а отримані результати створять умови, коли призначення відповідних режимів різання дасть змогу максимально зберегти вихідні властивості матеріалу, з якого виготовлено деталі тертя. Це в свою чергу забезпечить відповідне зменшення зносу при терті поверхонь підшипників ковзання, значно підвищить строк служби деталі та друкарської машини у цілому, зокрема офсетної друкарської машини КВА "Rapida-105".

Результати експериментальних досліджень параметрів зміцнення поверхневого шару при тонкому алмазному шліфуванні зразків із нових підшипникових матеріалів наведені у табл. 1–5, де $\Delta a/a$ – спотворення II-го роду; H_d – мікротвердість деталі за Віккерсом; H_3 – мікротвердість зразка за Віккерсом; K – ступінь наклепу (H_d/H_3). Показники наклепу зразків без обробки: $\Delta a/a \cdot 10^{-4} = 0$, $H_3 = 3600$ МПа; шліфувальні круги із синтетичного алмазу (АС) на керамічній (К1), металевій (М1) та бакелітно-гумовій (Бр1, Бр2) зв'язках зі 100%-ною концентрацією алмазу (у табл. 2, 3 для порівняння – круг 63С10Гл з карбиду кремнію зеленого (63С) на гліфталевій зв'язці). Режими шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF-250 "Abawerk" (ФРН), швидкість круга $V_{кр} =$

Таблиця 1. Залежність наклепу від матеріалу зв'язки круга при алмазному шліфуванні зразків зі сплаву 86Х6НФТ + 5 % CaF₂

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Зв'язка інструмента	Параметри наклепу		
			$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	H_3 , МПа	K
АС5К1 100 %	50	Керамічна	21–22	4190	1,16
АС5М1 100 %	50	Металева	20–22	4290	1,19
АС5Бр1 100 %	50	Бакелітно-гумова	19–20	4120	1,14
АС5Бр2 100 %	50	Бакелітно-гумова	19–21	4200	1,17
АСМ28К1 100 %	28	Керамічна	18–19	3900	1,08
АСМ28Бр1 100 %	28	Бакелітно-гумова	16–17	3850	1,07
АСМ14К1 100 %	14	Керамічна	13–15	3800	1,05
АСМ14Бр1 100 %	14	Бакелітно-гумова	12–14	3710	1,03
АСМ14М1 100 %	14	Металева	15–17	3750	1,04
АСМ10К1 100 %	10	Керамічна	13–16	3700	1,02
АСМ10Бр1 100 %	10	Бакелітно-гумова	10–12	3650	1,01

= 22 м/с, швидкість виробу $V_b = 2$ м/хв, глибина різання $t = 2$ мкм, охолодження – 3 %-ний розчин содової емульсії.

З аналізу даних табл. 1–5 видно, що при визначенні залежностей утворення наклепу при тонкому шліфуванні деталей із нових композитних матеріалів мають місце такі закономір-

ності: обробка кругами на еластичних зв'язках забезпечує менший наклеп, ніж обробка на жорсткій керамічній (К1) та металевій (М1) зв'язках: спотворення II-го роду $\Delta a/a$, мікротвердість H_d та ступінь наклепу більші при застосуванні шліфувальних інструментів на жорстких зв'язках. Це є характерним для

Таблиця 2. Залежність наклепу від матеріалу алмазного зерна при шліфуванні зразків зі сплаву 86Х6НФТ + 5 % CaF₂ крупнозернистими кругами

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Параметри наклепу			Охолодження при обробці
		$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	H_3 , МПа	К	
АС10Бр1 100%	100	21,5–22,5	4350	1,20	Емульсія
А10Бр1 100%	100	21–22	4300	1,15	Емульсія
АС5Бр1 100%	50	19–20	4120	1,14	Емульсія
АС5Бр1 100%	50	18–19	4080	1,13	Емульсія
А5М1 100%	50	19,5–21	4120	1,14	Емульсія
А5К1 100%	50	19–19,5	4100	1,14	Емульсія
А5К1 100%	50	20–20,5	4200	1,17	Без охолодження
А5М1 100%	50	20,5–21	4270	1,18	Без охолодження
63С10Гл	100	23,7–24	5400	1,50	Емульсія

Таблиця 3. Залежність наклепу від матеріалу зерен при алмазному шліфуванні зразків зі сплаву 86Х6НФТ + 5 % CaF₂ дрібнозернистими кругами

Абразивний інструмент	Параметри наклепу			Охолодження при обробці
	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	H_3 , МПа	К	
АСМ28БР1 100%	16,5–17,5	3870	1,07	Емульсія
АСМ28БР1 100%	17–18	3910	1,08	Без охолодження
АМ28БР1 100%	16–17	3850	1,06	Емульсія
АМ28БР1 100%	17–17,8	3900	1,08	Без охолодження
АСМ20БР1 100%	15–16,5	3810	1,05	Емульсія
АСМ14БР1 100%	12–14	3710	1,03	Емульсія
АМ14БР1 100%	12–12,5	3695	1,02	Емульсія
АСМ10БР1 100%	10–12	3650	1,01	Емульсія
АСМ10БР1 100%	11–11,5	3720	1,03	Без охолодження
АМ10БР1 100%	10,5–11	3680	1,02	Емульсія
АМ10БР1 100%	11,5–12,5	3700	1,03	Без охолодження
63СМ14Гл	23–23,5	4140	1,15	Емульсія

Таблиця 4. Залежність ступеня наклепу К від зернистості при алмазному шліфуванні зразків з досліджуваних сплавів із синтетичних алмазів (АС) на еластичній бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1)

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Матеріал композитних зв'язків		
		86Х6НФТ + 5 % CaF ₂	4ХМНФС + 5 % CaF ₂	5Х3В3МФС + 5 % CaF ₂
К				
АС10БР1 100%	100	1,20	1,23	1,22
АС5БР1 100%	50	1,14	1,17	1,16
АСМ28БР1 100%	28	1,07	1,12	1,11
АСМ20БР1 100%	20	1,05	1,08	1,07
АСМ14БР1 100%	14	1,03	1,5	1,04
АСМ7БР1 100%	7	1,02	1,03	1,03

Таблиця 5. Параметри наклепу на різних рівнях наклепаної зони при алмазному шліфуванні зразків з композиційного сплаву 86Х6НФТ + 5 % CaF₂

Вид обробки, тип круга	Глибина шару вимірювання , мкм							
	1		3		5		10	
	Параметри наклепу							
	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K
Без охолодження, АС10БР1 100 %	21,5–22,5	1,21	21–22	1,20	20,5–21,5	1,19	19,5–20,5	1,15
З охолодженням, А10БР1 100 %	21–22	1,19	20,5–21,5	1,18	20–21	1,17	19–20	1,13
З охолодженням, АС10БР1 100 %	21,5–22,5	1,20	21–22	1,19	20,5–21,5	1,18	19,4–20,1	1,14
З охолодженням, АСМ28БР1 100 %	16,5–17,5	1,07	16–17	1,06	15,5–16,5	1,05	14–15,55	1,01
Без охолодження, АСМ28БР1 100 %	17–18	1,08	16,5–17,5	1,07	16–17	1,06	13–15	1,02
З охолодженням, АМ28Р1 100 %	16–17	1,06	15,5–16,5	1,05	15–16	1,04	12–14	1,01
З охолодженням, АСМ20БР1 100 %	15–16,5	1,05	14,5–15,5	1,04	14–16	1,03	13–13,5	1,01
З охолодженням, АСМ14БР1 100 %	12–14	1,03	11,5–13,5	1,02	11–13	1,01	10, –12,5	1,01
Без охолодження, АСМ14БР1 100 %	12,5–13	1,02	12–12,5	1,01	11,5–12	1,01	10–12	1,01
З охолодженням, АМ14БР1 100 %	12–12,5	1,02	11,5–12	1,01	11–11,5	1,01	10,5–11	1,01
З охолодженням, АСМ10БР1 100 %	10–12	1,01	9,5–11,5	1,01	9–11	1,01	8,5–10	1,01
Без охолодження, АСМ10БР1 100 %	11–11,5	1,03	10,5–11	1,02	10–10,5	1,01	8–9,5	1,01
З охолодженням, АМ10БР1 100 %	10,5–11	1,02	10–10,5	1,01	9–10	1,01	7–9	1,01
З охолодженням, АСМ7БР1 100 %	9,5–10,5	1,01	9–10	1,01	8,5–9,5	1,01	6,5–8	1,01

всіх досліджуваних складів композиційних сплавів, синтезованих із відходів інструментальних сталей. Також слід відзначити схожість цієї залежності при застосуванні як крупнозернистих, так і дрібнозернистих шліфувальних інструментів.

Це можна пояснити властивостями бекелітно-гумової зв'язки, а саме її меншою жорсткістю, більшою еластичністю порівняно, наприклад, з бекелітно-гумовою зв'язкою. Внаслідок цього під час зрізання стружки з поверхні досліджуваного зразка на ріжучому лезі абразивного зерна утворюється відповідна сила різання, яка залежить від технологічних режимів різання [11]. Ця сила деформує шар мате-

ріалу і зумовлює утворення в ньому різних дефектів (наклепу, спотворень II-го роду, залишкових напружень). При цьому саме завдяки еластичності бекелітно-гумової зв'язки сили різання перерозподіляються і демпфують ріжуче зерно у тіло шліфувального круга. Це зменшує фактичну глибину шліфування і, відповідно, складові сили шліфування, що у свою чергу зумовлює зменшення параметрів наклепу [5, 7, 9].

При тонкому алмазному шліфуванні деталей тертя з нових композиційних сплавів виявлено залежність параметрів наклепу від матеріалу зерна алмазу, на основі якого формується шліфувальний інструмент.

Експериментально доведено, що мінімальні спотворення II-го роду, мікротвердість, ступінь наклепу та глибину залягання дефектів за товщиною поверхневого шару забезпечують застосування шліфувальних кругів на основі природного алмазу (А).

Найбільш чітко це проявляється при тонкому алмазному шліфуванні крупнозернистими інструментами (див. табл. 2), хоча така ж залежність існує і для випадку шліфування дрібнозернистими кругами (див. табл. 3).

Узагальнюючи всю сукупність експериментальних даних як для крупнозернистих, так і для дрібнозернистих інструментів, необхідно зробити загальний висновок про зменшення наклепу при тонкому шліфуванні алмазними кругами для всієї гами досліджених нових композиційних матеріалів. Зменшення наклепу можна пояснити більш гострою формою ріжучого леза кожного окремого зерна алмазу та більшою міцністю зерен, здатних при шліфуванні сприймати та передавати деформованим мікрооб'ємам металу (в процесі зрізання стружки) менші навантаження, ніж зерна електрокорунду білого (23А) і карбиду кремнію зеленого (63С). Ці висновки повністю збігаються з висновками, що отримані при дослідженні силового поля при тонкому абразивному шліфуванні нових композиційних сплавів, зокрема зі значеннями питомих складових сил шліфування (P_x , P_y , P_z), які припадають на кожне поодиноке ріжуче зерно, що перебуває у шарі оброблення і зрізає тонку стружку з перерізом a_z [13].

Аналіз даних табл. 4, 5 показує, що існує фактичний зв'язок між параметрами наклепу та зернистістю інструмента. Незалежно від виду алмазного інструмента зі зменшенням його зернистості (в діапазоні 100–7 мкм) параметри наклепу зменшуються. Мінімальний наклеп забезпечує шліфування кругами зернистістю 14 мкм на основі алмазу синтетичного на бакелітно-гумовій зв'язці (Br1) зі 100%-ною концентрацією алмазу (АСМ14 100 %). Підвищення ступеня наклепу зі збільшенням розміру зерна пояснюється істотним збільшенням силової дії на мікрооб'єм металу [9, 13], у зв'язку з чим зростає ступінь пластичної деформації.

Необхідно зазначити, що отримані висновки про закономірності утворення наклепу підтверджуються різними фізичними методами вимірювання (рентгеноструктурний аналіз, металографія, індукційне зондування поверхні оброблення) [9, 13]. Це свідчить про наявність

внутрішнього зв'язку між різними параметрами наклепу та підтверджує достовірність результатів досліджень.

У роботі не ставилася задача отримання кореляційних моделей зв'язку між різними досліджуваними параметрами. Проте слід звернути увагу на те, що у більшості випадків параметри наклепу менші при шліфуванні з охолодженням змащувально-охолоджувальною рідиною, ніж при різанні без охолодження. Це пояснюється більшим впливом миттєвих контактних температур при зрізанні стружки [14]. Але питання застосування охолоджувальної рідини при тонкому шліфуванні нових композиційних сплавів повинно вирішуватись у комплексному поєднанні з призначенням режимів різання, які також повинні забезпечити мінімальну шорсткість поверхні оброблення нових високошвидкісних підшипників [10], що є важливим показником якості й істотно впливає на параметри зношування при їх роботі і довговічності відповідних вузлів, зокрема ротаційних поліграфічних машин типу КВА "Rapida-105".

Аналіз табл. 5 показує, що глибина наклепаної зони залежить від зернистості інструмента, зменшуючись від 20 мкм (при розмірі зерна 50–100 мкм) до 1 мкм (при розмірі зерна 7–14 мкм).

Таким чином, на основі наведених експериментальних досліджень можна дійти висновку, що при тонкому алмазному шліфуванні нових композиційних сплавів відбуваються складні процеси зміцнення та відпочинку тонкого шару поверхонь тертя нових підшипників ковзання, які впливають на показники стійкості та довговічності. Знання закономірностей утворення наклепу дає змогу технологам промислових підприємств створювати технологічні процеси, які враховують вплив складу алмазного інструмента на параметри якості деталей підшипників ковзання та інших деталей тертя друкерських машин і механізмів. Це дає можливість оптимізувати режими різання, створювати реальні технологічні процеси для виробництва.

Висновки

Уперше досліджено питання алмазного оброблення нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей, з точки зору шліфування нових матеріалів для підвищення параметрів якості з мінімізацією

спотворень вихідних властивостей металу внаслідок дії силового та температурного полів.

Показано, що на параметри наклепу поверхневого шару істотно впливають матеріал зерна алмазу (природний чи синтетичний), зернистість шліфувального круга, тип зв'язки алмазного інструмента, а також такий технологічний фактор, як застосування для оброблення змащувально-охолоджувальної рідини.

Найкращі показники параметрів наклепу, а саме мінімальні спотворення II-го роду, мінімальні мікротвердість та ступінь наклепу, а також мінімальна глибина утворення наклепу в шарі поверхні оброблення деталі, забезпечують інструменти з природного та синтетичного алмазу зернистістю 14–20 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці (Br1) при 100 %-ній концентрації алмазу.

Для забезпечення необхідних умов якості поверхневого шару (параметри наклепу, шорст-

кість поверхні оброблення) алмазне шліфування підшипників із нових композиційних матеріалів необхідно виконувати із застосуванням тонких режимів різання, а саме для плоского однопрохідного шліфування периферією круга: швидкість круга – 22 м/с, швидкість виробу (поздовжня подача) – 2 м/хв, глибина різання – 2 мкм, охолодження – 3 %-ний розчин содової емульсії.

Подальші дослідження процесу тонкого алмазного шліфування нових композитних деталей будуть спрямовані на всебічне вивчення характеру залишкових напружень у поверхневому шарі оброблення, зокрема величини напружень, їх знака (розтягу чи стиску) та глибини залягання. Це дасть можливість виконати комплексний аналіз властивостей поверхні деталі з урахуванням вимог подальшого підвищення строків служби деталей тертя та друкарських машин у цілому.

Список літератури

1. *Актуальные проблемы порошковой металлургии* / Под ред. О.В. Романа, В.С. Аруначалама. – М.: Металлургия, 1990. – 232 с.
2. *Ящерицын П.И.* Прогрессивная технология финишной обработки деталей. – Мн.: Беларусь, 1989. – 312 с.
3. *Лавриненко В.І., Новіков М.В.* Надтверді абразивні матеріали в механообробі: Енциклопед. довідник. – К.: Вид-во ІНМ НАН України, 2013. – 456 с.
4. *Маталін А.А.* Технологические методы повышения долговечности деталей машин. – К.: Техника, 1971. – 144 с.
5. *Підшипниковий композиційний матеріал на основі інструментальної сталі:* Пат. України № 60522, МПК С22С33/02 (2006.01) / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. – Опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12.
6. *Антифрикційний композиційний матеріал на основі інструментальної сталі:* Пат. України № 102299, МПК С22С33/02 / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. – Опубл. 25.06.2013, Бюл. № 13.
7. *Роїк Т.А., Гавриш А.П., Гавриш О.А.* Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні: Монографія. – К.: ЕКМО, 2010. – 212 с.
8. *Нові технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації* монографія / А.П. Гавриш, О.О. Мельник, Т.А. Роїк та ін. – К.: НТУУ “КПІ”. 2012. – 196 с.
9. *Гавриш А.П., Мельник П.П.* Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів: Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 652 с.
10. *Вплив абразивного інструменту на шорсткість поверхонь композитних підшипників поліграфічної техніки при тонкому шліфуванні* / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віщюк // Технологія і техніка друкарства. – 2012. – № 3. – С. 65–77.
11. *Вплив складу інструменту і режимів тонкого ельборового шліфування та шорсткість поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин* / А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок та ін. // Вісник ЖДТУ. – 2013. – № 3. – С. 112–120.
12. *Обеспечение качества поверхностей деталей из магнитомягких сплавов прецизионной доводкой:* Монография / Т.А. Роик, П.А. Киричок, А.П. Гавриш и др. – К.: НТУУ “КПІ”, 2013. – 233 с.
13. *Силове поле при тонкому шліфуванні деталей тертя з нових композиційних сплавів для друкарської техніки* / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віщюк // Прогрессивные технологии и система машиностроения: Междунар. сб. науч. трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – № 2 (45). – С. 85–90.
14. *Дослідження температур при тонкому абразивному шліфуванні деталей з композитів на основі відходів інструментальних сталей* / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віщюк // Вісник Тернопіль. нац. техн. ун-ту. – 2013. – № 1 (69). – С. 125–130.