

УДК 621.923



О. В. Тігаренко



О. В. Руднев



Р. М. Стрельчук

ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ОСЕРДЬ КУЛЬ БРОНЕБІЙНИХ ПАТРОНІВ

У статті розглянуто можливість заміни витратного рідкого способу змащення поливом (3 % розчин соди) на контактний спосіб нанесення твердих мастильних матеріалів безпосередньо на алмазний круг при шліфуванні осердя броньбійних куль з твердого сплаву Т15К6. Експериментально підтверджена ефективність використання стеарину та себацінової кислоти як твердих мастильних матеріалів для шліфування зі швидкістю від 15 м/с до 35 м/с. Оцінювання показників питомої роботи шліфування та енергоємності показує можливість підвищення продуктивності та економії енергетичних і водних ресурсів.

К л ю ч о в і с л о в а: броньбійні кулі, важкооброблювані матеріали, різання, мастильно-охолоджувальні технологічні засоби, тверді сплави, тверді мастильні матеріали, шліфування, стеарин, себацінова кислота, енергоємність.

Постановка проблеми. У Національній гвардії України триває процес переозброєння військових частин та підрозділів новітнім стрілецьким озброєнням. Загони спеціального призначення цього року отримали сучасні снайперські гвинтівки UAR-10 під патрон за стандартом НАТО 7,62 мм × 51 мм та штурмові гвинтівки UAR-15 калібру 5,56 мм × 45 мм вітчизняного виробництва підприємства «Укрор» [1]. Серед основних вимог до патронів, сформульованих Міністерством оборони України, зазначається забезпечення великої проникної здатності та відповідної заброньової дії [2]. Частково цю задачу вдається вирішити шляхом використання в осердях куль надміцних та надтвердих матеріалів – високовуглецевих загартованих та легованих сталей, металокерамічних твердих сплавів, а також завдяки високій точності та забезпеченню якості виготовлення зовнішніх поверхонь осердь (див. рис. 1).

Головною технологічною складністю оброблення зазначених матеріалів осердь є їх високі твердість, міцність, фрикційність, а також погана тепло- та температуропровідність. Все це вимагає використання спеціального обладнання, інструментів, технологічних прийомів, потребує більшого часу і коштів [3]. Не менш вагомою проблемою у наданні осердю остаточної форми та розмірів різанням (особливо шліфуванням) є використання синтетичних мастильно-охолоджувальних технологічних засобів (МОТЗ) у значних об'ємах (до 300 л/хв [4]) з необхідністю фільтрації і складного процесу утилізації відпрацьованої сировини. Вичерпність природних, перш за все, водних ресурсів та жорсткі вимоги до екологічності виробничих процесів (особливо багатосерійних) роблять актуальним пошук альтернативних способів змащування зони різання важкооброблюваних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нові напрямки наукових досліджень останніх 15-ти років з винаходження менш витратних та більш екологічних способів змащування отримали свій розвиток у технологіях мінімального змащування (minimum quantity lubrication – MQL), криогенних (cryogenic technique) технологіях, технологіях сухого різання (dry cutting), а також технологіях різання з використанням твердих мастильних речовин (cutting with solid lubricants). Впровадження кожного із зазначених способів у виробничий процес потребує суттєвих змін як в системі та способі подання МОТЗ, так і у виборі складу та підготовці компонентів (наприклад, додання неметалевих/металевих наночасточок) згідно з видом оброблюваного матеріалу та процесом різання [5].

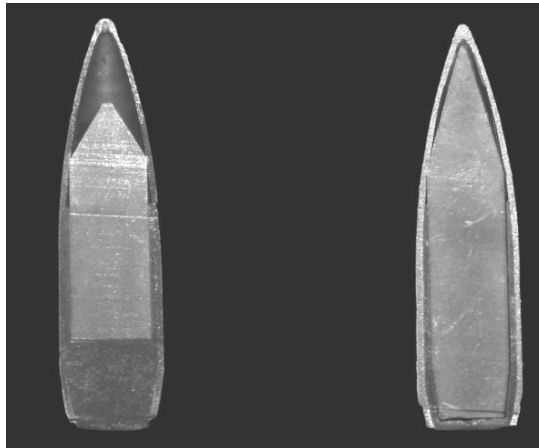


Рисунок 1 – Розріз бронейних куль Stiletto з осердям із металокерамічних твердих сплавів [2]

Найбільше використання отримали технології MQL, засновані на розпиленні під тиском мікродоз МОТЗ у суміші зі стиснутим повітрям у зону різання. Гарні результати як за суттєвим скороченням витрат МОТЗ, так і за якістю обробленої поверхні, зменшенню сил різання, підвищенню зносостійкості інструмента були отримані для процесів точіння [6], фрезерування [7], свердління [8] та шліфування [9, 10]. Найбільші складнощі впровадження технології MQL, у тому числі значні інвестиційні витрати, притаманні саме обробці важкооброблюваних матеріалів [11–14].

Використання криогенного охолодження за певних умов дозволяє збільшити період стійкості інструмента та підвищити продуктивність внаслідок збільшення швидкості різання. Проте обробка може супроводжуватися зміною властивостей ріжучого інструмента і деталі через збільшення твердості, зменшення пластичності та тріщиностійкості матеріалів унаслідок дії низьких температур. Використання у різанні титанових сплавів криогенного охолодження часто потребує додаткових мастильних компонентів. Широкому застосуванню метода перешкоджають проблеми безпеки робіт, а також складності впровадження технології для різного верстатного обладнання [15].

Головний недолік використання повітря як МОТЗ – погана мастильна здатність. Одним з перспективних методів повітряного охолодження зони різання є використання активованих повітряних середовищ, наприклад, охолодженого іонізованого повітря [16].

Альтернативною та менш витратною заміною компонентів МОТЗ, особливо у випадку абразивної обробки шліфуванням, можуть бути тверді мастильні матеріали (ТММ) [4, 17]. Їх суттєвою перевагою є нечутливість до дії колових та торцевих повітряних потоків, які генеруються шліфувальним кругом, а значить можливість проникати в зону шліфування та вступати в активну фізико-хімічну взаємодію з ювенільними поверхнями, що утворюються у процесі абразивної обробки. Відомо [18], що їх введення у зону різання при обробці швидкорізальних сталей (Р9Ф5) значно зменшує сили різання, температуру на контактних поверхнях та підвищує стійкість ріжучого інструмента внаслідок мастильної, демпфувальної та диспергувальної дії компонентів ТММ [4]. Вибір складу ТММ (графіт, віск, тефлон, силікон, парафін, MoS_2 , hBN тощо) та способу їх введення в зону різання (насичення шліфувального круга порошковими пастами, безперервне/преривчасте введення ТММ притискними пристроями) [14] здійснюється для кожного конкретного випадку за показниками ефективності процесу та якістю обробленої поверхні. Так, при шліфуванні загартованих швидкорізальних сталей Р12Ф3К10М3, Р6М5 ельборовими кругами введення композиції ТММ на основі гексагонального нітриду бора в зону різання дозволило знизити інтенсивність небажаних фазових та структурних перетворень у поверхневому шарі, оскільки рівень контактної температури шліфування вдалось зменшити на 35-50 % [19].

У цілому процес шліфування важкооброблюваних матеріалів з використанням ТММ замість рідких МОТЗ мало досліджений, тому оцінювання можливості такої заміни становить практичний інтерес як з погляду на зменшення використання вичерпних водних ресурсів, мінімізацію негативного впливу відпрацьованих речовин на навколишнє середовище, так і економію енергетичних ресурсів в умовах серійного та багатосерійного виробництва куль для бронейних патронів в інтересах Національної гвардії України.

Метою наукових досліджень є покращення екологічності процесу алмазного шліфування важкооброблюваних матеріалів для осердь куль броньбійних патронів шляхом використання твердих мастильних матеріалів.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення поставленої мети в статті вирішено такі завдання: запропоновано альтернативу традиційному способу змащування зони контакту рідкими речовинами; вибрано складові мастильної речовини та спосіб їх введення; визначено показники ефективності використання нового складу мастильної речовини; проведено експериментальні дослідження та запропоновано найбільш раціональні умови використання зазначеного альтернативного способу змащування.

Дослідження процесу шліфування важкооброблюваних матеріалів осердь куль броньбійних патронів для Національної гвардії України проведено на твердому сплаві Т15К6 на основі суміші карбідів вольфраму та титану з додаванням кобальту як в'язучої речовини. За функціональними властивостями цей сплав (табл. 1) перевершує леговані та загартовані високовуглецеві сталі і може бути гідною заміною більш дорогим твердим сплавам на основі вольфраму та нікелю (ВН-10, ВН-8), які використовують для виготовлення осердь підкаліберних броньбійних снарядів [20]. Допуск на шліфування зовнішнього діаметра та конусної частини осердя складає від 0,02 мм до 0,06 мм [3].

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості твердого сплаву Т15К6

Складові, %:	
WC	79
TiC	15
Co	6
Щільність, г/см ³	від 11,1 до 11,6
Твердість HRA	90
Міцність на стиск, МПа	від 4150 до 4210
Міцність на згин, МПа	1176
Модуль пружності, МПа	$52 \cdot 10^4$
Ударна в'язкість, МДж/м ²	9,0
Коефіцієнт Пуассона	0,22
Теплопровідність, Вт/м·К	від 12,6 до 37,7
Коефіцієнт термічного розширення, $10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	від 5,6 до 6,0

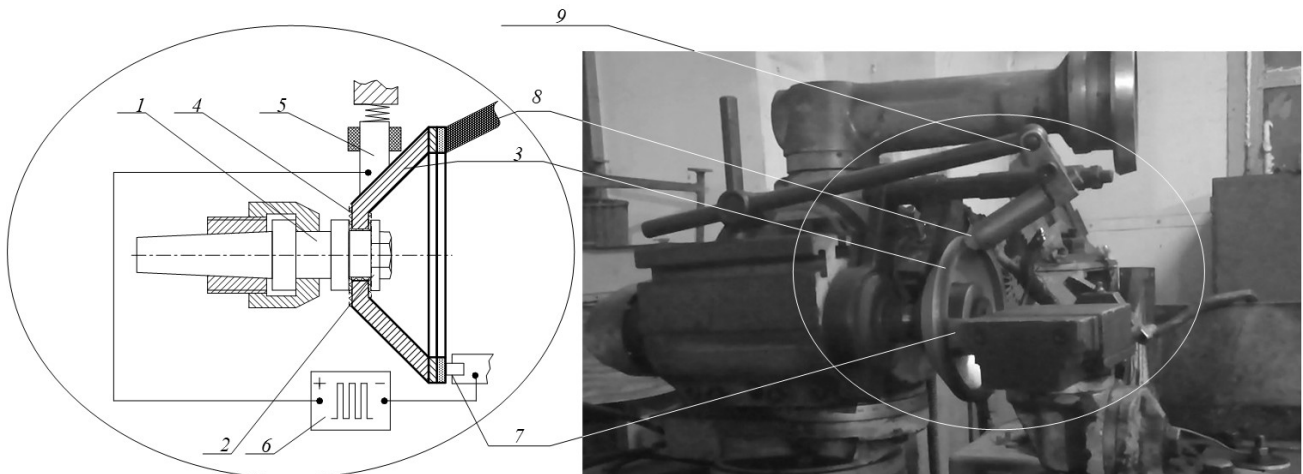
Процес шліфування реалізовано на верстаті 3Д642Е, модернізованому з метою використання різних типів МОТЗ (див. рис. 2). Для підвищення інтенсивності процесу обробки матеріалів з високою твердістю в зону різання введено додаткове джерело електричної енергії 6. Алмазний круг 3 на струмопровідних металевих зв'язках під'єднано до щітки струмопідводу 5, він є анодом. Твердосплавна пластина 20 мм × 20 мм × 5 мм, з'єднана з генератором імпульсів, є катодом.

Для ізоляції алюмінієвого корпусу алмазного круга 3 на його посадковий отвір нанесено діелектричне покриття 4 товщиною від 30 мкм до 45 мкм згідно з рекомендаціями праці [21]. Алмазний круг 12А2-45°АС6-100/80 М1-01-4 має чашкову форму.

Сила електричного струму варіювалася в діапазоні від 4 А до 6 А, напруга холостого ходу – від 60 В до 80 В, частота імпульсів складала 66 кГц.

Швидкість шліфування V змінювалася в діапазоні від 15 м/с до 35 м/с. Поперечна подача твердосплавної пластини 7 здійснювалася за пружньою схемою за допомогою ваг з силою притискання P_n від 0,8 МПа до 2,0 МПа.

У звичайних умовах змащування поливом потребує швидкості подавання МОТЗ від 50 л/хв до 300 л/хв, залежно від властивостей матеріалу заготівки. Традиційно найбільш розповсюдженим рідким МОТЗ для твердих сплавів є 3 % розчин соди у воді.



1 – шпиндель верстата; 2 – деталі кріплення шліфувального круга; 3 – корпус алмазного круга; 4 – діелектричне покриття; 5 – щітка струмовідвода; 6 – генератор імпульсів; 7 – твёрдосплавна пластина; 8 – твёрдий мастильний матеріал; 9 – контактно-фрикційний пристрій
Рисунок 2 – Модернізована система «верстат – пристрій – інструмент – деталь»

У виборі складу ТММ автори керувалися рекомендаціями довідника [4], згідно з якими базові компоненти мають забезпечувати високу мастильну дію – знижувати мікросхоплювання, задирання, фрикційне нагрівання та сили тертя в зоні контакту «деталь – інструмент». З найбільш екологічно безпечних компонентів ТММ взято стеарин технічний та себацінову кислоту, які сплавлені у співвідношенні 1:1. На відміну від загальноприйнятих способів введення ТММ у зону різання (імпрегнування шліфувального круга, додавання у формувальну масу абразивного матеріалу) мастильний шар з ТММ запропоновано наносити за допомогою контактно-фрикційного пристрою 9, в якому сформовані циліндричні олівці діаметром від 10 мм до 12 мм притискаються з зусиллям $P_{пр} = 5 \text{ гс}$ до алмазного круга 3 під кутом $\alpha = 60^\circ$ (рис. 2, поз. 8).

Показниками ефективності процесу шліфування з використанням запропонованого складу ТММ та змащуванням поливом 3 % розчином соди у воді взято енергетичні характеристики: енергоємність B_M [22] та питому роботу шліфування $A_{шт}$ [23].

Енергоємність шліфування визначалася за роботою A (енергією), що витрачалася на знімання маси твёрдого сплаву ΔM , згідно з працею [22]:

$$B_M = \frac{A}{\Delta M}, \text{ Дж/г.} \quad (1)$$

Питома робота шліфування, необхідна на зрізання об'єму матеріалу, визначалася зі співвідношення, наведеного у праці [23]:

$$A_{шт} = \frac{P_z \cdot V}{Q}, \quad (2)$$

де P_z – тангенціальна складова сили різання, Н;
 V – швидкість різання, м/с;
 Q – продуктивність процесу, $\text{мм}^3/\text{хв}$.

Продуктивність процесу шліфування визначалася як

$$Q = \frac{F \Delta h}{T}, \quad (3)$$

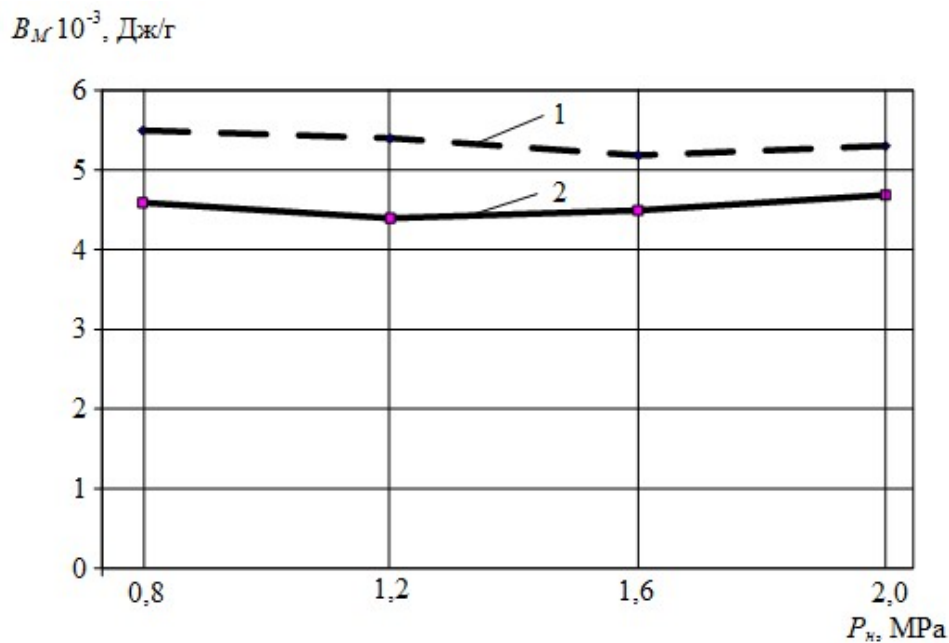
де F – площа поперечного перерізу твердосплавної пластини, мм²;

Δh – лінійне знімання матеріалу, мм;

T – час шліфування, хв.

У розрахунках показників ефективності процесу шліфування обох способів враховано усереднені експериментальні дані з трьох повторів шліфування з поливом та з ТММ.

Перші результати оцінювання впливу нормального тиску P_n подачі пластини Т15К6 на енергоємність процесу шліфування B_M за постійної швидкості різання засвідчили менші значення останнього (на 11-18 %) при використанні ТММ, порівнюючи з традиційним способом поливом (рис. 3). Це означає, що суміш стеарину з себаціновою кислотою має кращі мастильні якості, забезпечує менший коефіцієнт тертя і як результат – процес шліфування стає менш енерговитратним. Загальну тенденцію до незначної зміни показника B_M для обох мастильних речовин можна пояснити пропорційним зростанням продуктивності шліфування.



1 – полив 3 % розчином соди; 2 – ТММ

Рисунок 3 – Залежність енергоємності шліфування від нормального тиску притискання твердосплавної пластини Т15К6 при обробці зі швидкістю $V = 25$ м/с

Загальна закономірність зміни значень показника B_M у разі варіювання нормального тиску P_n може бути описана поліноміальною функцією

$$B_M = a \cdot P_n^2 + b \cdot P_n + c, \quad (4)$$

де a , b , c – коефіцієнти рівняння, значення яких наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнтів емпіричних рівнянь

Шліфування	Коефіцієнти рівняння (4)			Коефіцієнти рівняння (5)		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
зі змащуванням поливом	0,05	-0,33	5,8	0,05	0,69	2,82
з ТММ	0,1	-0,46	4,95	-0,09	1,35	1,22

Швидкість різання має набагато більший вплив на енергоємність процесу (рис. 4). Її збільшення при постійному тиску притискання пластини Т15К6 призводить до зростання енергоємності процесу як при використанні ТММ, так і при змащуванні поливом. Такий результат є цілком логічним, оскільки теплова потужність процесу різання визначається за швидкістю переміщення теплового джерела. Цікавим є те, що при використанні ТММ інтенсивність зростання показника B_M складає 42 %, а у випадку змащування поливом – 54 %. Відповідно ТММ сприяють більш активному самозаточуванню рельєфу алмазного круга і як наслідок забезпечують кращу продуктивність процесу.

Загальна закономірність зміни значень показника B_M при варіюванні швидкості різання V може бути описана поліноміальною функцією

$$B_M = d \cdot V^2 + e \cdot V + f, \quad (5)$$

де d, e, f – коефіцієнти рівняння, значення яких наведені у табл. 2.

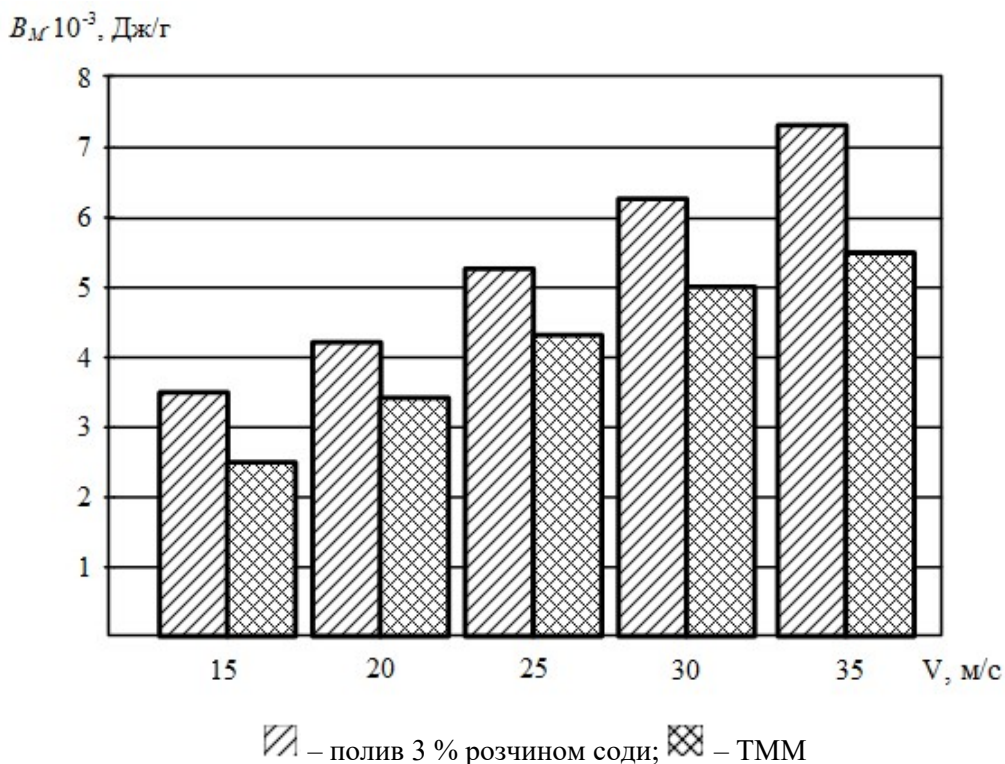


Рисунок 4 – Залежність енергоємності шліфування від швидкості різання твердосплавної пластини Т15К6 за нормального тиску притискання $P_H = 1,2$ МПа

Отримані результати показують можливість заміни традиційного способу змащення поливом твердими мастильними матеріалами для шліфування важкооброблюваних матеріалів. У дослідженому діапазоні швидкості різання від 15 м/с до 35 м/с така заміна демонструє не тільки можливість економії вичерпних водних ресурсів, витрати яких сягають 35 л/хв, а й підвищення продуктивності процесу за менших витрат енергії. Для розроблення рекомендацій щодо перспектив використання ТММ у обробці важкооброблюваних матеріалів осердь бронейних куль у подальшому необхідно оцінити якість отриманої поверхні (шорсткість, структура, мікротвердість) та визначити найбільш раціональні параметри режиму різання для кожного з матеріалів.

Висновки

Порівняльний аналіз енергетичних показників шліфування твердого сплаву Т15К6 для осердь бронейних куль з використанням як мастильної речовини ТММ (стеарин та себацінова кислота) і рідкого розчину поливом (3 % розчин соди) дозволив встановити можливість заміни витратного традиційного способу змащування в межах швидкості різання від 15 м/с до 35 м/с. Зафіксовані значення питомої роботи шліфування та енергоємності засвідчили ефективність використання ТММ як з погляду на продуктивність процесу, так і економічність використання енергетичних та водних ресурсів.

У статті вирішено такі завдання: у дослідженому діапазоні швидкостей різання (від 15 м/с до 35 м/с) для змащування зони контакту «алмазний круг – твердий сплав Т15К6» замість традиційного способу змащування поливом запропоновано використовувати ТММ, сплавлені у вигляді циліндричного олівця, притиснутого до алмазного круга; досліджений склад ТММ зі стеарину та себацінової кислоти (1:1) забезпечує кращі ріжучі властивості алмазного круга завдяки зменшенню теплонапруженості зони контакту; ефективність використання запропонованого способу змащення, порівнюючи зі змащуванням поливом, підтверджена отриманими енергетичними показниками процесу: енергоємністю та питомою роботою шліфування. Для оцінювання впливу швидкості різання та зусилля подачі твердого сплаву на енергоємність процесу отримані емпіричні залежності; проведено експериментальні дослідження, що підтвердили можливість використання ТММ для обробки твердих сплавів осердь бронейних куль замість витратних (до 35 л/хв) та екологічно небезпечних способів змащування поливом.

Перелік джерел посилання

1. Інформаційний інтернет-портал. URL: <http://surl.li/bejtr> (дата звернення: 20.12.2021).
2. Інформаційний інтернет-портал. URL: <http://surl.li/bejtx> (дата звернення: 20.12.2021).
3. Агеев Н. П., Данилин Г. А., Огородников В. П. Технология производства патронов стрелкового оружия. Ч. 3. Обработка резанием, термическая и химическая обработка, сборка. Проектирование технологических процессов. Санкт-Петербург : БГТУ, 2006. С. 33–34.
4. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник / под общ. ред. Л. В. Худобина. Москва : Машиностроение, 2006. 544 с.
5. Ghadimi A., Saidur R., Metselaar H. A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions. *Int. J. Heat Mass Transf.*, 2011. Vol. 54, No 17. P. 4051–4068.
6. Influence of minimum quantity of lubrication (MQL) when turning hardened SAE 1045 steel: a comparison with dry machining / M. A. Sampaio et al. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2018. Vol. 98, № 1–4. P. 959–968.
7. Tosun N., Huseyinoglu M. Effect of MQL on surface roughness in milling of AA7075-T6. *Mater. Manuf. Process.*, 2010. Vol. 25, No 8. P. 793–798.
8. Tasdelen B., Wikblom T., Ekered S. Studies on minimum quantity lubrication (MQL) and air cooling at drilling. *J. Mater. Process Technol.*, 2008. Vol. 200, No 1–3. P. 339–346.

9. Minimum quantity lubrication in grinding: effects of abrasive and coolant–lubricant types / T. Tawakoli et al. *J. Clean Prod*, 2011. Vol. 19, No 17–18. P. 2088–2099.
10. Multi-objective optimization for grinding of AISI D2 steel with Al₂O₃ wheel under MQL / A. Khan et al. *Materials*, 2018. Vol. 11, No 11. P. 2269–2275.
11. An experimental investigation of the effects of workpiece and grinding parameters on minimum quantity lubrication – MQL grinding / T. Tawakoli et al. *Int. J. Mach. Tool Manuf*, 2009. Vol. 49, No 12–13, P. 924–932.
12. An investigation on surface grinding of AISI 4140 hardened steel using minimum quantity lubrication – MQL technique / M. H. Sadeghi et al. *Int. J. Mater. Form*, 2010. Vol. 3, No 4, P. 241–251.
13. A comprehensive review on minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using nano-cutting fluids / Zafar Said Z. et al. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 2019. Vol. 105. P. 2057–2086.
14. Nadolny K., Kieraś S., Sutowski P. Modern approach to delivery coolants, lubricants and antiadhesives in the environmentally friendly grinding processes. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 2021. Vol. 8. P. 639–663.
15. Кирейнов А. В., Есов В. Б. Современные тенденции применения СОТС при лезвийной обработке труднообрабатываемых материалов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, № 2. С. 1–13.
16. Boswell B., Islam M. N., Davies I. J., Pramanik A. Effect of machining parameters on the surface finish of a metal matrix composite under dry cutting conditions. *Proc. Inst. Mech. Eng. B. J. Eng. Manuf.*, 2017. Vol. 231, No 6. P. 913–923.
17. Твердий змащувальний матеріал для комбінованої обробки матеріалів струмопровідним абразивним інструментом: пат. 58078 Україна: МПК В24В 1/00. № 201011928; заявл. 8.10.2010; опубл. 25.03.2011, Бюл. № 6. 3 с.
18. Panaioti V. A. Applying Solid Lubricant to the Grinding-Wheel Surface. *Russian Engineering Research*, 2017. Vol. 37, No. 4. P. 359–362.
19. Панайоти В. А. Влияние твердых смазок на фазовый состав шлифованной поверхности быстрорежущих сталей. *Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении* : тр. IV междунар. науч. конф. FRITME-2015, ИМАШ РАН, г. Москва, 24 – 26 нояб. 2015 г. Москва, 2015. С. 189 – 191.
20. Боеприпасы : учебник в 2 т. / под общ. ред. В. В. Селиванова. Москва : МПУ им. Н. Э. Баумана, 2016. Т. 1. С. 477–478.
21. Pupan L., Gutsalenko Yu. , Rudnev A., Titarenko O. Effect of morphological features on dielectric properties of plasma electrolytic oxidation coatings on D16T aluminum alloy / E. Sevidova et al. In: *Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. P. 542–551.
22. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов. Москва : Машиностроение, 1974. 320 с.
23. Попов С. А., Малевский Н. П., Терещенко А. М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. Москва : Машиностроение, 1977. 263 с.

Стаття надійшла до редакції 02.12.2021 р.

УДК 621.923

О. В. Титаренко, А. В. Руднев, Р. М. Стрельчук

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЕРДЕЧНИКОВ ПУЛЬ БРОНЕБОЙНЫХ ПАТРОНОВ

В статье рассмотрена возможность замены расходного жидкого способу смазывания поливом (3% раствор соды) на контактный способ нанесения твердых смазочных материалов непосредственно на алмазный круг при шлифовании сердечников бронейных пуль из твердого сплава Т15К6. Экспериментально подтверждена эффективность использования стеарина и себаценовой кислоты в качестве твердых смазочных материалов при шлифовании со скоростью от 15 м/с до 35 м/с. Оценивание показателей удельной работы шлифования и энергоёмкости показывает возможность повышения производительности при экономии энергетических и водных ресурсов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: бронейные пули, труднообрабатываемые материалы, резание, смазочно-охлаждающие технологические средства, твердые сплавы, твердые смазочные материалы, шлифование, стеарин, себаценовая кислота, энергоёмкость.

UDC 621.923

O. Titarenko, O. Rudnev, R. Strelchuk

IMPROVING THE ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF THE DIAMOND GRINDING IN PRODUCTION OF THE BULLET CORES FOR ARMOUR-PIERCING CARTRIDGES

One of the main tasks by organizing a multi-batch production of cartridges for modern rifles is reducing the usage of lubricants and coolants during the machining of difficult-to-cut materials. Excessive use of exhaustible water resources and the expensive process of recycling waste lubricants poses the problem of environmental friendliness especially acute for shaping the cores by grinding. The article focuses on the results and comparative analysis of diamond grinding of titanium-tungsten hard alloy T15K6 with the use of various lubricating media - cooling technological mean (CTM) with irrigation (3% soda solution of water) and solid lubricants (technical stearin, sebacic acid, mixture (1:1) of stearin with sebacic acid. The efficiency of the process was estimated by specific energy intensity, specific work, productivity. The grinding speed exerts the biggest influence on specific energy intensity and specific work, the intensity of these growths during grinding with the introduction of a solid lubricant mixture (1:1) of stearin with sebacic acid into the cutting zone is much less (by 12%) compared to the CTM with irrigation. The best combination of the indicated characteristics ensures the use of a solid lubricant based on mixture of stearin with sebacic acid. Experimentally confirmed the possibility to increase the range of grinding speeds, the processing efficiency and make the diamond grinding of hard alloys for bullet cores less consumable and more environmentally friendly.

К e y w o r d s: bullet cores, armour-piercing cartridges, difficult-to-cut materials, cutting, cutting zone, lubricating and cooling technological means, lubricating with irrigation, hard alloys, solid lubricants, diamond grinding, stearin, sebacic acid, specific energy intensity, specific work, productivity.

Тігаренко Оксана Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0001-6811-7537>

Руднев Олександр Віталійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри інтегрованих технологій машинобудування імені М. Ф. Семка Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0002-4091-6748>

Стрельчук Роман Михайлович – кандидат технічних наук, докторант кафедри інтегрованих технологій машинобудування імені М. Ф. Семка Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0002-7221-031X>