

А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, О. В. Зоренко, В. Г. Олійник

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

### ШВИДКІСНЕ ЕЛЬБОРОВЕ ШЛИФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

*Вперше досліджено технологічні процеси швидкісного ельборового шліфування нових зносостійких композиційних матеріалів на основі шліфувальних відходів алюмінієвих сплавів. Показано, що основні закономірності швидкісного ельборового шліфування нових матеріалів співпадають з фундаментальними основами теорії шліфування матеріалів. Доведено, що на параметр якості поверхні оброблення  $R_a$  та параметри продуктивності швидкісного шліфування нових зносостійких композитів суттєво впливають зернистість, матеріал зв'язки ельборового круга та режими різання при шліфуванні. Найкращі показники параметру  $R_a$ , які відповідають високим вимогам до робочих поверхонь деталей тертя, забезпечують шліфувальні круги з ельбору ЛО зернистістю 14...28 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці та регламентовані режими різання. Показано переваги обробки поверхонь ельборовими кругами та розроблено рекомендації з вибору режимів різання для швидкісного ельборового шліфування деталей тертя на основі шліфувальних відходів алюмінієвих сплавів, які забезпечують високі параметри шорсткості поверхні та продуктивності технологічних режимів.*

*Ключові слова:* нові композиційні матеріали, шліфувальні відходи алюмінієвих сплавів, деталі тертя, шорсткість поверхні, продуктивність технологічного процесу, високошвидкісне шліфування, ельборові круги.

*Рис. 2. Табл. 3. Літ. 10.*

А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, О. В. Зоренко, В. Г. Олійник

### СКОРОСТНОЕ ЭЛЬБОРОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ ИЗ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИН

*Впервые исследованы технологические процессы скоростного эльборового шлифования новых износостойких композиционных материалов на основе шлифовальных отходов алюминиевых сплавов. Показано, что основные закономерности скоростного эльборового шлифования новых материалов совпадают с фундаментальными основами теории шлифования материалов. Доказано, что на параметр качества поверхности обработки  $R_a$  и параметры производительности скоростного шлифования новых износостойких композитов на основе алюминия существенно влияют зернистость, материал связки эльборового круга и режимы резания при шлифовании. Наилучшие показатели параметра  $R_a$ , которые удовлетворяют высокие требования к рабочим поверхностям деталей трения, обеспечивают шлифовальные круги из эльбора ЛО зернистостью 14...28 мкм на бакелитно-резиновой связке и регламентированные режимы резания. Показаны преимущества обработки поверхностей эльборовыми кругами и разработаны рекомендации по выбору режимов резания для скоростного эльборового шлифования деталей трения на основе шлифовальных отходов алюминиевых сплавов, которые обеспечивают высокие параметры шероховатости поверхности и производительности технологических режимов.*

*Ключевые слова:* новые композиционные материалы, шлифовальные отходы алюминиевых сплавов, детали трения, шероховатость поверхности, производительность технологического процесса, высокоскоростное шлифование, эльбовые круги.

A. P. Havrysh, T. A. Roik, O. V. Zorenko, V. H. Oliinyk

### HIGH-SPEED ELBOR GRINDING OF FRICTION SURFACE PARTS FROM HIGH-WEAR-RESISTANCE COMPOSITES BASED ON ALUMINUM FOR PRINTING MACHINES

*For the first time in the scientific and technological practice it was research the technological processes high-speed elbor grinding of the new high-wear-resistance materials based on aluminum alloys grinding wastes. It was shown that the main regularities of high-speed elbor grinding high-wear-resistance composites from aluminum wastes are coincided of the fundamental basis of the theory grinding materials. It was demonstrated the tool granularity, elbor discs material of bond and elbor grinding parameters essentially influence for surface parameter  $R_a$  and parameters productivity high-speed grinding new high-wear-resistance composites on the base of the wastes aluminum. Grinding discs from elbor type LO with granularity 14...28  $\mu\text{m}$  on bakelite-gum bond and regulated parameters of cutting ensure the best value of parameters  $R_a$ . It was shown the advantages of surfaces' treatment by elbor discs. It was developed the recommendations for choice of cutting parameters for high-speed elbor grinding for friction parts based on aluminum alloys grinding wastes and which ensure the high roughness parameters and parameters of the technological processes productivity.*

*Keywords:* new composite materials, aluminum alloys grinding wastes, friction parts, surface roughness, productivity of technological process, high-speed grinding, elbor discs.

**Постановка проблеми.** У сучасних машинно-технологічних комплексах різних галузей промисловості України (поліграфічне машинобудування, машини легкої, харчової промисловості

та ін.) широко використовуються деталі тертя з високолегованих зносостійких композиційних матеріалів, які синтезовані зі шламових відходів кольорових металів, насамперед, зі сплавів на основі алюмінію [1–4]. Їх особливістю є те, що вони створені для експлуатації у вузлах обладнання, що працює при навантаженнях до 7 МПа, розігріванні поверхонь до 100...150 °С, дії агресивного середовища (кисень повітря, виробничий абразивний пил та ін.) [1–5]. Зокрема, відповідальним є експлуатація деталей пар тертя у ножових різальних машинах поліграфії типу Wohlenberg Trim-tec 560, у висікальному обладнанні паперу та картону типів Dröscher ST 6, Bobst Mistral 110 A2, укладачах швидкісних ткацьких верстатів Sprint-1205 PI, у панчохів'язальних машинах типу Palermo-105 SR тощо. Зносостійкість деталей тертя зазначених машин (згідно засадничим положенням теорії тертя та зношування [6, 7, 9]) залежить від ряду важливих факторів. Перш за все, це — фізико-механічні властивості антифрикційних матеріалів, з яких виготовлені деталі тертя та якість їх контактних поверхонь (параметри шорсткості, глибини та ступеню наклепу, рівень та знак залишкових напружень поверхневого шару).

Встановлено, що для забезпечення високих параметрів зносостійкості та довговічності деталей пар тертя доцільним є застосування спеціальних методів абразивного оброблення їх поверхонь, новітніх типів алмазно-абразивних інструментів і раціональних режимів різання [6– 8]. Проте для надтонких фінішних методів формування параметрів якості поверхонь тертя, які здатні після обробки зберегти вихідні антифрикційні властивості нових високолегованих композиційних матеріалів на основі алюмінію, що отримані на етапі виготовлення композитних матеріалів, застосовувались типові режими різання, зокрема, швидкість обертання шліфувального круга — 20...30 м/с. Результатів виконання обробки із застосуванням, наприклад, інтенсивних методів швидкісного ( $V_{кр} = 50...120$  м/с), так званого, силового шліфування зі збільшеними подачами, не достатньо, хоча дослідження у цьому напрямку (для литих сталей) були виконані [8].

Тому дослідження технологічних процесів швидкісного шліфування і їх вплив на якість поверхонь високозносостійких композиційних сплавів на основі алюмінію є актуальним питанням, що має як наукове, так і практичне значення для технологів-виробників.

**Мета і завдання.** Метою даної роботи було встановлення впливу технологічного процесу швидкісного шліфування на якість поверхонь тертя деталей, що виготовлені з нових високолегованих композиційних матеріалів на основі шліфувальних відходів алюмінієвих сплавів АК12М2МgН, АМ4,5Кд, АК8М3ч та АК12ММgН + (9–12)% MoS<sub>2</sub> та розробка рекомендацій з режимів оброблення для промисловості.

**Результати досліджень.** Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної задачі виконувались згідно методик наведених у роботах [5, 6, 9]. Особливостями експериментів було: 1) Застосування верстатного обладнання, а саме, для швидкісного плоского шліфування — верстата прецизійної точності FF-250 HS-0117 фірми «Abawerk» (ФРН), що забезпечує оброблення поверхонь зі швидкостями шліфувального круга ( $V_{кр}$ ) до 120 м/с, а для швидкісного зовнішнього круглого шліфування — високопрецизійного верстата SS-125 HS-0321 фірми «Werkzajt» (ФРН), що виконує прецизійне оброблення зовнішніх циліндричних поверхонь деталей зі швидкостями обертання шліфувального круга ( $V_{кр}$ ) до 140...150 м/с. 2) У якості ріжучого інструменту при швидкісному шліфуванні нових типів зносостійких композитів були використані абразивні інструменти з кубічного нітриду бора (ельбор марки ЛО, Росія). Цей вибір обумовлено визначенням взаємодії матеріалів поверхонь тертя ріжучих абразивних інструментів (електрокорунд 32А, карбід кремнію зелений 63С, алмаз синтетичний АС, ельбор ЛО) та деталей з високолегованих композитів різного складу [9].

Відомо, що найкращі результати з досягнення високих параметрів якості поверхонь оброблення високолегованих композитів забезпечує застосування шліфування оздоблювальними кругами з ельбору (ЛО) [9]. Основні результати дослідження швидкісного ельборового шліфування нових зносостійких композитів на основі алюмінію наведені нижче.

На рис. 1 показано графічне зображення досліджень окремих аспектів процесів шліфування композитів при різних швидкостях обертання ельборового круга. Аналіз даних свідчить про суттєвий вплив швидкості обертання шліфувального круга на всі найважливіші показники процесу різання.

Спостерігається тенденція покращення досліджуваних параметрів із суттєвим зростанням швидкості обертання ельборового шліфувального круга, наприклад, з 20 м/с до 80...90 м/с. Такі показники позначаються на поліпшенні параметрів якості поверхонь оброблення, зокрема, параметра шорсткості  $R_a$  та ступеня наклепу  $K$  [5, 6]. У зв'язку з цим важливими є результати

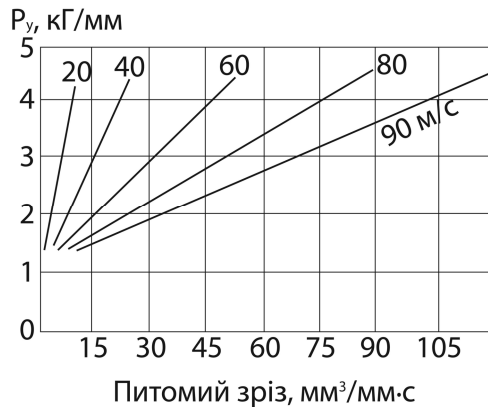
дослідження впливу на параметри шорсткості поверхні  $R_a$  і питомий зріз металу (для різних типів композитів на основі алюмінію) швидкісного ельборового шліфування (табл. 1).

Таблиця 1. Інтенсивність шліфування високолегованих композитів на основі алюмінію

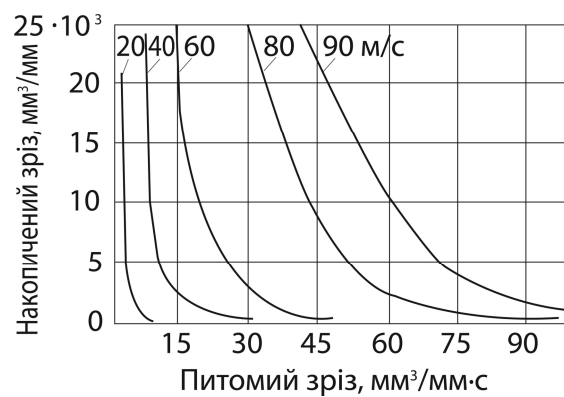
Тип шліфування	Оброблюваний матеріал	Швидкість обертання круга, м/с	Питомий зріз металу в $\text{мм}^3/\text{мм}\cdot\text{с}$	Параметр шорсткості поверхні $R_a$ , мкм
Кругле	Композит на основі алюмінію АК8МЗч	60	15–38	0,710
		90	100	0,780
Плоске	Композит на основі алюмінію АК12ММГН + (9–12)% $\text{MoS}_2$	40	27–40	0,630
		92	105	0,680

Примітки: 1) шліфувальний круг з ельбору ЛОМ28Бр1 100 %; 2) інтенсивна подача у зону різання мастильно-охолоджуючої рідини зі складом — гас (70 %), норсульфазол (25 %), олеїнова кислота (5 %).

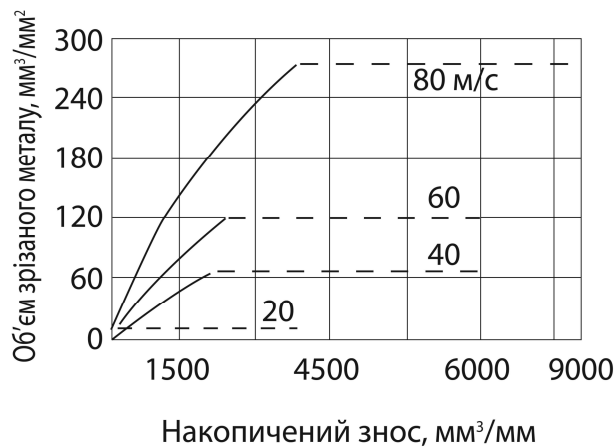
Аналіз табл. 1 дозволяє отримати наступні висновки. По-перше, відзначається підвищення питомого зрізу шару металу з поверхні деталі оброблення у 2,5...3 рази зі зростанням швидкості шліфування. При цьому параметр шорсткості поверхні оброблення достатньо прийнятний і змінюється у межах 10...12 %. По-друге, зазначена закономірність є характерною для різних за своїм складом зносостійких композитів і повністю співпадає із загальними теоретичними напрацюваннями у цій царині [5, 6, 9, 10], що є додатковим свідченням єдності законів абразивного оброблення, у тому числі, і у випадку прецизійного ельборового шліфування зносостійких композитів.



а



б



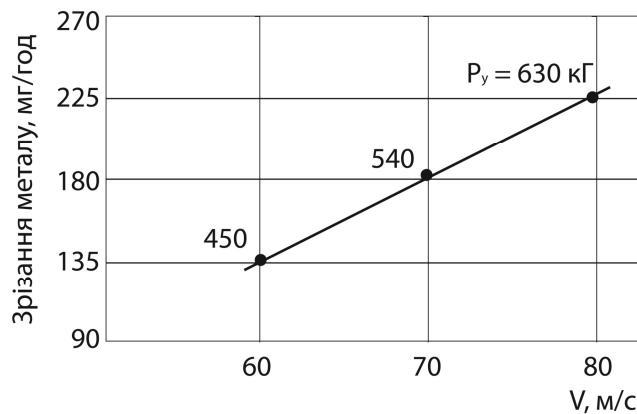
в

Рис. 1. Результати дослідження процесу швидкісного шліфування композитів при різних швидкостях круга: а — залежність питомої радіальної сили  $P_r$  шліфування від питомого зрізу для сплаву АК12ММГН + (9–12)%  $\text{MoS}_2$ ; б — залежність накопиченого зрізу від питомого зняття шару металу для композиту АМ4,5Кд; в — залежність об'єму

**зрізаного металу на одиницю витрат зношеної частини круга від накопиченого об'єму металу для композиту АК8МЗч**

Об'єм металу, що зрізається у фіксовану одиницю часу, залежить від глибини занурення окремих абразивних зерен у матеріал деталі оброблення та кількості зерен, які у дану мить приймають участь у зрізанні стружок і кількість яких залежить від швидкості обертання абразивного інструменту. Дослідження показали, що зі зростанням глибини різання при шліфуванні збільшується потужність шліфування і при певній глибині різання суттєво збільшуються миттєві контактні температури у зоні зрізання стружки абразивними зернами [9, 10].

Це може викликати неприйнятні спотворення поверхневого шару оброблення. Проте, при подальшому підвищенні глибини різання відбувається перерозподіл співвідношення силових і температурних факторів при зрізанні перерізів стружки, технологічний процес набуває ознак стабілізації, а потужність шліфування дещо знижується, що може бути пояснено зростанням інтенсивності самозаточування абразивного інструменту. Наші дослідження підтвердили також, що зі збільшенням швидкості круга зростає питоме критичне навантаження, при якому відбувається перехід в зону роботи з самозаточуванням. На рис. 2 наведено оптимальні значення зрізання шару металу, які відбуваються при відповідному збільшенні питомої сили притискування та швидкості круга.



**Рис. 2. Залежність між зрізанням зносостійкого композита АК12М2МГН, окружною швидкістю V ельборового шліфувального круга та питомою силою притискування круга Py, при якій досягаються оптимальні значення по зрізанню об'єма композиту**

Результати досліджень залежності параметрів шорсткості Ra поверхонь оброблення зносостійких композиційних матеріалів [1–4] від режимів швидкісного шліфування та зернистості ельборових кругів наведено у табл. 2, 3.

**Таблиця 2. Параметр шорсткості Ra при швидкісному плоскому шліфуванні зносостійких композитних матеріалів на основі алюмінію**

Швидкість шліфувального круга V <sub>кр</sub> , м/с	Швидкість виробу (поздовжня подача) V <sub>в</sub> , м/хв.	Параметр шорсткості Ra (мкм) для композитів								
		АМ4,5Кд			АК8МЗч			АК12ММГН		
		Глибина шліфування t, мм								
		0,002	0,01	0,05	0,001	0,01	0,05	0,002	0,01	0,05
30	2	0,63	0,68	0,70	0,60	0,67	0,69	0,59	0,61	0,63
	5	0,65	0,70	0,73	0,63	0,70	0,71	0,60	0,63	0,65
	10	0,67	0,75	0,77	0,67	0,72	0,74	0,62	0,65	0,67
40	2	0,69	0,71	0,73	0,65	0,68	0,71	0,61	0,63	0,65
	5	0,71	0,75	0,77	0,67	0,71	0,75	0,63	0,67	0,69
	10	0,73	0,78	0,80	0,70	0,75	0,77	0,65	0,69	0,71
60	2	0,61	0,66	0,67	0,63	0,67	0,69	0,61	0,62	0,64
	5	0,63	0,67	0,70	0,65	0,70	0,71	0,62	0,63	0,65
	10	0,64	0,69	0,72	0,67	0,73	0,74	0,64	0,65	0,67
80	2	0,60	0,64	0,69	0,62	0,66	0,70	0,55	0,60	0,64
	5	0,62	0,67	0,70	0,64	0,70	0,72	0,58	0,65	0,66
	10	0,65	0,69	0,72	0,65	0,73	0,75	0,60	0,67	0,68

Примітки: 1) абразив — ельбор ЛОМ28Бр1 100 %; 2) верстат — плоско-шліфувальний прецизійної точності FF-250 HS-0117 «Abawerk» (ФРН); 3) поперечна подача  $S_{\text{поп}} = 0,2$  мм/подв. хід; 4) мастильно-охолоджуюча рідина (МОР) — суміш зі складом: гас (70 %), норсульфозфрезол (25 %), олеїнова кислота (5 %).

Таблиця 3. Вплив зернистості інструменту на параметри шорсткості поверхні  $R_a$  при швидкісному плоскому шліфуванні зносостійких композитних сплавів на основі алюмінію

Характеристика ельборового (ЛО) інструменту	Матеріал зносостійких композитів			
	AK12M2MгH	AM4,5Kд	AK8M3ч	AK12MMгH + (9–12)% MoS <sub>2</sub>
Параметр шорсткості $R_a$ , мкм				
ЛО10Бр1 100 %	0,860	0,875	0,910	0,937
ЛО5Бр1 100 %	0,790	0,800	0,750	0,710
ЛОМ28Бр1 100 %	0,640	0,650	0,670	0,620
ЛОМ20Бр1 100 %	0,405	0,410	0,355	0,321
ЛОМ14Бр1 100 %	0,350	0,340	0,310	0,300
ЛОМ10Бр1 100 %	0,285	0,275	0,220	0,200
ЛОМ7Бр1 100 %	0,190	0,195	0,175	0,165

Примітки: 1) швидкість обертання круга  $V_{\text{кр}} = 60$  м/с; 2) швидкість виробу (поздовжня подача  $V_b = 5$  м/хв.); поперечна подача  $S_{\text{поп}} = 0,2$  мм/подв. хід; 4) мастильно-охолоджуюча рідина (МОР) — суміш зі складом: гас (70 %), норсульфозфрезол (25 %), олеїнова кислота (5 %).

Аналіз експериментальних даних (табл. 2, 3) дозволяє зробити наступні узагальнення.

По-перше, режими різання швидкісного шліфування зносостійких композиційних матеріалів суттєво впливають на параметр шорсткості  $R_a$  поверхонь оброблення, що відповідає засадничим положеннями теорії абразивного шліфування. В нашому випадку, коли для оброблення застосоване швидкісне ельборове шліфування, слід відзначити, що зростання швидкості обертання шліфувального круга у 2–3 рази, обумовлює покращення шорсткості поверхні. Це може бути пояснено зменшенням перерізу стружки поодиноким ріжучим зерном круга, оскільки в одиницю часу (зі збільшенням швидкості обертання круга) пропорційно збільшується кількість зерен, які приймають активну участь у процесі зрізання стружки. Проте, слід зауважити, що є певна швидкісна зона (~40 м/с), коли відбувається деяке зростання параметру шорсткості  $R_a$ , хоча у подальшому процес різання нормалізується і відбувається стабільне покращення шорсткості поверхні. Ця закономірність прослідковується для різних марок високозносостійких композитів, а також при зміні у достатньо широких межах поздовжньої подачі  $V_b$  та глибин шліфування  $t$ .

По-друге, на параметр шорсткості  $R_a$  поверхонь оброблення деталей з нових композиційних матеріалів суттєво впливає структура шліфувального круга, головним чином зернистість інструменту. Параметр  $R_a$  зменшується майже в 4 рази зі зміною зернистості шліфувального інструменту від 100 мкм до 7 мкм. Розробляючи рекомендації для промислової практики, слід враховувати, що при швидкісному шліфуванні дрібнозернисті круги (M7–M14) схильні до швидкого засалювання. Тому для розробки технологічних процесів раціонально застосовувати ельборові круги із зернистістю 20...28 мкм. Отримані при цьому параметри шорсткості  $R_a$  достатні для здійснення у подальшому фінішних операцій прецизійної доводки, які гарантують отримання найкращих параметрів якості поверхонь оброблення деталей з нових матеріалів.

Слід підкреслити, що при швидкісному шліфуванні найкращі значення шорсткості поверхні  $R_a$  забезпечують круги на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1. Це пояснюється її більшою еластичністю і, таким чином, при шліфуванні під дією складових сил різання кожне ельборове зерно демпфує в напрямку пружно-еластичного середовища зв'язки, що спричинює 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 ельборового шліфування. Зазначені закономірності співпадають з фундаментальними основами теорії абразивного різання металів [6, 9, 10], що є свідченням достовірності одержаних даних.

**Висновки.** Узагальнюючи комплекс виконаних досліджень, необхідно зробити наступні висновки, які мають як наукове, так і практичне значення.

1. Вперше досліджено процеси швидкісного ельборового шліфування нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенерованих шліфувальних відходів алюмінієвих сплавів, та показано, що основні закономірності швидкісного ельборового шліфування нових композиційних матеріалів співпадають із засадничими основами абразивного оброблення.

2. Доведено, що на параметр якості поверхні  $R_a$  суттєво впливають зернистість, матеріал зв'язки ельборового круга та режими швидкісного ельборового шліфування. При цьому найкращі показники параметрів продуктивності оброблення і шорсткості поверхні  $R_a$ , які відповідають вимогам до поверхонь деталей тертя технологічних комплексів і машинних систем, забезпечують шліфувальні круги з ельбору ЛО зернистістю 20...28 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1 та наступні режими різання: швидкість обертання шліфувального круга  $V_{кр} = 60...80$  м/с, швидкість виробу (поздовжня подача)  $V_v = 5$  м/хв., поперечна подача  $S_{поп} = 0,2...0,5$  мм/подв. хід, глибина шліфування  $t = 0,005...0,01$  мм, мастильно-охолоджуюча рідина (МОР) — суміш зі складом: гас (70 %), норсульфозрезол (25 %), олеїнова кислота (5 %).

Подальші дослідження будуть спрямовані на виконання експериментів та встановлення закономірностей формування параметрів якості поверхонь оброблення деталей тертя машин з композитів на основі інструментальних сталей та нікелю при швидкісному шліфуванні.

1. Патент України № 60174А, МКИ С22С 21/02. Порошковий антифрикційний матеріал на основі алюмінію / Комнацький О. Л., Роїк Т. А. – опубл. 15.09.2003, Бюл. № 9.
2. Патент України № 34407, МКИ С22С 21/02. Композиційний підшипниковий матеріал на основі алюмінію / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Гавриш О. А., Холяк В. В., Прохоренко О. М. – опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15.
3. Патент України № 26862, МКИ С22С 21/02. Антифрикційний матеріал на основі алюмінію / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Киричок П. О., Гавриш О. А. – опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.
4. Патент України № 75523, МПК С22С 21/02 (2006.01). Зносостійкий матеріал на основі алюмінієвого сплаву / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Гавриш О. А., Киричок П. О., Віщок Ю. Ю., Мельник О. О., Замулко С. А., Дорфман І. Є. – опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.
5. Роїк Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищення умов експлуатації / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш : монографія. – К. : НТУУ «КПІ», 2007. – 404 с.
6. Киричок П. О. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, А. В. Шевчук, Ю. Ю. Віщок : навч. посібник. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 558 с.
7. Косторнов А. Г. Триботехническое материаловедение / А. Г. Косторнов : монографія. – Луганск : Изд-во «Ноули», 2012. – 702 с.
8. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1979. – 248 с.
9. Гавриш А. П. Вплив фізико-механічних властивостей абразивних матеріалів на процес шліфування високолегованих композитів для поліграфічних машин / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, П. О. Киричок, О. О. Мельник, Ю. Ю. Віщок // Технологія і техніка друкарства. – 2015. – № 3(49). – С. 119–128.
10. Инструменты из сверхтвёрдых материалов / Под ред. акад. НАН Украины Н. В. Новикова, д-ра техн. наук С. А. Клименко, 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2015.