

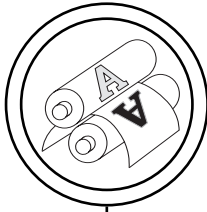
УДК 621.822.1:621.7.09

© А. П. Гавриш, д.т.н., професор, П. О. Киричок, д.т.н., професор, Т. А. Роїк, д.т.н., професор, О. В. Зоренко, к.т.н., доцент, О. С. Хлус, аспірантка, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

ШВИДКІСНЕ ШЛІФУВАННЯ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ ДРУКАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

У статті наведено результати експериментального дослідження процесів швидкісного шліфування поверхонь деталей тертя з високолегованих композитів для друкарської техніки. Вперше у науковій та технологічній практиці досліджено технологічні процеси швидкісного ельборового шліфування нових високолегованих композиційних сплавів на основі інструментальних сталей та шліфувальних відходів кольорових сплавів з нікелю та алюмінію. Показано, що основні закономірності швидкісного ельборового шліфування високолегованих композитів з шламових відходів інструментальних сталей, нікелевих та алюмінієвих матеріалів співпадають з фундаментальними основами теорії шліфування матеріалів. Доведено, що на параметри якості поверхні R_a та параметр продуктивності швидкісного шліфування нових зносостійких високолегованих композитів суттєво впливають зернистість, матеріал зв'язки ельборового круга та режимів різання при шліфуванні. Найкращі показники параметра R_a , які задовольняють високі вимоги 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. Розроблено рекомендації з вибору режимів різання для швидкісного ельборового шліфування деталей тертя різного технологічного призначення, що виготовляються з нових високолегованих композиційних сплавів на основі шліфувальних відходів інструментальних сталей, нікелю та алюмінію і, які забезпечують вимоги отримання необхідних параметрів шорсткості поверхні та продуктивності технологічних процесів.

Ключові слова: нові композитні матеріали; шліфувальні відходи; деталі тертя; інструмент; шорсткість поверхні; параметри продуктивності технологічного процесу; високошвидкісне шліфування; ельборові круги; технологічні рекомендації.



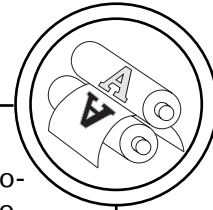
Постановка проблеми

У сучасних машинно-технологічних комплексах різних галузей промисловості України (поліграфічне машинобудування, машини легкої та харчової промисловості, виробництво аерокосмічних систем, літакобудування) широко використовуються деталі тертя з високолегованих зносостійких композиційних матеріалів, які синтезовані з шламових шліфувальних відходів інструментальних сталей та кольорових металів, насамперед, зі сплавів на основі нікелю та алюмінію [1–4]. Їх особливістю є те, що вони створені для умов експлуатації у вузлах обладнання, що працює в межах 150–900° С, питомих тисках до 6–7 МПа, дії агресивного середовища (кисень, повітря, виробничий пил з абразивною властивістю та інше) [5–8]. Особливо важливими (з точки зору забезпечення технічних параметрів обладнання) є експлуатація деталей пар тертя підшипників ковзання високошвидкісних друкарських машин KBA «Rapida-105», «STAR BINDER 1.509», деталей у ножових різальних машинах поліграфії типу WOHLBERG Trimtec 560, у висікальному обладнанні паперу та картону типів DROSSERTST-6, BOBSTMISTRAL 110 A2, укладачах швидкісних ткацьких верстатів SPRINT – 1205PI, у панчох'язальних машинах типу PALERMO – 105SR, втулках елеронів сучасних літаків та інше.

Зносостійкість деталей тертя зазначених машин (згідно засадничим положенням теорії

тертя та зношування [6, 9–17]) залежить від ряду важливих факторів. У першу чергу, це — фізико-механічні властивості антифрикційних матеріалів, з яких виготовлені деталі тертя та якість їх контактних поверхонь (параметри шорсткості, глибини та ступіню 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 та раціональних режимів різання [6–8, 16, 17]. Проте для надтонких фінішних методів формування параметрів якості поверхонь тертя (тонке плоске, зовнішнє кругле та внутрішнє шліфування, прецизійна машинна доводка, суперфінішування та хонінгування), які здатні (у результаті обробки) зберегти матеріальні антифрикційні властивості новітніх високолегованих композиційних матеріалів на основі інструментальних сталей, нікелю та алюмінію, притаманних їм з початкових стадій синтезу композитних сплавів, застосовувались типові режими різання, зокрема швидкість обертання шліфувального круга — 20–30 м/с. Спроб виконання обробки з застосуванням, наприклад, інтенсивних методів швидкісного ($v_{кр} = 50–120$ м/с) чи, так званого, силового шліфування зі збільшеними подачами не зазначено, хоча дослідження у цьому напрямку (для сталей загальномашино-



будівного складу) були виконані [18].

Тому дослідження технологічних процесів швидкісного шліфування високозносостійких композиційних сплавів на основі інструментальних сталей, нікелю та алюмінію є актуальним питанням, що має як наукове, так і, що не менш важливо, практичне значення для технологів-виробників.

Мета роботи

Метою даної роботи було дослідження технологічного процесу швидкісного шліфування поверхонь тертя деталей, що

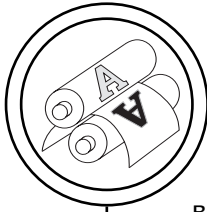
виготовлені з нових високолегованих антифрикційних композиційних матеріалів на основі композиційних матеріалів з відходів інструментальних сталей 7ХГ2ВМФ + (4÷8) % CaF₂ [1], 11РЗАМЗФ2 + (3÷7) % CaF₂ [2], а також з нікелевих сплавів типу ХН55ВТКЮ + (4÷8) % CaF₂ [3] та алюмінію АК12ММгН + (9÷12) % MoS₂ [4] та розробка рекомендацій по режимам оброблення для промисловості.

Деякі основні властивості нових зносостійких композиційних матеріалів для поліграфічних машин наведені у табл. 1.

Таблиця 1
Фізико-механічні та антифрикційні властивості високолегованих композитів

Властивості композитів	Марка композиційного сплаву			
	7ХГ2ВМФ + (4÷8) % CaF ₂	11РЗАМЗФ2 + (3÷7) % CaF ₂	ХН55ВТКЮ + (4÷8) % CaF ₂	АК12ММгН + (9÷12) % MoS ₂
Межа міцності на розтяг МПа	600–630	590–620	510–530	190–197
Твердість НВ, МПа	855–915	850–910	830–840	595–615
Ударна в'язкість, кДж/м ²	780–790	770–790	740–750	0,27–0,37
Коеф. тертя при 5 МПа	0,0055–0,0082*	0,0055–0,0080*	0,0027–0,0031*	0,0038–0,0050*
Інтенсивність зношування при 5 МПа	0,45–0,75	0,45–0,70	0,72–0,80	2,61–2,65
Інтенсивність зношування контртіла при 5 МПа	сліди	сліди	сліди	сліди
Гранична температура, °С	750–800	850–900	800–875	155
Граничне навантаження, МПа	7,0–7,5	7,5–8,0	7,9–8,2	6,5**

Примітка: * — випробування при 100° С; ** — випробування при 150° С; змащування індустріальним мастилом «І – 20» в парі з контртілом зі сталі 45 (45–48 НRC).



Слід особливо зазначити, що всі типи високозносостійких композитів синтезовані на базі використання промислових відходів основних виробництв, де великими серіями виготовляють важкогабаратні деталі з високолегованих штампових та інструментальних сталей (штампи для штампованих кузовних деталей автомобільної промисловості та швидкорізальних інструментів), а також алюмінієві та нікелеві деталі авіаційної, аерокосмічної та автотракторної галузей народного господарства. У цих відходах виробництва міститься цінна і гостродефіцитна для України сировина — вольфрам, ванадій, молібден, іридій, титан та інші елементи, які конче необхідні для вирішення задач створення новітніх зносостійких композитних матеріалів, особливо, деталей тертя. Їх створення дозволяє суттєво підвищити параметри надійності техніки, зокрема, довговічності, зносостійкості та ремонтоздатності.

Одночасно, покращується екологічна ситуація, бо в результаті створених авторами технологій те, що раніше вивозилось у відвали і захарашувало природне середовище (і це, до речі, вважалось нормою), тепер слугує вторинною сировиною для виготовлення складних і, одночасно, високозносостійких деталей тертя сучасних машинно-технологічних комплексів.

Доцільно підкреслити, що у склад композитної формованої маси вводять певну кількість твердого мастила у вигляді фториду кальцію CaF_2 (для композитів на основі інструмен-

тальних сталей та відходів виробництва нікелю) і дисульфиду молібдену MoS_2 (для композитів на базі алюмінієвих сплавів).

Після щільного змішування порошкових сумішей згідно технологічним регламентам тверде мастило рівномірно розподіляється на робочій поверхні деталі тертя. На рис. 1–5 наведені деякі типові приклади формування таких поверхонь тертя. Слід зазначити, що введення у склад композитів твердих мастил дозволяє у подальшому експлуатувати пари тертя без застосування спеціальних рідких мастильних речовин.

Робоча поверхня швидкохідного фіксатора ножової різальної машини WOHLEBERG Trim-tec 560, який виготовлено з композитного сплаву на основі алюмінію $\text{AK12MMgH} + (9\div 12)\% \text{MoS}_2$ [4] і, яка зображена на рис. 1 чітко дають уявлення про наявність інтерметалідних включень на поверхні, що були присутні в абразивних шламових відходах — основі синтезу зносостійкого композита (рис. 1, а, б). Великі за площею темні плями на рис. 1 — це тверде мастило з дисульфиду молібдену MoS_2 , що дозволяє при експлуатації машини не застосовувати змащування і забезпечує отримання необхідних параметрів зносостійкості та надійності.

Зразки поверхонь деталі, фото яких наведені на рис. 1, прошліфовані шліфувальними кругами з кубічного нітриду бора (марки ельбор ЛО, Росія) зернистістю 28 мкм при швидкості обертання інструменту 60 м/с.

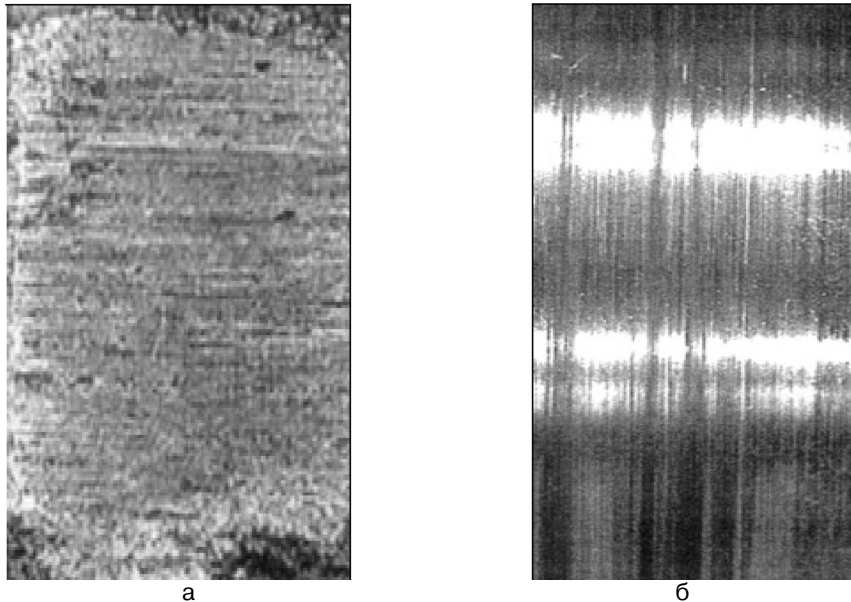
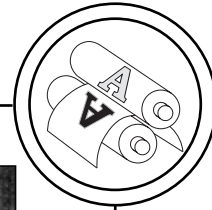


Рис. 1. Загальний вигляд контактних поверхонь тертя зразка підшипника (а) з високошвидкісного композиційного сплаву АК12ММГН + (9÷12) % MoS_2 та контртіла зі сталі 45 (б) [4] для високошвидкісної різальної машини WOHLBERG Trim-tec 560, $\times 5$

На рис. 2 надано зображення поверхні тертя зносостійкої деталі ковзання, синтезованої на основі використання шліфованих відходів при виробництві прецизійних деталей авіаційної промисловості з алюмінієвих сплавів.

На рис. 3 зображено поверхню тертя зносостійкої деталі ковзання, синтезованої на основі використання шламових відходів виробництва деталей з нікелевих сплавів.

Зазначимо, що поверхня була прошліфована ельборовим

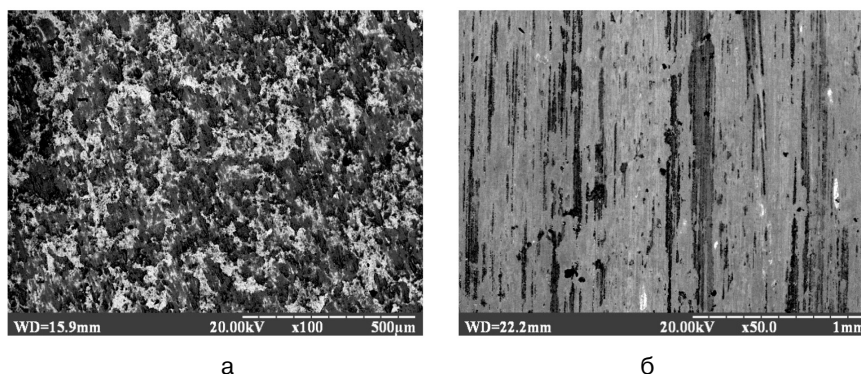


Рис. 2. Поверхні тертя зразка з матеріалу на основі відходів сплаву АК12ММГН з додаванням MoS_2 (а) [4] та контртіла із сталі 45 (б)

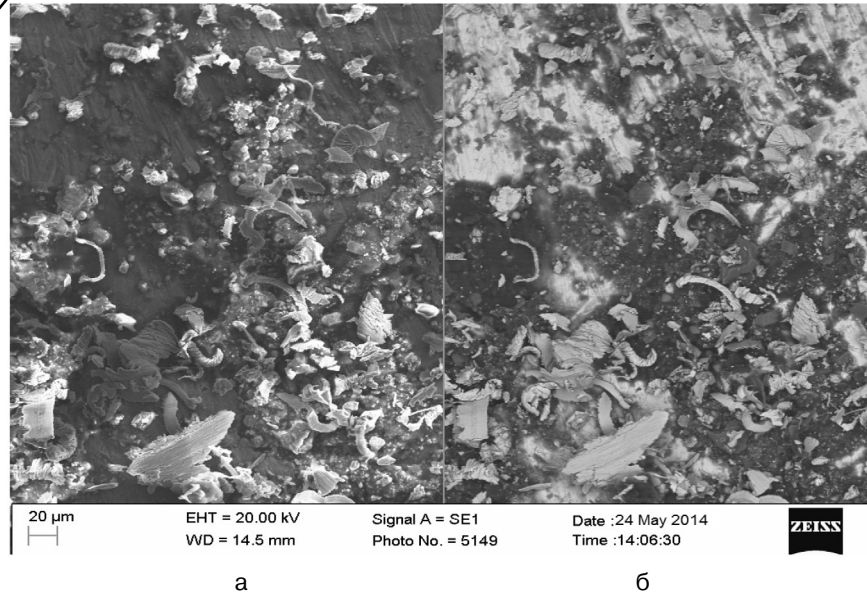
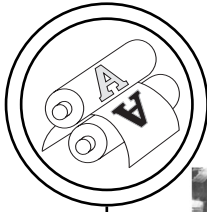


Рис. 3. Поверхня тертя підшипника ковзання, виготовленого зі зносостійкого композиту на основі нікелевого сплаву ХН55ВТКЮ з додаванням твердого мастила CaF_2 [3]: а — у вторинних електронах; б — у фазовому контрасті

кругом ЛОМ28Бр1 100 % при швидкості обертання абразивного інструмента 60 м/с.

На рис. 4 наведено зображення поверхні тертя високошвидкісного підшипника ковзан-

ня, синтезованого на основі шліфувальних відходів виробництва деталей з високолегованих інструментальних сталей типу 7ХГ2ВМФ + (4 ± 8) % CaF_2 [1].

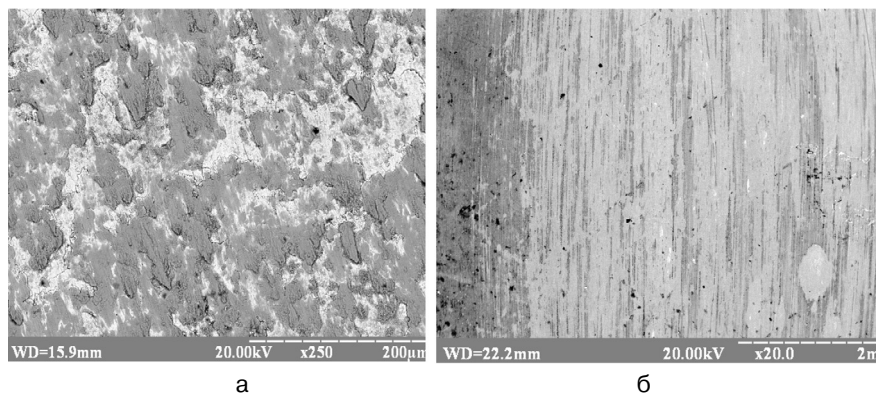
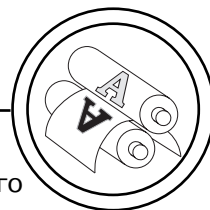


Рис. 4. Поверхня підшипника ковзання (а) з високолегованої інструментальної сталі 7ХГ2ВМФ + (4 ± 8) % CaF_2 для жорстких умов експлуатації: а — поверхня деталі; б — поверхня вала (контртіла) із сталі Р18



На рис. 5 показана поверхня підшипника ковзання для екстремальних умов експлуатації з композиту, синтезованого на основі швидкорізальної інструментальної сталі 11РЗАМЗФ2 з добавками твердого мастила у вигляді фториду кальцію CaF_2 у кількості до $9 \div 12\%$ [2].

Відомо [6–17], що зносостійкість деталей, як один із головних параметрів надійності обладнання, суттєво залежить від параметрів якості поверхонь тертя і, в першу чергу, від шорсткості та фізичних властивостей поверхневого шару. Ці параметри формуються на фінішних операціях тонкого абразивного оброблення.

У зв'язку з тим, що нові високозносостійкі композиційні сплави на основі алюмінію, нікелю та високолегованих інструментальних деталей знайшли своє використання у машинобудуванні та приладобудуванні відносно нещодавно, розгалужених та всебічних досліджень

процесів їх тонкого абразивного оброблення до цього часу практично немає. Зроблено лише перші кроки у цьому напрямку, зокрема, є поодинокі публікації, присвячені дослідженню впливу складу інструменту та режимів різання на параметри шорсткості поверхонь при тонкому абразивному шліфуванні [5–8].

Виходячи із загальних положень теорії абразивного оброблення матеріалів [20–27] та враховуючи специфічні властивості новітніх композиційних сплавів, було б вельми корисним для формування необхідних параметрів шорсткості поверхонь тертя при їх обробленні застосовувати шліфувальні круги з надтвердих синтетичних матеріалів, зокрема, з кубічного нітриду бору, що набув поширення у промисловості під торговою маркою «Ельбор» (ЛО) [7, 20, 26, 27]. На жаль, досліджень у цьому напрямку до сьогодні не велось. Це, безумовно, є перешкодою до повного викорис-

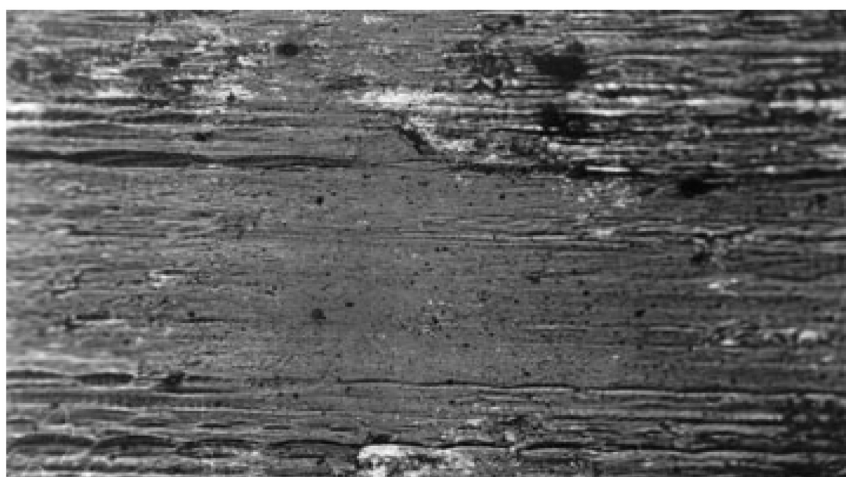
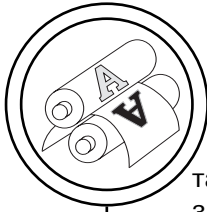


Рис. 5. Поверхня підшипника ковзання зі зносостійкого композиту 11РЗАМЗФ2 + $(9 \div 12)\%$ CaF_2 , $\times 200$



тання усіх резервів підвищення зносостійкості за рахунок використання, притаманних лише їм, властивостей найновітніх марок композитів на основі алюмінію і, у тому числі, зростання параметрів зносостійкості, надійності та довговічності шляхом формування найкращих параметрів шорсткості методами тонкого ельборового шліфування.

В науково-технічній літературі є багато публікацій із застосування інструментів з надтвердих синтетичних матеріалів для обробки деталей різних галузей виробництва [5, 20–27]. Науковцями та практикою провідних машинобудівних підприємств доведено, що застосування ельборового шліфування (перш за все, завдяки особливостям інструменту) дозволяє отримати найкращі показники якості оброблюваних поверхонь.

Втім відсутність технологічних рекомендацій з ельборового шліфування високолегованих та важкооброблюваних композитних сплавів призводить до застосування на практиці різних технологічних схем шліфування, далеко не завжди оптимальних. Вказане викликає поширення різних технологій, часто суттєво суперечливих, і, які здебільшого створені відповідно до можливостей того чи іншого підприємства.

Тому дослідження технологічних процесів тонкого ельборового шліфування новітніх марок композиційних матеріалів безумовно є актуальним питанням.

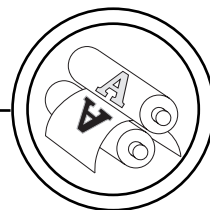
Саме тут є доцільним зауважити, що всі дослідження важ-

кооброблювальних сплавів були виконані із застосуванням звичайних для сучасного виробництва швидкостей шліфувального круга в межах 20–35 м/с.

Це диктувалось вимогами не знижувати техніку безпеки на шліфувальних операціях, бо міцнісні властивості абразивних кругів не гарантували безпечного шліфування деталей на швидкостях 50–100 м/с, могли не витримати динамічних навантажень при швидкісному шліфуванні, розірватись в процесі абразивного оброблення, важко травмувати працюючих та оточуючий персонал, а також нашкодити виробництву, створити аварійну ситуацію і, навіть, серйозно пошкодити дорогоцінні і, нерідко, унікальні прецизійні верстати та допоміжне обладнання.

Крім того, ті хто чинив супротив впровадженню у металообробні галузі промисловості швидкісне шліфування, посилялись на відсутність виробництва спеціальних прецизійних високошвидкісних шліфувальних верстатів, які здатні виконувати роботу при швидкостях обертання абразивних кругів в діапазоні 40–150 м/с.

Перші технологічні дослідження процесів швидкісного абразивного шліфування важкооброблюваних матеріалів були виконані ще у 60–70-х роках минулого століття [18, 20–27]. На жаль, в промисловості України (при існуванні відомих у світі наукових шкіл з прецизійної, абразивної та алмазної обробки у Києві, Харкові, Одесі, Львові та ін.) цей напрямок прогресивної



технології не набув реального поширення, хоча виконаними дослідженнями було доведено, що швидкісне шліфування має потужні потенційні можливості для суттєвого покращення параметрів якості поверхонь оброблення, що, безумовно, створює необхідні передумови для зростання параметрів зносостійкості та довговічності деталей пар тертя вузлів і механізмів машинно-технічних комплексів.

В індустріальних державах світу (США, ФРН, Японія, Великобританія) роботи зі швидкісного шліфування активно продовжувались. Про це красномовно свідчать деякі фактичні дані. Так, у США у 2003 р. було виготовлено 206,8 тис. верстатів з абразивним інструментом, що становило близько 40 % від загальної кількості виготовленого металорізального обладнання, при цьому 50 % з них — це верстати для високошвидкісного шліфування.

На Міжнародній виставці металорізальних верстатів у Лондоні (2007 р.) високошвидкісні шліфувальні верстати склали близько 30 % від усіх експонованих зразків.

Отже, дослідження технологічних процесів швидкісного ельборового шліфування високозносостійких композиційних матеріалів на основі швидкорізальних інструментальних сталей, нікелевих та алюмінієвих сплавів є актуальним питанням, що має безсумнівне наукове, так і, що не менш важливо, практичне значення для технологів-виробників.

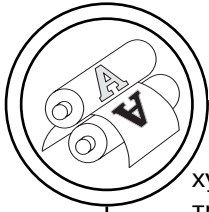
Результати проведених досліджень

Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної задачі виконувались згідно з методикою, наведеною у роботах [5–8].

Особливостями експериментів (стосовно методики) було:

1) застосування найсучаснішого верстатного обладнання, а саме, для швидкісного плоского шліфування — верстата прецизійної точності FF-250 HS-0117 фірми «Abawerk» (ФРН), що здатен забезпечити оброблення поверхонь зі швидкостями шліфувального круга ($v_{кр}$) до 120 м/с, а для швидкісного зовнішнього круглого шліфування — високопрецизійного верстата SS-125HS-0321 фірми «Werkzajt» (ФРН), який у змозі здійснювати прецизійне оброблення зовнішніх циліндричних поверхонь композитних деталей тертя зі швидкостями обертання шліфувального круга ($v_{кр}$) до 140–150 м/с.

2) як ріжучий інструмент при швидкісному шліфуванні новітніх типів зносостійких композитів були використані абразивні інструменти з кубічного нітриду бора (ельбор марки ЛО, Росія). Цей вибір було зроблено з урахуванням досліджень з вивчення взаємодії матеріалів поверхонь тертя ріжучих абразивних інструментів з широкою гамою їх фізико-механічних властивостей (електрокорунд 32А, карбід кремнію зелений 63С, алмаз синтетичний АС, ельбор ЛО) та високолегованих композитів різного складу [19]. З ура-



хуванням сучасної теорії електронної побудови речовини, зокрема, металевих поверхонь, було чітко сформульовано висновки, що найкращі результати з досягнення параметрів якості поверхонь оброблення високолегованих композитів забезпечує застосування шліфування оздоблювальними кругами з ельбору (ЛО) [19–21].

Також були здійснені заходи із забезпечення на необхідному рівні вимог техніки безпеки та промислової санітарії, а саме:

1) суттєво покращена якість абразивного інструменту (легування, наприклад, електрокорунда хромом, титаном, цирконієм, плакування абразивних зерен, поліпшення їх сортування за розміром і формою, отримання зерен лише з дрібною кристалічною побудовою, виготовлення шліфувальних кругів з заданою змінною характеристикою по вишині та ін.);

2) підсилення шліфувальних кругів за рахунок армування у їх склад сітки із скловолокна, поширення практики виготовлення кругів без центрального отвору — закріплення здійснюється (зазвичай) двома фланцями за допомогою 8-ми болтів, які проходять через пластикові втулки, передбачені в тілі круга при його виготовленні);

3) 100 %-ве пересування шліфувальних кругів у вакуумі;

4) здійснена практика обробки деталей комплектами кругів (багатокругові наладки);

5) повсюдно прийнято практикувати застосування найсучасніших гідростатичних направляючих, гідро та аероста-

тичних опор для шпинделів, балансування кругів безпосередньо на верстаті, підтримка стабільності окружної швидкості круга з урахуванням його зношуваності під час оброблення деталей, плавне варіативне регулювання кількості обертів деталі та інше;

6) суттєво удосконалено схеми шліфування (тангенційна подача, більш широке застосування при обробленні чашовидних кругів та інше);

7) реалізоване корінне удосконалення вимірювально-командних пристроїв та на їх основі — автоматизації циклу шліфування;

8) досягнуто практичного удосконалення інструментів для правки, автоматизації циклу правки та стабілізації ріжучої здатності шліфувального круга;

9) у зв'язку з тим, що при швидкісному шліфуванні суттєво збільшується об'єм зрізаного матеріалу за певний фіксований час, захисний запобіжник з листової сталі необхідно обов'язково розташовувати відносно абразивного круга, що обертається з високою швидкістю, так, щоб змінити напрямок потоку повітря, яке утворюється на поверхні круга, який обертається зі швидкостями 40–100 м/с і стає перешкодою подання змазувально-охолоджуючої рідини (МОР) у зону шліфування.

Основні результати дослідження швидкісного ельборового шліфування нових зносостійких високолегованих композитів наведені нижче. На рис. 6 показано графічне зображення досліджень окремих аспектів процесів шліфування компо-

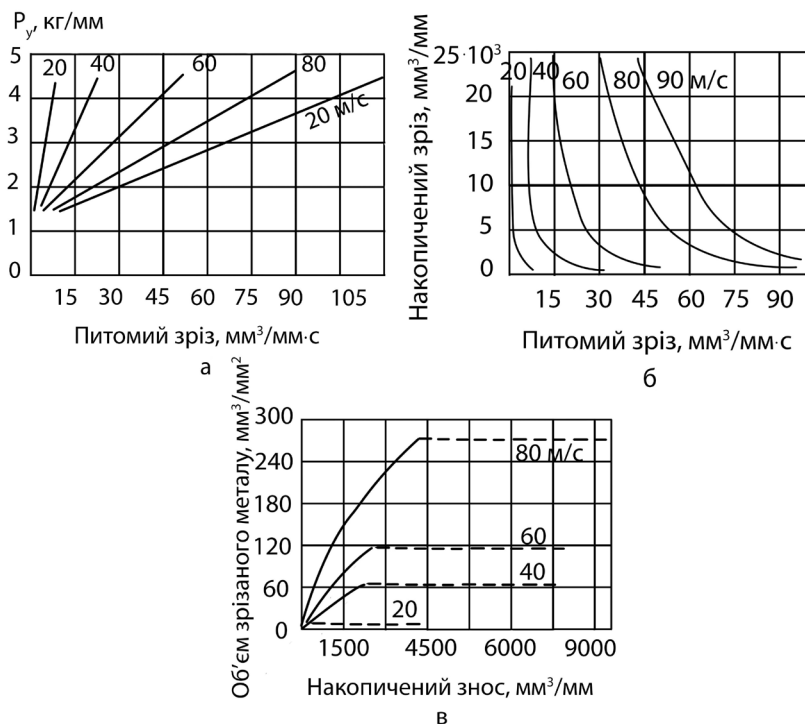
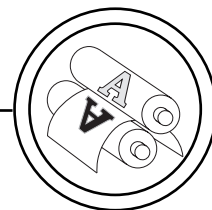


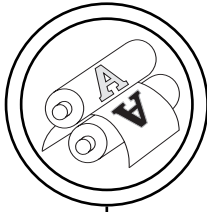
Рис. 6. Результати дослідження процесу швидкісного шліфування композитів при різних швидкостях круга: а — залежність питомої радіальної сили P_r шліфування від питомого зрізу для сплаву 7ХГ2ВМФ + (4÷8) % CaF_2 ; б — залежність накопиченого зрізу від питомого зняття шару металу для композиту 11РЗАМЗФ2 + (3÷7) % CaF_2 ; в — залежність об'єму зрізаного металу на одиницю витрат зношеної частини круга від накопиченого об'єму металу для композиту 85Х6НФТ + (3÷8) % CaF_2

зитів при різних швидкостях обертання ельборового круга.

Аналіз наведених даних свідчить про суттєвий вплив швидкості обертання шліфувального круга на всі найважливіші показники процесу різання (сили різання, накопичений зріз шару металу, об'єм зрізаного композиту на одиницю зношеної частини круга). Прослідковується тенденція (для всіх досліджених типів зносостійких композитів) покращення досліджених параметрів з 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 [7, 8].

У промисловості поряд зі швидкісним шліфуванням отримало розповсюдження шліфування великими зрізами металу (так зване «силове» шліфування). Воно дозволяє у ряді випадків, зокрема, при обробленні композитів на основі нікелю та алюмінію, отримати параметри оброблення з найкращими по-



Таблиця 2

Інтенсивність шліфування високолегованих композитів на основі нікелю та алюмінію

Тип шліфування	Оброблюваний матеріал	Швидкість обертання круга, м/с	Питомий зріз металу в мм ³ /мм·с	Параметр шорсткості поверхні, R _a , мкм
Кругле	Композит на основі нікелю ХН55ВТКЮ + (4÷8) % CaF ₂	60	15–38	0,710
		90	100	0,780
Плоске	Композит на основі алюмінію АК12ММГН + (9÷12) % 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 охолоджуючої рідини зі складом — гас (70 %), норсульфазол (25 %), олеїнова кислота (5 %).

казниками якості та мінімальними енергетичними витратами.

Деякі з основних результатів дослідження швидкісного силового шліфування новітніх композитів ельборовими кругами наведені у табл. 2.

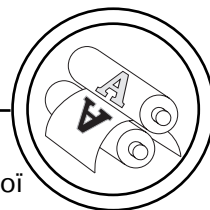
Аналіз табл. 2 дозволяє отримати достатньо важливі висновки, що мають як наукове, так і, безсумнівно, практичне значення.

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 з загальними теоретичними напрацюваннями у цій царині [15–26], що є додатковим свідченням єдності законів абразивного оброблення,

у тому числі, і у випадку прецизійного ельборового шліфування зносостійких композитів.

Об'єм металу, що зрізується у фіксовану одиницю часу, залежить від глибини занурення (врізання) окремих абразивних зерен у тіло деталі оброблення, яка визначається силою притискування круга до поверхні, що у даний момент шліфується, та від 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 круглому шліфуванні збільшується потужність шліфування і при певній глибині різання суттєво збільшуються (перевищуючи прийнятні норми) миттєві контактні температури у зоні зрізання стружки абразивними зернами [7, 8]. Це може викликати неприйнятні спотворення поверхневого шару оброблення. Проте, при подаль-



шому 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 у зону роботи з самозаточуванням. На рис. 7 наведені оптимальні значення зрізання шару металу, які відбуваються при відповідному збільшенні питомої сили притискування та швидкості круга.

Аналіз комплексу експериментальних даних дозволяє дійти ряду важливих для виробництва та подальших наукових пошуків висновків та рекомендацій.

Серед них слід зазначити такі:

1) швидкісне шліфування широкої гама високолегованих зносостійких композитів принципово дозволяє здійснити обробку заготовок деталей при знижених припусках на обробку;

2) отримані рекомендації та технологічні регламенти дозволяють здійснювати високоякісну та високопродуктивну обробку композиційних сплавів з достатньо широкими фізико-механічними властивостями (у тому числі і з підвищеною твердістю);

3) застосування силового шліфування у ряді випадків вик-

лює необхідність попередньої механічної обробки;

4) суттєво скорочуються витрати на правку та заміну інструмента, а також на підналадку шліфувального верстата порівняно з обробленням на звичайному обладнанні зі швидкістю обертання ельборового круга у межах 20–35 м/с, що позитивно впливає на технічні і, особливо економічні фактори оброблення (собівартість та продуктивність шліфувальної операції, енергетична складова потужності абразивної обробки, вартісні показники отримання необхідних параметрів якості поверхонь та інше);

5) відкриваються вагомні перспективи для значного покращення точності та шорсткості поверхонь оброблення композитних деталей тертя на принципово новій технічній базі (новітнє верстатне обладнання, ельборові шліфувальні інструменти та нові складні ефективних мастильно-охолоджуючих рідин);

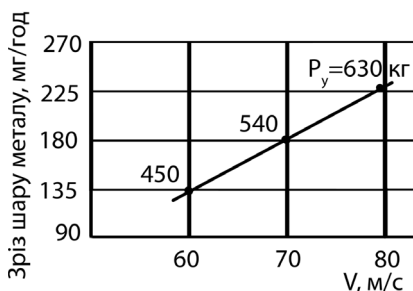
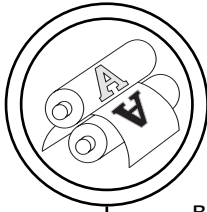


Рис. 7. Залежність між зрізанням зносостійкого композита 11РЗАМЗФ2 + (3÷7)% CaF₂, окружною швидкістю V ельборового шліфувального круга та питомою силою притискування круга P_y, при якій досягаються оптимальні значення по зрізанню об'єму композиту



6) суттєво знижуються питомі витрати потужності (при зрізанні шару композиту $1000 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ до $0,12\text{--}0,15 \text{ кВт}$);

7) досягаються зйоми шарів композиту при обробці сплавів на основі швидкорізальних інструментальних сталей до 280 кг/год , а при обробці композитів на основі нікелю — 345 кг/год , при цьому питома потужність шліфування знаходиться у межах до $0,25\text{--}0,75 \text{ кВт}$ на 1 мм вишини ельборового круга, а питома радіальна сила, що притискує круг до поверхні оброблення — у межах $1\text{--}5 \text{ кг/мм}$.

Встановлено, що при силовому шліфуванні новітніх марок композитів найбільш доцільним є застосування сіркованих та хлорованих мастил. Мастильно-охолоджуюча рідина (МОР) забезпечує найбільш ефективні результати при інтенсивності подачі МОР у зони зрізання стружки під тиском $5\text{--}8 \text{ кг/см}^2$.

Необхідно зазначити, що круги для швидкісного шліфування приблизно на 10% дорожче звичайних кругів, що, проте, виправдовується суттєвим підвищенням продуктивності обробки та, у решті решт зменшенням їх витрат. У цілому, застосування швидкісних кругів доцільно, якщо машинний час складає не менше 60% від оперативного. Щодо питомого об'ємного зносу шліфувального круга, то здебільш він знаходиться у межах $9\text{--}15 \%$, що є достатньо прийнятним для промислової практики.

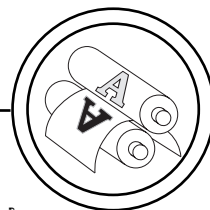
Безумовно заслуговують на детальну увагу результати експериментальних досліджень за-

лежності параметрів шорсткості R_a поверхонь оброблення новітніх композиційних високозносостійких композиційних сплавів [1–4] від режимів швидкісного шліфування, зернистості та типу зв'язки ельборових кругів (табл. 3–5).

Аналіз експериментальних даних (табл. 3–5) дозволяє дійти до важливих, особливо, для практичної технології підприємств, висновків.

По-перше, режими різання швидкісного шліфування зносостійких композиційних матеріалів суттєво впливають на параметр шорсткості R_a поверхонь оброблення.

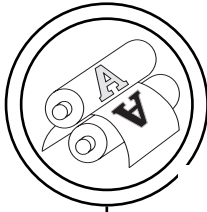
Це повністю співпадає з засадничими положеннями теорії абразивного шліфування. У нашому випадку, коли для оброблення застосоване швидкісне ельборове шліфування, необхідно акцентувати увагу на тому, що зростання швидкості обертання шліфувального круга у $2\text{--}3$ рази, обумовлює покращення шорсткості 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 зона ($\sim 40 \text{ м/с}$), коли відбувається деяке зростання параметру шорсткості R_a (хоча у подальшому процес різання нормалізується і відбувається стабільне покращення шорсткості поверхні). Ця закономірність



Таблиця 3
 Параметр шорсткості R_a при швидкісному плоскому шліфуванні зносостійких композитних сплавів 7ХГ2ВМФ + (4÷8) % CaF_2 [1], ХН55ВТКЮ + (4÷8) % CaF_2 [3], АК12ММГН + (9÷12) % MoS_2 [4]

Швидкість шліфувального круга $V_{кр}$, м/с	Швидкість виробу (поздовжня подача) V_b , м/хв	Параметр шорсткості R_a мкм для композитів														
		7ХГ2ВМФ				ХН55ВТКЮ				АК12ММГН						
		Глибина шліфування t , мм														
30	2	0,002	0,010	0,050	0,001	0,010	0,050	0,002	0,010	0,050	0,001	0,010	0,050	0,002	0,010	0,050
	5	0,63	0,68	0,70	0,60	0,67	0,69	0,59	0,61	0,63	0,63	0,68	0,70	0,60	0,61	0,63
	10	0,65	0,70	0,73	0,63	0,70	0,71	0,60	0,63	0,65	0,63	0,70	0,71	0,60	0,63	0,65
40	2	0,67	0,75	0,77	0,67	0,72	0,74	0,62	0,65	0,67	0,67	0,72	0,74	0,62	0,65	0,67
	5	0,69	0,71	0,73	0,65	0,68	0,71	0,61	0,63	0,65	0,65	0,68	0,71	0,61	0,63	0,65
	10	0,71	0,75	0,77	0,67	0,71	0,75	0,63	0,67	0,69	0,67	0,71	0,75	0,63	0,67	0,69
60	2	0,73	0,78	0,80	0,70	0,75	0,77	0,65	0,69	0,71	0,70	0,75	0,77	0,65	0,69	0,71
	5	0,61	0,66	0,67	0,63	0,67	0,69	0,61	0,62	0,64	0,63	0,67	0,69	0,61	0,62	0,64
	10	0,63	0,67	0,70	0,65	0,70	0,71	0,62	0,63	0,65	0,65	0,70	0,71	0,62	0,63	0,65
80	2	0,64	0,69	0,72	0,67	0,73	0,74	0,64	0,65	0,67	0,67	0,73	0,74	0,64	0,65	0,67
	5	0,60	0,64	0,69	0,62	0,66	0,70	0,55	0,58	0,60	0,62	0,66	0,70	0,55	0,60	0,64
	10	0,62	0,67	0,70	0,64	0,70	0,72	0,58	0,60	0,62	0,64	0,70	0,72	0,58	0,65	0,66
		0,65	0,69	0,72	0,65	0,73	0,75	0,60	0,67	0,68	0,65	0,73	0,75	0,60	0,67	0,68

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



Таблиця 4

Вплив зернистості на параметри шорсткості поверхні R_a при швидкісному плоскому шліфуванні зносостійких композитних сплавів 11P3AM3Ф2 + (3÷7) % CaF_2 [2], ХН55ВТКЮ + (4÷8) % CaF_2 [3], АК12ММГН + (9÷12) % MoS_2 [4]

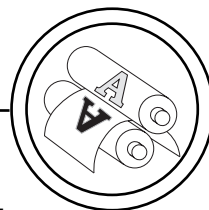
Характеристика ельборового (ЛО) інструменту	Матеріал зносостійких композитів		
	11P3AM3Ф2	ХН55ВТКЮ	АК12ММГН
	Параметр шорсткості R_a , мкм		
ЛО10Бр1 100 %	0,860	0,910	0,937
ЛО5Бр1 100 %	0,790	0,750	0,710
ЛОМ28Бр1 100 %	0,640	0,670	0,620
ЛОМ20Бр1 100 %	0,405	0,355	0,321
ЛОМ14Бр1 100 %	0,350	0,310	0,300
ЛОМ10Бр1 100 %	0,285	0,220	0,200
ЛОМ7Бр1 100 %	0,190	0,175	0,165

Примітки: 1) швидкість обертання круга $V_{кр} = 60$ м/с; 2) швидкість виробу (поздовжня подача $V_b = 5$ м/хв.); 3) поперечна подача $S_{поп} = 0,2$ мм/подв.хід; 4) мастильно-охолоджуюча рідина (МОР) — суміш зі складом: гас (70 %), норсульфозрезол (25 %), олеїнова кислота (5 %).

прослідковується для різних марок високозносостійких композитів, а також при зміні у достатньо широких межах поздовжньої подачі V_b та глибини шліфування t . По-друге, на параметр шорсткості R_a поверхонь оброблення деталей з новітніх марок композиційних сплавів суттєво впливає структура шліфувального круга. Головне — це вплив зернистості інструменту. Параметр шорсткості R_a зменшується майже в 4 рази зі зміною зернистості шліфувального інструменту від 100 мкм до 7 мкм. Розробляючи рекомендації для промислової практики, слід прийняти до уваги, що при швидкісному шліфуванні дрібнозернисті круги (М7-М14) схильні до швидкого заса-

лювання. Тому реально для розробки технологічних процесів раціонально застосовувати ельборові круги з 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 новітніх марок зносостійких композитів.

Щодо матеріалу зв'язки ельборових шліфувальних кругів, то при швидкісному шліфуванні найкращі результати по параметру шорсткості поверхні R_a забезпечують круги на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1. Це може бути пояснено її більш еластичною здатністю і, таким чином, при

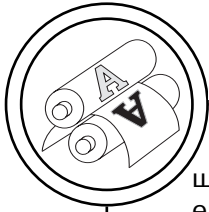


Таблиця 5

Вплив матеріалу зв'язки ельборового круга на параметри шорсткості поверхні R_a при швидкісному плоскому шліфуванні зносостійких композитних сплавів 1ПЗМЗФ2 + (3÷7) % CaF₂ [2], АК12ММГН + (9÷12) % MoS₂ [4]

Характеристика абразивного інструменту	Матеріал зв'язки круга	Матеріал композиту	
		1ПЗМЗФ2	АК12ММГН
		Параметр шорсткості R_a , мкм	
ЛО5Б1 100 %	Бакелітна Б1	0,820	0,730
ЛО5Бр1 100 %	Бакелітно-гумова К1	0,790	0,710
ЛО5К1 100 %	Керамічна К1	0,830	0,750
ЛО5М1 100 %	Металева М1	0,840	0,760
ЛОМ28Б1 100 %	Бакелітна Б1	0,660	0,630
ЛОМ28Бр1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,640	0,620
ЛОМ28К1 100 %	Керамічна К1	0,680	0,640
ЛОМ14Б1 100 %	Бакелітна Б1	0,380	0,330
ЛОМ14Бр1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,350	0,300
ЛОМ10Бр1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,285	0,200
ЛОМ7Бр1 100 %	Бакелітно-гумова Бр1	0,190	0,165

Примітки: 1) швидкість обертання круга $V_{кр} = 60$ м/с; 2) швидкість виробу (поздовжня подача $V_b = 5$ м/хв.); 3) поперечна подача $S_{пер} = 0,2$ мм/подв.хід; 4) глибина шліфування $t = 0,005$ мм; 5) мастильно-охолоджуюча рідина (МОР) — суміш зі складом: гас (70 %), норсульфорезол (25 %), олеїнова кислота (5 %).



шліфуванні (під час врізання ельборового зерна у метал) під дією складових сил різання кожне зерно начебто демфується в напрямку пружно-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 ельборового шліфування.

Зазначені закономірності співпадають з фундаментальними основами теорії абразивного різання металів, що є свідченням об'єктивності виконаних досліджень і, безумовно, додатково підтверджує наявність єдиних фізичних законів при обробленні матеріалів з різними фізики-механічними властивостями.

Що стосується круглого зовнішнього швидкісного ельборового шліфування новітніх марок зносостійких композитних сплавів, то в загальних рисах (з деякими нюансами) основні висновки, які наведені вище і які отримані при експериментальних дослідженнях швидкісного ельборового плоского шліфування, співпадають (внаслідок загальних рис у фізичних процесах шліфування).

Висновки

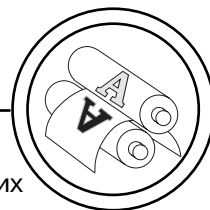
Узагальнюючи комплекс виконаних досліджень, необхідно зробити наступні висновки, які мають як наукове, так і, безперечно, практичне значення.

1. Вперше досліджено процеси швидкісного ельборового шліфування нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів виробництва деталей зі штампових і швидкорізальних високолегованих інструментальних сталей, а також нікелевих та алюмінієвих сплавів, що відкриває можливості одержання високоякісних деталей тертя з нових композитів для машинно-технологічних комплексів.

2. Показано, що основні закономірності швидкісного ельборового шліфування нових композиційних сплавів співпадають з засадничими основами абразивного оброблення.

3. Доведено, що на параметр якості поверхні R_a суттєво впливають зернистість, матеріал зв'язки ельборового круга та режими швидкісного ельборового шліфування.

4. Найкращі показники параметрів продуктивності оброблення і шорсткості поверхні R_a , які задовольняють високі вимоги до поверхонь деталей тертя поліграфічних машин 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) $V_B = 5$ 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 %), норсульфозфрезол (25 %), олеїнова кислота (5 %).

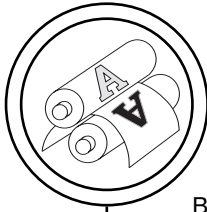


Подальші дослідження будуть спрямовані на виконання експериментів та встановлення закономірностей параметрів якості поверхонь оброблення нових композитних деталей тертя машин при швидкісному шліфуванні (глибини та ступеню наклепу, величині та знаку залишкових напружень у поверхневому шарі оброблення, впли-

ву на параметри якості силових факторів різання та миттєвих контактних температур), а також пошуку шляхів покращення якості поверхонь за рахунок застосування для швидкісного шліфування інших найновіших абразивних матеріалів на основі кубічного нітриду бора, а саме — кубоніту (Україна) та боразону (США).

Список використаної літератури

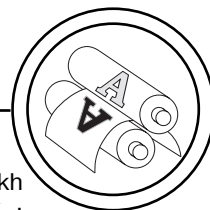
1. Патент України № 102299, МПК С22С22/02. Антифрикційний композиційний матеріал на основі інструментальної сталі / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Киричок П. О., Віцюк Ю. Ю., Мельник О. О., Подрезов Ю. М., Замулко С. О., Зора Б. П. — опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12.
2. Патент України № 60521, МПК С22С33/02 (2006.01). Композиційний підшипниковий матеріал / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Киричок П. О., Віцюк Ю. Ю., Мельник О. О. — опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12.
3. Патент України № 31545, МПК (2006) С22С19/03. Антифрикційний композиційний матеріал на основі нікелю / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Гавриш О. А., Холяк В. В., Віцюк Ю. Ю. — опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.
4. Патент України № 75523, МПК С22С21/02 (2006.01). Зносостійкий матеріал на основі алюмінієвого сплаву / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Гавриш О. А., Киричок П. О., Віцюк Ю. Ю., Мельник О. О., Замулко С. О., Дорфман І. Є. — опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.
5. Роїк Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації : монографія / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш. — К. : НТУУ «КПІ», 2007. — 404 с.
6. Киричок П. О. Технологія поліграфічного машинобудування : навчальний посібник / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. В. Шевчук, А. П. Гавриш, О. І. Лотоцька. — К. : НТУУ «КПІ», 2014. — 454 с.
7. Киричок П. О. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, А. В. Шевчук, Ю. Ю. Віцюк. — К. : вид. НТУУ «КПІ», 2014. — 557 с.
8. Роїк Т. А. Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні : монографія / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, О. А. Гавриш. — К. : ЕКМО, 2010. — 212 с.
9. Косторнов А. Г. Триботехническое материаловедение : монографія / А. Г. Косторнов. — Луганск : изд. «Ноулидж», 2012. — 701 с.
10. Федорченко И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И. М. Федорченко. — Изд. 2-е, доп. и перераб. — К. : Наукова думка, 2009. — 404 с.
11. Грозин Б. А. Повышение эксплуатационной надёжности деталей машин / Б. А. Грозин, Д. А. Драйгород, В. Н. Семирог-Орлик. — М. : Машгаз, 1960. — 294 с.
12. Костецкий Б. Н. Надёжность и долговечность машин / Б. Н. Костецкий, И. Г. Московский, Л. И. Бершадский, А. К. Караулов. — К. : Техніка, 1975. — 408 с.
13. Костецкий Б. И. Соппротивление изнашиванию деталей машин / Б. И. Костецкий. — М. : Машгаз, 1959. — 216 с.



14. Крагельський І. В. Развитие науки о трении / И. В. Крагельський, В. С. Щедров. — М. : изд. АН СССР, 1956. — 235 с.
15. Крагельський І. В. Трение и износ / И. В. Крагельський. — М. : Машиностроение, 1968. — 478 с.
16. Рыжов Э. В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э. В. Рыжов. — К. : Наукова думка, 1984. — 340 с.
17. Маталин А. А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства машин / А. А. Маталин. — Л. : Mashgiz, 1976. — 384 с.
18. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. — Л. : Машиностроение, 1979. — 248 с.
19. 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. Віцюк // Технологія і техніка друкарства. — 2015. — № 3(49). — С. 119–128.
20. Лавриненко В. І., Новіков М. В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці : Енциклопедичний довідник / Під заг. ред. акад. НАН України М. В. Новікова. — К. : вид. ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2013. — 456 с.
21. 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.
22. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. — М. : Машиностроение, 1974. — 320 с.
23. Ящерицын П. И. Прогрессивная технология финишной обработки деталей / П. И. Ящерицын. — Минск : Беларусь, 1989. — 312 с.
24. Байкалов А. К. Введение в теорию шлифования / А. К. Байкалов. — К. : Наукова думка, 1978. — 207 с.
25. Мазур М. П., Внуков Ю. М., Доброскок В. Л., Залога В. О., Новоселов Ю. К., Якубов Ф. Я. Основы теории резания материалов : Підручник / Під заг. ред. М. П. Мазура. — Львів : Новий світ, 2010. — 423 с.
26. Лысанов В. С., Букин В. А., Глаговский Б. А., Кремень З. И., Попов С. А. Эльбор в машиностроении : Монография / Под. общ. ред. В. С. Лысанова. — Л. : Машиностроение, 1989. — 287 с.
27. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : Монография в 6 т. / Под. общ. 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.

References

1. Patent Ukrainy № 102299, MPK S22S22/02. Antyfraktsiyni kompozytsiyni material na osnovi instrumentalnoi stali / Roik T. A., Havrysh A. P., Kyrychok P. O., Vitsiuk Iu. Iu., Melnyk O. O., Podrezov Iu. M., Zamulko S. O., Zora B. P. — opubl. 25.06.2013, Biul. № 12.
2. Patent Ukrainy № 60521, MPK S22S33/02 (2006.01). Kompozytsiyni pidshypnykovyi material / Roik T. A., Havrysh A. P., Kyrychok P. O., Vitsiuk Iu. Iu., Melnyk O. O. — opubl. 25.06.2011, Biul. № 12.
3. Patent Ukrainy № 31545, MPK (2006) S22S19/03. Antyfraktsiyni kompozytsiyni material na osnovi nikeliu / Roik T. A., Havrysh A. P., Havrysh O. A., Kholiavko V. V., Vitsiuk Iu. Iu. — opubl. 10.04.2008, Biul. № 7.
4. Patent Ukrainy № 75523, MPK S22S21/02 (2006.01). Znosostiiky material na osnovi aliuminiivoho splavu / Roik T. A., Havrysh A. P., Havrysh O. A., Kyrychok P. O., Vitsiuk Iu. Iu., Melnyk O. O., Zamulko S. O., Dorfman I. Ie. — opubl. 10.12.2012, Biul. № 23.



5. Roik T. A. Kompozytsiini pidshypnykovi materialy dlia pidvyshchenykh umov ekspluatatsii : monohrafiia / T. A. Roik, P. O. Kyrychok, A. P. Havrysh. — K. : NTUU «KPI», 2007. — 404 s.

6. Kyrychok P. O. Tekhnolohiia polihrafichnoho mashynobuduvannia : navchalnyi posibnyk / P. O. Kyrychok, T. A. Roik, A. V. Shevchuk, A. P. Havrysh, O. I. Lototska. — K. : NTUU «KPI», 2014. — 454 s.

7. Kyrychok P. O. Finishne obroblennia znosostiikykh detalei drukarskykh mashyn / P. O. Kyrychok, T. A. Roik, A. P. Havrysh, A. V. Shevchuk, lu. lu. Vitsiuk. — K. : vyd. NTUU «KPI», 2014. — 557 s.

8. Roik T. A. Suchasni systemy tekhnolohii zahotivelnoho vyrobnytstva v mashynobuduvanni : monohrafiia / T. A. Roik, A. P. Havrysh, O. A. Havrysh. — K. : EKMO, 2010. — 212 s.

9. Kostornov A. G. Tribotekhnicheskoe materialovedenie : monografija / A. G. Kostornov. — Lugansk : izd. «Noulidzh», 2012. — 701 s.

10. Fedorchenko I. M. Kompozicionnye spechenye antifrikcionnye materialy / I. M. Fedorchenko. — Izd. 2-e, dop. i pererab. — K. : Naukova dumka, 2009. — 404 s.

11. Grozin B. A. Povyshenie jekspluatacionnoj nadjozhnosti detalej mashin / B. A. Grozin, D. A. Drajgorod, V. N. Semirog-Orlik. — M. : Mashgaz, 1960. — 294 s.

12. Kostec'kij B. N. Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin / B. N. Kostec'kij, I. G. Moskovskij, L. I. Bershadskij, A. K. Karaulov. — K. : Tehnika, 1975. — 408 s.

13. Kostec'kij B. I. Soprotivlenie iznashivaniyu detalej mashin / B. I. Kostec'kij. — M. : Mashgaz, 1959. — 216 s.

14. Kragel's'kij I. V. Razvitie nauki o trenii / I. V. Kragel's'kij, V. S. Shhedrov. — M. : izd. AN SSSR, 1956. — 235 s.

15. Kragel's'kij I. V. Trenie i iznos / I. V. Kragel's'kij. — M. : Mashinostroenie, 1968. — 478 s.

16. Ryzhov Je. V. Tehnologicheskie metody povyshenija iznosostojkosti detalej mashin / Je. V. Ryzhov. — K. : Naukova dumka, 1984. — 340 s.

17. Matalin A. A. Kachestvo poverhnosti i jekspluatacionnye svojstva mashin / A. A. Matalin. — L. : Mashgiz, 1976. — 384 s.

18. Filimonov L. N. Vysokoskorostnoe shlifovanie / L. N. Filimonov. — L. : Mashinostroenie, 1979. — 248 s.

19. Havrysh A. P. Vplyv fizyko-mekhanichnykh vlastyvoستي abrazyvnykh materialiv na protses shlifuvannia vysokolehovanykh kompozytiv dlia polihrafichnykh mashyn / A. P. Havrysh, T. A. Roik, P. O. Kyrychok, O. O. Melnyk, lu. lu. Vitsiuk // Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva. — 2015. — № 3(49). — S. 119–128.

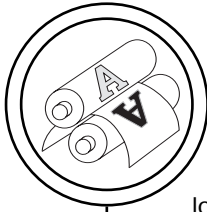
20. Lavrynenko V. I., Novikov M. V. Nadtverdi abrazyvni materialy v mekhanoobrobtsti : Entsyklopedychnyi dovidnyk / Pid zah. red. akad. NAN Ukrainy M. V. Novikova. — K. : vyd. INM im. V. M. Bakulia NAN Ukrainy, 2013. — 456 s.

21. Instrumenty iz sverhtvjordyh materialov (pod. red. akad. NAN Ukrainy N. V. Novikova, d-ra tehn. nauk S. A. Klimenko. 2-e izd., pererab. i dop.). — M. : Mashinostroenie, 2014. — 608 s.

22. Maslov E. N. Teorija shlifovanija materialov / E. N. Maslov. — M. : Mashinostroenie, 1974. — 320 s.

23. Jashhericyn P. I. Progressivnaja tekhnologija finishnoj obrabotki detalej / P. I. Jashhericyn. — Minsk : Belarus', 1989. — 312 s.

24. Bajkalov A. K. Vvedenie v teoriju shlifovanija / A. K. Bajkalov. — K. : Naukova dumka, 1978. — 207 s.



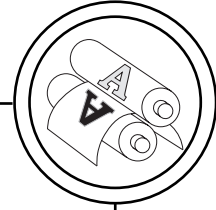
25. Mazur M. P., Vnukov Iu. M., Dobroskok V. L., Zaloha V. O., Novoselov Iu. K., Yakubov F. Ia. Osnovy teorii rizannia materialiv : Pidruchnyk / Pid zah. red. M. P. Mazura. — Lviv : Novyi svit, 2010. — 423 s.

26. Lysanov V. S., Bukin V. A., Glagovskij B. A., Kremen' Z. I., Popov S. A. Jel'bor v mashinostroenii : Monografija / Pod. obshh. red. V. S. Lysanova. — L. : Mashinostroenie, 1989. — 287 s.

27. Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primenenie : Monografija v 6 t. / Pod. obshh. N. V. Novikova. — K. : ISM im. V. N. Bakulja NANU, 2007. — T. 6 : Almazno- abrazivnyj instrument v tehnologijah obrabotki / Pod. red. A. A. Shepeleva. — 340 s.

В статье приведены результаты экспериментального исследования процессов скоростного шлифования поверхностей деталей трения из высоколегированных композитов для полиграфической техники. Впервые в научной и технологической практике исследовано технологические процессы скоростного ельборового шлифования новых высоколегированных композитных сплавов на основе инструментальных сталей и шлифовальных отходов цветных сплавов из никеля и алюминия. Показано, что основные закономерности скоростного ельборового шлифования высоколегированных композитов из шламовых отходов инструментальных сталей, никелевых и алюминиевых материалов совпадают с фундаментальными основами теории шлифования материалов. Доказано, что на параметр качества поверхности обработки R_a и параметры производительности скоростного шлифования новых износостойких высоколегированных композитов существенно влияют зернистость, материал связки ельборового 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. Разработаны рекомендации по выбору режимов резания для скоростного ельборового шлифования деталей трения различного технологического назначения, которые изготавливаются из новых высоколегированных композиционных сплавов на основе шлифовальных отходов инструментальных сталей, никеля и алюминия, которые обеспечивают требования необходимых параметров шероховатости поверхности и продуктивности технологических процессов.

Ключевые слова: новые композитные материалы; шлифовальные отходы; детали трения; инструмент; шероховатость поверхности; параметры производительности технологического процесса; высокоскоростное шлифование; эльборовые круги; технологические рекомендации.



The results of experimental study of high-speed grinding surfaces processes of friction parts made from high friction composites for printing equipment are presented in the article. Processes of high-speed elbor grinding of new high-composite-based alloys and tool steel and grinding waste of nonferrous alloys of nickel and aluminum were investigated for the first time in the scientific and technological practices. It has been shown that the basic regularities of high-speed elbor grinding of high-composites from sludge waste of tool steels, nickel and aluminum materials coincide with the fundamentals of grinding materials theory. It was proved that the granularity, material of elbor circle bunch and grinding cutting conditions affect on the surface parameter R_a quality and on the processing performance parameters of high-speed grinding of new wear-resistant high-composites. Elbor grinding wheels with granularity 14–28 microns on bakelitno-regulated rubber bond and cutting conditions provide the best performances of parameter R_a , which satisfy the high demands to the working surfaces of friction parts. The advantages of surface treatment by elbor wheels have been shown. It was developed the recommendations on the choice of cutting conditions for elbor high-speed grinding of friction parts for various technological purposes, which are made from new heavily doped composite alloys which are based on the grinding waste of tool steels, nickel and aluminum. These materials provide the necessary requirements of surface roughness and productivity processes.

Keywords: new composite materials; grinding wastes; friction parts; tools; surface roughness; parameters of process performance; high-speed grinding; elbor circles technological recommendations.

Рецензент — О. М. Величко, д.т.н.,
професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 03.04.15