

СТЕПАНОВ М.С., ГАСАНОВ М.И., РУДНЄВ О.В., КОТЛЯР О.В., ТИТАРЕНКО О.В., ИВАНОВА М.С. БАРАНОВ В.М.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТВЕРДИХ ЗМАЩУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ АЛМАЗНОМУ ШЛІФУВАННІ ТРУДНООБРОБНИХ СПЛАВІВ І СТАЛІВ

Проаналізовано результати досліджень алмазного шліфування важкооброблюваних матеріалів, що використовуються при виготовленні та ремонту авіаційної техніки: титанового сплаву VT-22 та жароміцної дисперсійно-твердіючої високолегованої нержавіючої сталі 10X11H23T3MP. Шліфування проводилося з використанням твердих змащувальних матеріалів, що були розроблені авторами. Отримані результати дозволяють стверджувати, що тверді змащувальні матеріали здатні ефективно зменшувати роботу тертя. Стеаринову кислоту слід вважати основою для створення ТЗМ з подальшим удосконаленням їх складу.

Ключові слова: алмазне шліфування, тверді змащувальні матеріали, важкооброблювані матеріали, титановий сплав, жароміцна дисперсійно-твердіюча високолегована нержавіюча сталь.

STEPANOV M.S., GASANOV M.I., RUDNEV A.V., KOTLYAR O.V., TITARENKO O.V., IVANOVA M.S., BANOV V.M.
EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF USING SOLID LUBRICANTS IN DIAMOND GRINDING OF HARD-TO-MACHINE ALLOYS AND STEELS

The results of research on cutting forces during diamond grinding of materials used in the manufacture and repair of aircraft equipment: titanium alloy VT-22 and heat-resistant dispersion-hardening high-alloy stainless steel 10X11H23T3MP were analyzed. Grinding was carried out using solid lubricating materials developed by the authors. The obtained results allow us to state that solid lubricating materials are able to effectively reduce friction. Stearic acid should be considered the basis for the creation of TZM with further improvement of their composition.

Keywords: Key words: diamond grinding, hard lubricating materials, hard-to-machine materials, titanium alloy, heat-resistant dispersion-hardening high-alloy stainless steel.

Більшість технологічних операцій механічної обробки неможливе без застосування ЗОР. ЗОР сприяє суттєвому поліпшенню параметрів процесу різання, зокрема зниження контактної температури, зменшення «засалювання» шліфувального круга тощо. При використанні ЗОР застосовуються твердіші круги, ніж при шліфуванні «всуху». Алмазні шліфувальні круги можуть застосовуватися як з використанням ЗОР, так і без. Бажано шліфувати заготовки із застосуванням ЗОР, так як при цьому шліфувальний круг менше зношується і є можливість обробки на більш жорстких режимах.

Проте, ЗОР та продукти їхньої переробки залишаються одним із головних джерел забруднення навколишнього середовища.

Витрати виробництва та експлуатацію ЗОР становлять від 5 до 15% виробничих витрат при витратах на інструмент до 4%. Високі експлуатаційні витрати на ЗОР є однією з причин скорочення їх використання на металорізальних верстатах. Альтернативною заміною ЗОР вважаються тверді змащувальні матеріали (ТЗМ).

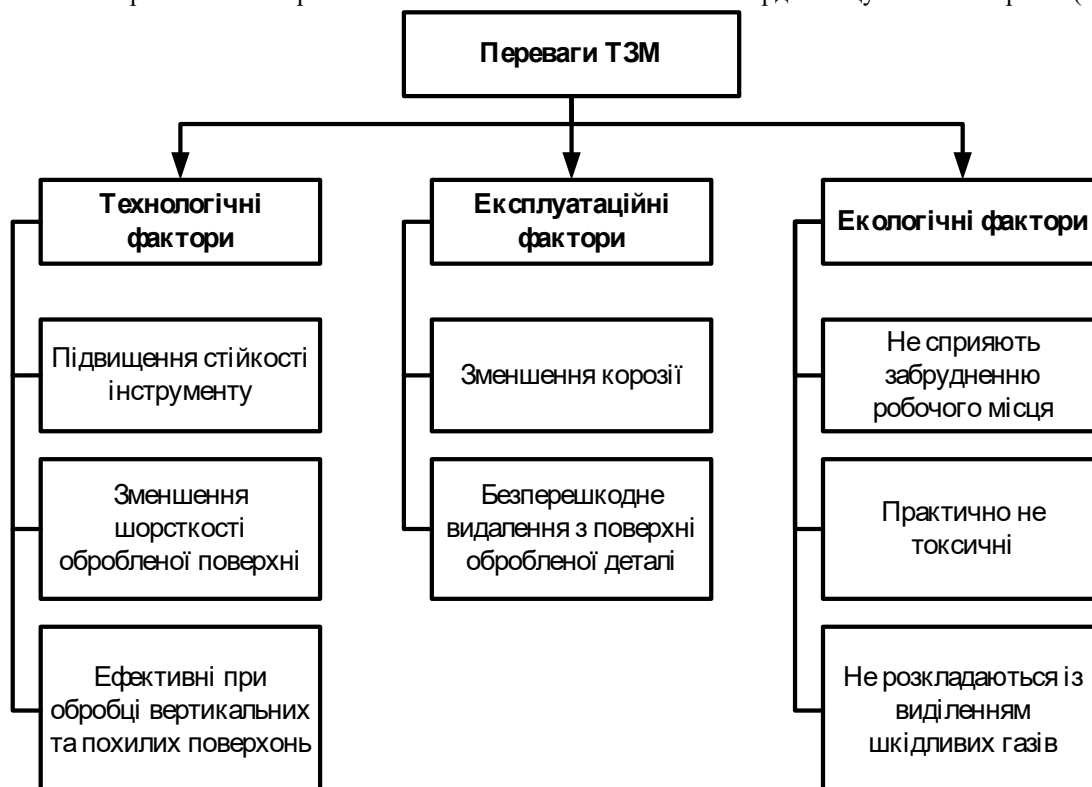


Рис. 1 – Переваги ТЗМ

При введенні їх в зону обробки можна значно зменшити силу різання, знизити температуру у зоні контакту, підвищити стійкість абразивного інструменту [1].

Використання ТЗМ може також поліпшити шорсткість шліфованої поверхні. Так у роботі [2] робиться висновок, що підвищення шорсткості поверхні, пов'язане із застосуванням уривчастих кругів, можна компенсувати нанесенням на робочу поверхню круга твердого мастила у складі: стеаринова кислота (60 – 65%), олеїнова кислота (20 – 25%), ацетамід (інше) [2].

Одним із лідерів у розробці та використанні ТЗМ є авіакосмічна корпорація Boeing, яка виробляє ТЗМ для власного виробництва та для реалізації різним споживачам.

В Україні дослідженню ТЗМ значну увагу також приділяє низка організацій. Для підвищення стійкості інструменту при алмазному шліфуванні та покращення санітарно-гігієнічних норм праці можна використовувати ТЗМ у наступному складі: віск – 48%, графітол – 50%, олеїнова кислота – 2% [3].

Для зниження коефіцієнта тертя в зоні контакту можна використовувати тверді мастила на основі дисульфиду та диселеніду молібдену, що дозволяє знизити температуру різання [4].

З метою підвищення ефективності застосування твердих мастил при заточуванні ріжучого інструменту круги просочують полімерсодержащими матеріалами. Просочення круга полягає у введенні в круг полімерних компонентів з додаванням поверхнево-активних речовин. При цьому розрізняють рідке та сухе просочення. Сухе просочення круга здійснюється безпосередньо в процесі шліфування [5]. Відомі спроби нанесення твердого мастильного матеріалу в розплавленому стані на робочу поверхню шліфувального круга, що призвело до зменшення шорсткості Ra від 3 до 35% (залежно від складу ТЗМ порівняно зі шліфуванням без застосування ТЗМ. Найбільш помітне зниження шорсткості при шліфуванні сталей 40X, 12X13, ХВГ, Р6М5 забезпечував ТЗМ до складу якого входили графіт сріблястий і дисульфід молібдену [6]. У деяких дослідженнях стверджується, що до складу твердого мастила для шліфувальних кругів раціонально застосувати диселенід молібдену, йодистий кадмій та окис гексафторпропілену. При цьому утворюються хімічно стійкі та термостійкі захисні плівки. У процесі обробки окис гексафторпропілену піддається деструкції з утворенням макрорадикалів із високою реакційною здатністю. Макрорадикали, що містять фтор, адсорбуються на ювенільних поверхнях оброблюваних деталей і, надаючи слабку дію, що розтягує, забезпечують пластичне деформування при зніманні металу. В даний час обсяг інформації про властивості ТЗМ є необхідним, але недостатнім для забезпечення необхідної продуктивності обробки та точності шліфованої поверхні.

Однією з розв'язуваних завдань є коригування і вдосконалення вихідної рецептури ТЗМ (зокрема для змінних умов експлуатації).

В даний час універсальний склад ТЗМ, який задовольняв би всім вимогам до продуктивності обробки до якості шліфованої поверхні відсутня. Тому наукові дослідження спрямовані на визначення можливостей ефективного використання ТЗМ при шліфуванні важкооброблюваних матеріалів залишаються актуальними.

Якість функціонування ТЗМ є комплексною властивістю, що включає показники властивостей ТЗМ і виражається через показники ефективності всього процесу механічної обробки.

Параметри якості шліфованої поверхні можуть бути забезпечені різними методами та способами, діапазон яких є досить широким.

На даному етапі теорії різання при вирішенні більшості операційних технологічних питань визначення вкладу кожного з факторів у загальну оцінку якості обробленої поверхні при шліфуванні є актуальним завданням.

Мета дослідження – визначення значущості впливу зернистості шліфувального круга, глибини різання та ТЗМ на шорсткість поверхні при алмазному шліфуванні.

Для забезпечення вихідних параметрів шорсткості обробленої поверхні заготівлі важливо оцінити їх з урахуванням режимів обробки, матеріалу заготівлі, характеристики шліфувального круга, а й з урахуванням складу і витрати ТЗМ.

Шліфували заготовки з важкооброблюваних матеріалів: сплаву ВК6 (використовується для виробництва ріжучих пластин інструментів), сплаву ВТ22 (використовується для виробництва деталей та вузлів деталей, у тому числі авіаційної техніки), високоміцної сталі 10X11H23ТЗМР (використовуваної для виробництва деталей, які експлуатуються та агресивних середовищ, наприклад лопатки турбін, диски, пружини).

Шліфування проводили на верстаті моделі ЗД642Е кругами на бакелітовій зв'язці із зернистістю АС4 50/40 100%, АС4 100/80 100%, АС4 160/125 100%.

Параметри режиму шліфування: швидкість круга $V_k=25$ м/с, швидкість поздовжнього переміщення столу $S_{пр}=1$ м/хв, глибина різання $t=0,005 - 0,015$ мм/дв. хід.

Як ТЗМ використовували зразки наступного складу: стеаринова кислота – 80%, нітрид бору гексагональний – 20%.

Склад ТММ наносили на ріжучу поверхню кола через 2 подвійні ходи столу (на третьому) без зміни швидкості круга.

Нині найчастіше технологічні процеси оцінюють за кількома критеріями, тобто застосовують узагальнену оцінку. При цьому заздалегідь задають спосіб приведення кількох критеріїв до одного узагальненого.

Складність отримання узагальненого критерію у тому, що якість ТЗМ необхідно оцінювати не саме собою, а реальному процесі алмазного шліфування.

У ході досліджень порівнювали «значимість» параметрів круга, ТЗМ та режимів обробки. Відомо [7], що з оцінки якості кругів використовують:

- основні показники (продуктивність, період стійкості круга, питома витрата алмазу та ін);
- силові показники (складові сили різання, умовна напруга різання та ін.);
- енергетичні показники (ефективна потужність шліфування, питома витрата енергії по знятому металу та ін);
- додаткові показники (коефіцієнт ріжучої здатності круга, коефіцієнт шліфування та ін).

Теоретично оптимізації процесу різання глибину різання вважають головним обуренням, а під керуючим впливом зазвичай розуміють поздовжню подачу і швидкість різання [8].

Достовірність порівняльної оцінки технологічної ефективності ТЗМ багато в чому залежить від обґрунтованого вибору критеріїв оцінки їх технологічних властивостей.

Якщо для порівняльної оцінки мастильно-охолоджуючих технологічних засобів немає необхідної інформації, остаточно оцінювати технологічну ефективність можна за комплексним показником

$$\varphi_{ki} = \sum_{n=1}^M P_{in}^{opt} \times R_n^{opt},$$

де R_{in}^{opt} – нормоване значення пріоритету за n-м критерієм для i-ї СОЖ (i-го складу ПММ);

R_n^{opt} - значимість (ваговий коефіцієнт) n-го критерію;

M – число критеріїв.

Для оцінки «значимості» досліджуваних параметрів було прийнято:

$$K_{Ra}^z = \frac{R_a^{z_i}}{R_a^{z_n}}$$

- критерій ефективності застосування кола (за шорсткістю)
- де $R_a^{z_i}$ і $R_a^{z_n}$ - шорсткість поверхні, отримана із застосуванням кіл i-й та n-й зернистості відповідно.
- критерій ефективності призначеної глибини різання (за шорсткістю)

$$K_{Ra}^t = \frac{R_a^t_i}{R_a^t_n}$$

де $R_a^t_i$ та $R_a^t_n$ - шорсткість поверхні, отримана при шліфуванні з глибиною різання t_i і t_n відповідно.

– критерій ефективності застосування ПММ (за шорсткістю)

$$K_{Ra}^{TCM} = \frac{R_a}{R_a^{TCM}}$$

де R_a і R_a^{TCM} - шорсткість поверхні, отримана при шліфуванні із застосуванням ПММ і без, відповідно.

Вище наведені критерії можуть розглядатися як:

- приватні, що застосовуються для визначення «значущості» конкретних характеристик кругів, ТЗМ, параметрів режимів різання та матеріалу заготовлі;
- загальні, що застосовуються для групи параметрів кругів, ТЗМ, режимів різання та оброблюваних матеріалів;
- узагальнені, які застосовуються для всього діапазону кругів, ТЗМ, режимів різання та матеріалів.

Результати.

В результаті досліджень встановлено в 81,6% дослідів застосування ТЗМ призвело до зниження шорсткості і тільки в одному з проведених експериментів застосування ТЗМ не дало результату (що становить 3,7%).

У 14,7% дослідів використання ТЗМ дало зворотний результат, а саме збільшення шорсткості, причому це в основному спостерігалось при обробці з глибиною різання $t=0,015$ мм/дв. хід алмазними кругами АС4 160/125 100%.

Застосування ТЗМ особливо відчутне при шліфуванні з глибиною різання $t=0,005$ мм/дв. хід алмазними кругами АС4 50/40 100% при обробці сплавів ВК6 та ВТ22.

При шліфуванні заготовок із сталі 10Х11Н23ТЗМ найбільший ефект від застосування ТЗМ спостерігався при обробці з глибиною різання $t=0,015$ мм/дв. хід.

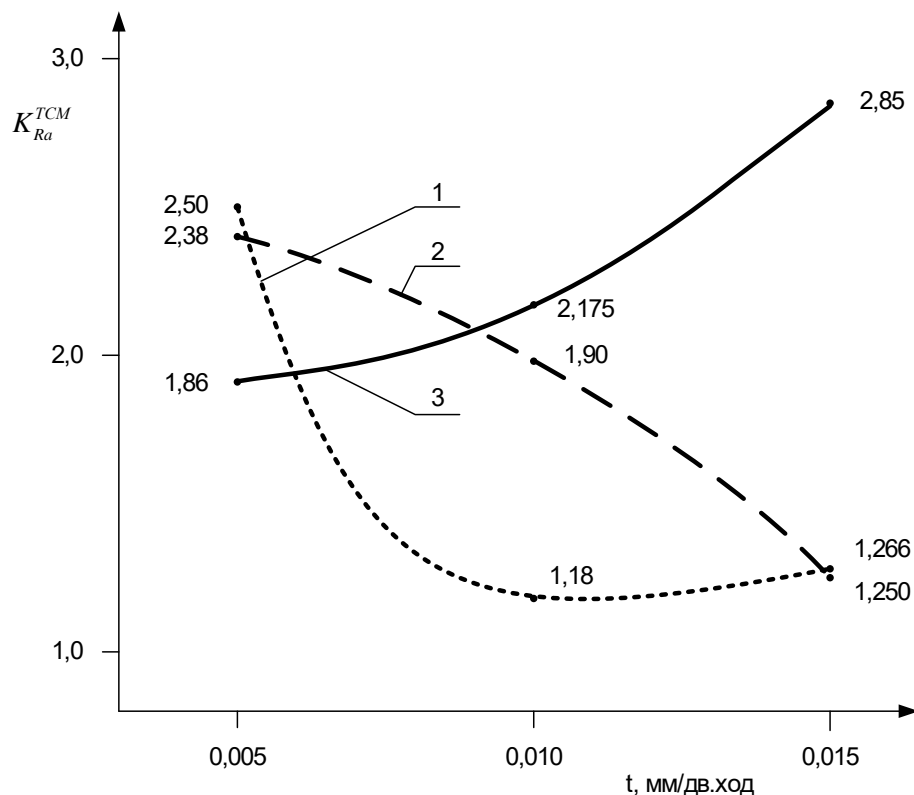


Рис. 2 – Зміна критерію K_{Ra}^{TCM} залежно від глибини різання t : шліфувальний круг АС4 50/40 100%; 1, 2 і 3 заготовки зі сплавів ВТ22, ВК6 та сталі 10X11Н23ТЗМР відповідно.

Як очевидно з графіків (рис. 2) збільшення глибини різання сприяє зменшенню критерію K_{Ra}^{TCM} (при шліфуванні заготовок зі сплавів ВТ22 і ВК6), тобто вплив ТЗМ на шорсткість поверхні Ra знижується практично в 2 рази. При шліфуванні заготовок із сталі 10X11Н23ТЗМР «значимість» ТЗМ зі збільшенням глибини різання 0,005 до 0,015 мм/дв. хід збільшується (на відміну від сплавів ВТ22 та ВК6). Очевидно це можна пояснити різними умовами формування шорсткості, зумовлені різницею властивостей оброблюваних матеріалів.

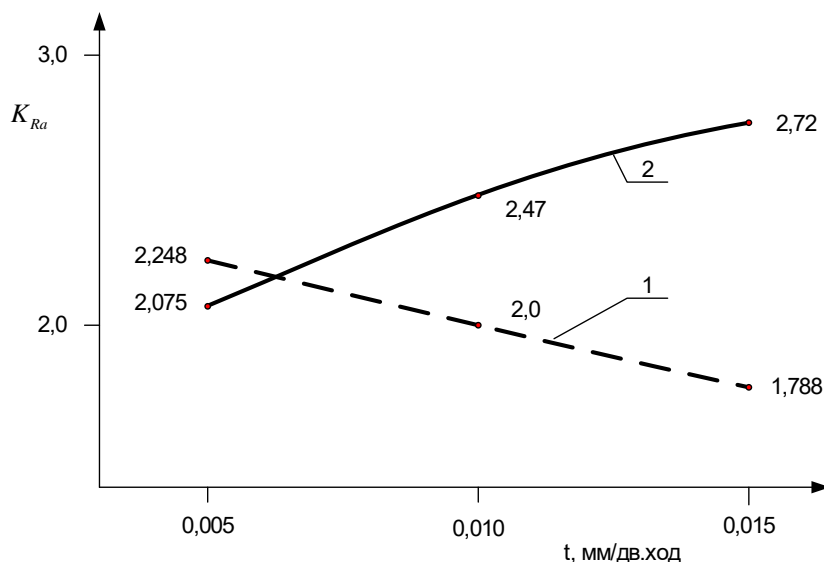


Рис. 3 – Зміна загального критерію ефективності K_{Ra} для групи оброблюваних матеріалів (заготовки зі сплавів ВТ22, ВК6 і сталі 10X11Н23ТЗМР) від глибини різання: 1 – «значимість» ТЗМ (K_{Ra}^{TCM}), 2 – «значимість» характеристики шліфувального круга (K_{Ra}^3).

Факт того, що при шліфуванні з малими глибинами різання «значимість» ТЗМ перевищує «значимість» характеристики круга підтверджують графіки наведені на рис. 3, побудовані для групи оброблюваних матеріалів.

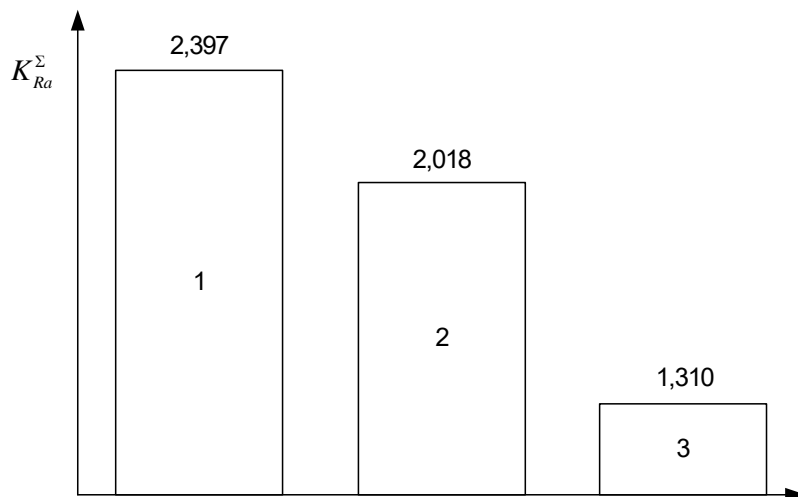


Рис. 4 – Ранжування факторів впливу на шорсткість поверхні Ra при алмазному шліфуванні: матеріал – сплави ВК6, ВТ22 та сталь 10X11H23ТЗМР; шліфувальні круги зернистості АС4 50/40 100%; АС4 100/80 100%; АС4 160/125 100%; глибина різання $t = 0,005 - 0,015$ мм/дв. хід; 1, 2 та 3 – зернистість кола, застосування ПММ та глибина різання відповідно.

Обробка експериментальних даних дозволила проаналізувати та провести ранжування факторів впливу на параметр шорсткості Ra за узагальненим критерієм (рис. 4). Найбільше на параметр Ra впливає характеристика шліфувального круга (зокрема зернистість), а далі ТЗМ. У меншій мірі параметр Ra впливає глибина різання.

Список літератури:

1. Применение твёрдых технологических смазок при шлифовании вырубных штампов / Ларшин В.П., Гречиха А.А., Якимов А.В. // Вісник інженерної академії України, Київ 2001 №3, с. 354 – 357.
2. Распирение возможности использования прерывистых шлифовальных кругов на керамической связке / А. А. Якимов, В. М. Тонконогий, Л. В. Бовнегра, В. М. Тигарев // [Сучасні технології в машинобудуванні](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stvm_2016_11_8). - 2016. - Вип. 11. - С. 64-73. - http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stvm_2016_11_8
3. Тверде мастило для алмазно-абразивної обробки інструментальних матеріалів. Патент на корисну модель 34193 МПК (2006). С10М 159/00 u200804827, 25.07.2008, Бюл.№ 14, 2008 р. (72) Оpubліковано: 25.07.2008 / Бровченко А.М., Лаврінченко В.І., Смоквіна В.В., Пономаренко І.П., Волошина В.Г.
4. А.С. №1214740. Смазка для механической обработки материалов. / Ю.И. Лисина, В.Г. Дигтенко. 1985. Бюл. № 8. 28.02.86.
5. Применение высокоэффективных смазочных материалов при резании / Коломиец В.В. // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві, 2014. Вип. 3(8) с. 166 – 170.
6. Шлифование с нанесением твёрдого смазочного материала в расплавленном состоянии на рабочую поверхность шлифовального круга / Н. И. Веткасов, А. В. Хазов // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2008. – № 2. – С. 45–47.
7. Теория шлифования материалов / Маслов В.Н. // М., «Машиностроение», 1974, 320 с.
8. Петраков Ю.В., Драчёв О.И. Моделирование процессов резания: учебное пособие. Старый Оскол: ТНТ, 2011. 240 с.
9. Единая методика оценки эффективности СОЖ при шлифовании / Л.В. Худобин, В.В. Ефимов, Н.И. Веткасов // Станки и инструмент. – 1984. – №3. – С. 28 - 29.
10. Блюмберг В.А., Глушенко В.Ф. Использование метода расстановки приоритета для структуризации и решения управленческих задач в НИИ и КБ. – В кн. Совершенствование организации и планирования отраслевых научных и опытно-конструкторских разработок. Л.: Ленингр. инж.-экон. ин-т. 1971. с. 91 – 104.

Bibliography (transliterated):

1. Application of solid process lubricants in grinding of cutting dies / Larshin V.P., Grechikha A.A., Yakimov A.V. // News of the Engineering Academy of Ukraine, Kyiv 2001 No.3, pp. 354–357.
2. Expanding the Possibility of Using Intermittent Grinding Wheels on a Ceramic Bond / A.A. Yakimov, V.M. Tonkonogy, L.V. Bovnegra, V.M. Tigarev // [Modern Technologies in Mechanical Engineering](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stvm_2016_11_8). - 2016. - Issue. 11. - pp. 64–73. - http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stvm_2016_11_8
3. Solid oil for diamond abrasive processing of tool materials. Patent for corisna model 34193 IPC (2006). C10M 159/00 u200804827, 07.25.2008, Bulletin No. 14, 2008 (72) Published: 07.25.2008 / Brovchenko A.M., Lavrinenko V.I., Smokvina V.V., Ponomarenko I.P., Voloshina V.G.
4. A.S. No. 1214740. Lubricant for mechanical processing of materials. / Yu.I. Lisina, V.G. Digtenko. 1985. Bulletin No. 8. 28.02.86.
5. Application of highly effective lubricants in cutting / Kolomiets V.V. // Information technologies in education, science and production, 2014. Issue. 3(8) pp. 166 – 170.
6. Grinding with the application of a solid lubricant in a molten state to the working surface of the grinding wheel / N.I. Vetkasov, A.V. Khazov // Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University. – 2008. – No. 2. – pp. 45–47.
7. Theory of grinding materials / Maslov V.N. // М., "Mashinostroenie", 1974, 320 p.
8. Petrakov Yu.V., Drachev O.I. Modeling of cutting processes: a tutorial. Stary Oskol: TNT, 2011. 240 p.
9. Unified methodology for assessing the effectiveness of coolant during grinding / L.V. Khudobin, V.V. Efimov, N.I. Vetkasov // Machine tools and tools. - 1984. - No. 3. - P. 28 - 29.

10. Blumberg V.A., Glushchenko V.F. Using the priority setting method for structuring and solving management problems in research institutes and design bureaus. - In the book. Improving the organization and planning of industry scientific and experimental design developments. L.: Leningrad. ing.-econ. in-t. 1971. p. 91 – 104.

Поступила (received) 23.09.2024

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Степанов Михайло Сергійович (Stepanov Mykhailo) – доктор технічних наук, професор кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: +38 (057) 707-66-34; e-mail: Mykhaylo.Stepanov@khp.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2224-6509

Гасанов Магомедємін Ісамагомедович (Hasanov Magomedemin) – доктор технічних наук, професор кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: +38 (057) 707-66-34; e-mail: kh.hpi.hasanov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2161-2386

Руднев Олександр Віталійович (Rudnev Aleksandr) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри «Інтегровані технології машинобудування» ім. М.Ф.Семко Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: +38 (057) 707-61-43; e-mail: aleksandr1827.64@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4091-6748

Котляр Олексій Віталійович (Kotlyar Oleksii) – доцент кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: +38 (057) 707-66-34; e-mail: Alexey_kotliar@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7664-0395

Титаренко Оксана Валеріївна (Titarenko Oksana) – доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України м. Харків; тел.: +38 (057) 707-61-43; e-mail: oksanatitarenko4179@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6811-7537

Іванова Марина Сергіївна (Ivanova Marina) – доцент кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: +38 (057) 707-66-34; e-mail: ivanovamaryna1@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0848-6805

Баранов В'ячеслав Миколайович (Baranov Vyacheslav) – аспірант кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: +38 (057) 707-66-34; e-mail: slavik5910@gmail.com, ORCID: 0009-0007-8347-0823