

DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-12>

УДК 621.923

<sup>1</sup>**А.О. СКОРКІН**, кандидат технічних наук

доцент кафедри машинобудування транспорту і зварювання  
e-mail: [Andromeda862@ukr.net](mailto:Andromeda862@ukr.net) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3032-8341>

<sup>1</sup>**О.Л. КОНДРАТЮК**, кандидат технічних наук

доцент кафедри машинобудування транспорту і зварювання  
e-mail: [Kondr20071@i.ua](mailto:Kondr20071@i.ua) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3263-0483>

<sup>1</sup>**В.М. КНЯЗЄВА**, кандидат технічних наук

доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій  
e-mail: [Vitok911@ukr.net](mailto:Vitok911@ukr.net) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3106-4897>

<sup>2</sup>**Д.С. КИСЛА**,

голова циклової комісії

e-mail: [d.kisslaya@gmail.com](mailto:d.kisslaya@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2400-5514>

<sup>3</sup>**К.А. ШОФУЛ**,

аспірант кафедри технологія машинобудування та металорізальні верстати  
e-mail: [Shoful.k@gmail.com](mailto:Shoful.k@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9527-6389>

<sup>1</sup>*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.

<sup>2</sup>*Харківський радіотехнічний фаховий коледж*

вул. Сумська 18/20, м. Харків, 61057, Україна

<sup>3</sup>*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"*

вул. Кирпичова 2, м. Харків, 61002, Україна

## ІМПРЕГНУВАННЯ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ

Взаємодія абразивного та оброблюваного матеріалу при шліфуванні супроводжується високим ступенем активації поверхонь, що контактують, що ініціює, зокрема, адгезійну взаємодію пари абразив-метал. Для зниження інтенсивності активації поверхонь, що контактуються, і подальшої адгезійної взаємодії пари абразив-метал в зону різання вводять змащувально-охолоджуючі технологічні середовища (ЗОТС). Використовують різні види ЗОТС та методи їх подачі до зони різання. Останнім часом великий інтерес проявляється до методу мінімальної кількості мастила.

На сучасному етапі йде пошук шляхів підвищення продуктивності та економічності процесу, якості та точності оброблюваних виробів. Одним із пріоритетних напрямів є підвищення працездатності абразивних інструментів. Напрямки вдосконалення абразивного інструменту пов'язані з поліпшенням його складових та функціональних елементів: зерна, зв'язки, будови робочого шару та конструктивного виконання робочої поверхні кола.

Рациональний вибір схеми та методу шліфування багато в чому визначає його результативність. До перспективних напрямів можна віднести високошвидкісне, силове, глибинне, профільне шліфування та ін. Однак вибір раціональної схеми шліфування не завжди дозволяє забезпечити результативність процесу. Це з зміною стану рельєфу робочої поверхні кола та умов обробки.

Важливим резервом підвищення результативності процесу шліфування є покращення експлуатаційних характеристик обладнання, що визначаються необхідною жорсткістю, демпфуючою здатністю та вібростійкістю.

Одним із найбільш поширених методів подачі мікродоз ЗОТС у зону різання при абразивній обробці є введення ЗОТС безпосередньо у пори кола (імпрегнування).

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *інструмент, шліфування, високошвидкісна обробка, композитне шліфувальне коло, сталь.*

**Як цитувати:** Скоркін А. О., Кондратюк О. Л., Князева В. М., Кисла Д. С., Шофул К. А. Імпрегнування абразивного інструменту як метод підвищення результативності шліфування. *Машинобудування*. 2024. Вип. 34 С. 125-132. DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-12>



## Вступ

В останні 10-15 років машинобудування в індустріально розвинених країнах досягло суттєвого прогресу. Гнучке ринкове орієнтоване виробництво зажадало розробки наукомістких технологій.

Істотний вплив на знос і стійкість абразивного інструменту (АІ) надають змащувально-охолоджуючі технологічні середовища. Застосування ЗОТС знижує знос кола від 20% до десятків разів, залежно від умов застосування та хімічного складу [1-3]. Ефективність ЗОТС обумовлюється зменшенням адгезійного та дифузійного видів зношування інструменту, взаємне перенесення матеріалів, зниженням ймовірності утворення шліфувальних.

Збільшення експлуатаційних властивостей АІ можливе на етапі його виготовлення (легування абразивного матеріалу різними елементами; вико рис-

тання надтвердого абразиву; випал зерен; введення різних наповнювачів у зв'язку та ін.) [4] або на готовий інструмент: насичення пір імпрегнаторами; створення переривчастої робочої поверхні АІ; спеціальна термообробка АІ, у тому числі у криогенних середовищах; застосування спеціальних ЗОТС; накладання коливань; застосування твердих мастил та ін [5-7].

Компоненти ЗОТС, піддані попередньої активації, отримують додаткову енергію та переходять у метастабільний стан. Зазначений стан характеризується ослабленням або частковим порушенням внутрішньомолекулярних зв'язків, тобто стимулюється деструкція ЗОТС із утворенням активних атомів, радикалів та груп. Активні елементи утворюють у зоні контакту плівки, які екранують адгезійну взаємодію поверхонь інструменту та оброблюваного матеріалу.

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відносно новим методом створення абразивних зерен вважається "золь-гель процес", що полягає в переході гомогенного розчину в золь і потім в гель. Перевага виготовлення зерен таким способом полягає в більш ефективному шліфуванні, за рахунок отримання високодисперсного абразиву, який менше схильний до зносу.

Одним із сучасних методів чистки шліфувального кола в процесі обробки – лазерне відчищення [8]. Використовувався лазерний імпульс тривалістю  $20 \times 10^{-5}$  з частотою 19,9 Гц, фокусна відстань 10 мм. У той момент, коли лазер потрапляє на поверхню шліфувального кола, металева стружка починає плавитися. При зменшенні фокусної відстані збільшується потужність лазерного потоку на поверхню, але ушкоджує зерно. Завдяки точно підібраним параметрам лазерного променя зменшується знос шліфувального круга. Після очищення зерна стають гострими і готовими до подальшого знімання металу.

Даний метод є економічно вигідним з точки зору використання абразивного інструменту, але для найбільшого ефекту слід у кожному конкретному випадку розраховувати тривалість і частоту лазерного імпульсу, фокусну відстань, а також наявність потужної лазерної установки.

Дослідження хімічно активного елемента йоду в якості мікродобавки в ЗОТС на різних операціях механічної обробки металів та його трибологічних властивостей доводить утворення розділових мастильних плівок в результаті ініціювання хімічних реакцій між радикалами йоду та оброблюваним матеріалом. Використання йоду як компонента ЗОТС впливає на характеристики процесу різання [9].

Незважаючи на переваги використання ЗОТС, слід наголосити і на недоліках: проблеми утилізації; екологічна безпека, пожежонебезпека та ін.

## Постановка проблеми

Для найкращого доступу мастильно-охолоджувальної рідини до зони різання

пропонується використовувати абразивний інструмент зі спеціальними додатковими

канавками. Спіралеподібна канавка дозволяє зменшити розмір стружки, що утворюється, і зменшує навантаження на інструмент.

Перспективним напрямком є застосування на операціях шліфування композиційних шліфувальних кіл, конструктивні елементи яких заповнені твердим мастилом. Композиційні шліфувальні круги КШК покращують подачу ЗОТС безпосередньо в зону шліфування та мастильну дію середовища, знижують температуру в зоні контакту за рахунок відведення частки тепла в матеріал мастильного елемента при його розплавленні в процесі шліфування; підвищують динамічну стійкість процесу шліфування, дозволяють використовувати для забезпечення м'якої та охолоджувальної дій найпростіші, практично нешкідливі ЗОТС на водній основі [10].

Шорсткість поверхонь деталей при шліфуванні із застосуванням твердих мастильних матеріалів може бути знижена за рахунок введення до їх складу наповнювачів із високодисперсних природних матеріалів та наноматеріалів. Наприклад, введення нанопорошку міді суттєво знижує середню контактну температуру [10].

Одним з найбільш доступних та перспективних засобів підвищення результативності шліфування різних матеріалів є введення у пори кола спеціальних складів (імпрегнування).

### Виклад основного матеріалу

Досліджувані речовини належать до різних класів сполук: неорганічні солі такі як: хлористий амоній (ХА), сірчаноокислий амоній (СА), азид натрію (АН) та складні органічні сполуки гексахлорпарахлорол (ГХК) тетраметилтіурамдісульфід (ТМТД), дітіодіморфолін (ДТДМ). Склад продуктів розкладання у цих речовин різний. При розкладанні АН виділяється азот. Основним газом при розкладанні СА та ХА є аміак, при більш високих температурах у СА відбувається утворення сірчистого газу, у ХА – соляної кислоти. Продуктом розкладання ГХК є молекулярний хлор. Основними продуктами термічної деструкції ТМТД та ДТДМ є монооксид вуглецю, азотисті гази, оксиди сірки.

Імпрегнатор безпосередньо впливає на процес шліфування, беручи участь у контактних процесах у зоні різання, і непряме – через зміну фізико-механічних властивостей інструменту. Вибір складу імпрегнатора залежить від матеріалу, що обробляється, режимів шліфування, якості обробленої поверхні та ін.

Імпрегнування позитивно впливає практично на всі показники процесу шліфування: стійкість інструменту, шорсткість обробленої поверхні, швидкість зносу кіл та їх засолюваність, підвищує різальну здатність інструменту. У ряді випадків при використанні імпрегнованих кіл усуваються теплові дефекти шліфованої поверхні (припали, мікротріщини). Перевагою даного методу є вирівнювання властивостей не завжди неоднорідної структури абразивного інструменту, що зменшує неврівноваженість кола.

При граничному терті з важкими режимами, окремим і граничним випадком якого є тертя при різанні металів, виключена можливість гідродинамічного розклинювання поверхонь за допомогою мастила і тому наявність захисних плівок, що запобігають захопленню металів, набуває вирішального значення.

**Метою роботи** є дослідження впливу використання імпрегнаторів в абразивному інструменті для підвищення їх різальних властивостей.

Для визначення впливу металу на хімічні перетворення у передбачуваних імпрегнаторах проведено термографічні дослідження порошку заліза як основи більшості сталей та сплавів.

При нагріванні порошку заліза до температури 300 °С значних змін маси немає (рисунок 1). За температури близько 360 °С відбувається невелике збільшення маси приблизно 3 % від початкової. Основною причиною є окислення металу, т.к. нагрівання порошку відбувається в атмосфері повітря. Реакція супроводжується екзотермічним ефектом із максимумом при 460 °С.

Терморозпад ХА починається з температури близько 200 С і при 260 С

втрата маси становить близько 4%. Найінтенсивніша втрата маси відбувається в інтервалі 260-420 °С. Маса суміші зменшується до 15%, тобто, втрата маси становить близько 95%. З урахуванням першого етапу втрата маси в інтервалі 200-420 °С становить майже 98 % (рисунок 2, а).

Реакція розкладання починається з виділенням тепла і перетворюється на ендотермічну ділянку з піком при температурі близько 340 °С. Зі зростанням температури інтенсивність терморозпаду помітно знижується та супроводжується виділенням тепла. При температурі 900 °С початкової маси залишається трохи більше 1 %.

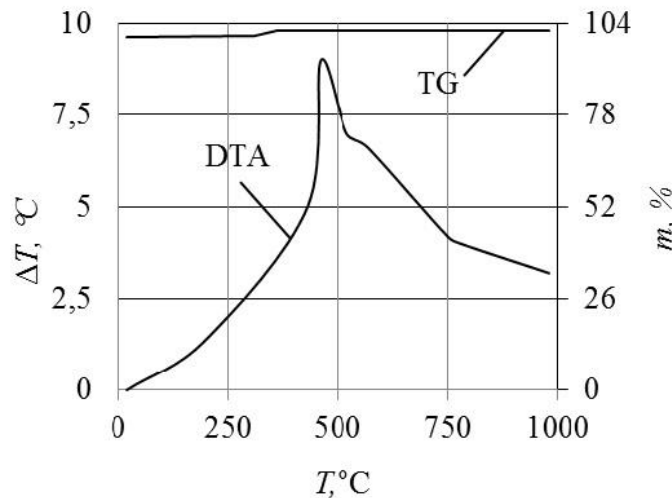
Для суміші ХА із порошком заліза спостерігається помітна зміна характеру термічних ефектів (рисунок 2, б). Процес розкладання починається при температурі близько 210 °С і протікає в екзотермічній ділянці.

Інтенсивне зменшення маси суміші відбувається в інтервалі до 410° С, втрата

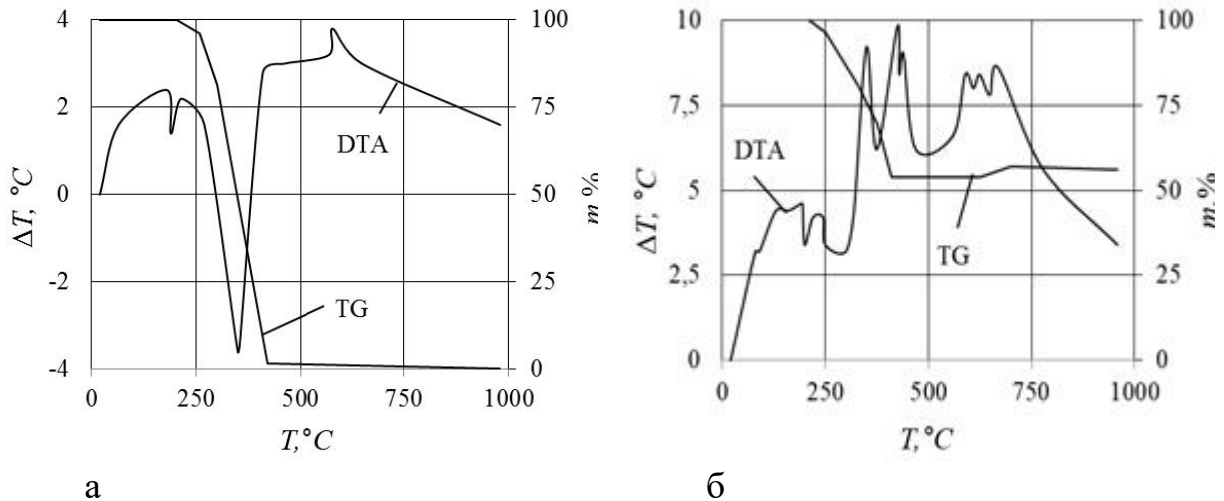
маси становить близько 46%. Оскільки маса заліза в даному температурному інтервалі не повинна знижуватися (див. рис. 1), зменшення маси суміші відбувається внаслідок розкладання ХА.

На термограмі суміші ендотермічні перетворення, що йдуть в область негативних значень  $T$  відсутній, що пояснюється накладенням на термограму ХА екзотермічних перетворень, що відбуваються в зразку порошку заліза.

Низка температурних піків, що виникають у зразку суміші в інтервалі виділення газоподібних продуктів, може утворюватися внаслідок втрати однорідності суміші при виділенні газоподібних продуктів розкладання ХА та утворення повітряних зазорів між порошками суміші, порошками та стінками тигля. Порушення однорідності суміші призводить до зміни теплопровідності і на кривій DTA з'являються помилкові піки.



**Рис. 1** - Термограма порошку заліза  
**Fig. 1** - Thermogram of iron powder



**Рис. 2** - Термограма хлористого амонію (а) та суміші хлористого амонію з порошком заліза (б)  
**Fig. 2** - Thermogram of ammonium chloride (a) and a mixture of ammonium chloride with iron powder (b)

Аналіз термограм рисунків 1 і 2 хоч і свідчать про можливість хімічної взаємодії продуктів розкладання ХА із залізом, але загалом можна говорити про невелику активність хімічних процесів, що протікають між продуктами розкладання ХА із залізом.

Нагрівання ГХК (рисунок 3, а) супроводжується декількома фазами розкладання речовини (крива TG). В інтервалі 150-200 °C маса знижується на 3-4%. У розглянутому інтервалі розвивається екзотермічний процес, пік якого посідає середину інтервалу.

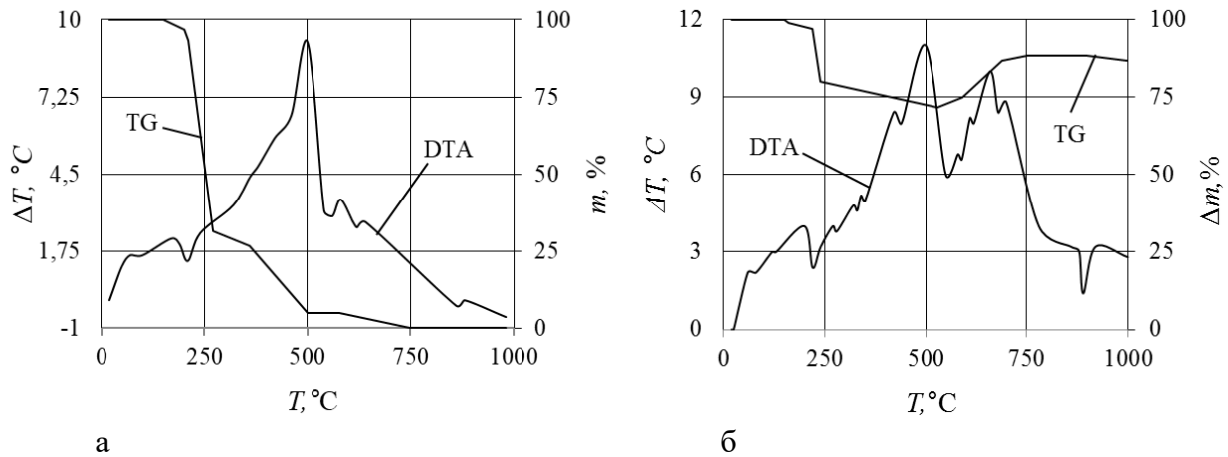
Зі збільшенням температури до 270 °C вихідний продукт втрачає ще 65% маси. Це діапазон найінтенсивнішого зниження маси. В інтервалі 270-360 °C втрата маси становить близько 5%. За температури 500 °C загальна втрата маси досягає 95%. Ця сама температура відповідає піку екзотермічної реакції. Повне розкладання ГХК відбувається за 750 °C. Утворення всіх газових продуктів розкладання відбувається в екзотермічній ділянці діаграми.

Нагрів суміші ГХК і порошку заліза (рисунок 3, б) відрізняється менш значущою зміною маси. В інтервалі від 150

до 240 °C втрата маси становить близько 20%. Для чистого ГХК при цій температурі втрата маси становить близько 50%. Для 50-ти процентного вмісту ГХК у суміші втрата маси ГХК становитиме близько 25%. Виходячи з цього можна припустити, що близько 5% додаткової маси утворюється в результаті взаємодії газоподібних продуктів розкладання з залізом.

Похибка визначення додаткової маси багато в чому залежить від кута нахилу TG лінії до вертикальної осі. На цьому інтервалі кут досить гострий і при зрушенні початку температури розкладання ГХК на 2-3 градуси суттєво зростає похибка висунутого припущення. Більш достовірні результати можуть бути отримані на пологих ділянках діаграми TG на обох графіках. Наприклад, в інтервалі температур 270-360 °C рисунок 3, а, б зміна маси обох графіках вбирається у 5%. Візьмемо у виділеному інтервалі середню температуру – 315 °C.

З цього випливає, що найбільш інтенсивна хімічна взаємодія порошку заліза відбувається при нагріванні в суміші з ГХК порівняно з раніше розглянутими речовинами (ХА, СА, АН).



**Рис. 3** - Термограма гексахлорпарахилолу (а) та гексахлорпарахилолу з порошком заліза (б)  
**Fig. 3** - Thermogram of hexachloroparaxylene (a) and hexachloroparaxylene with iron powder (b)

### Висновки

Введення імпрегнатора в пори кола збільшує наведену середню швидкість поширення акустичних хвиль, що проходить через абразивний інструмент. При вмісті імпрегнатора ГХК у колі 5 та 7 % наведена швидкість поширення

акустичних хвиль збільшується відповідно на 7 та 10 %. Імпрегнування знижує невідношену масу шліфувальних кіл з електрокорунду білого на 17-33% і карбіду зеленого кремнію на 33-57%.

### Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію

### Список використаної літератури

1. Reduction of oil and gas consumption in grinding technology using high pour-point lubricants / E. Garcia, I. Pombo, J. A. Sanchez, N. Ortega, B. Izquierdo, S. Plaza, J. I. Marquinez, C. Heinzl, D. Mourek // *Journal of Cleaner Production*. – 2013. – № 51. – P. 99–108.
2. Soler Ya. I. Selection of Highly Porous CBN Wheels in the Multiparametric Modeling of Topography for the Grinding of Stainless Steel Parts Using Fuzzy Logic / Ya. I. Soler, Nguyen Manh Tiem // *Russian Engineering Research*. – 2016. – Vol. 36, № 11. – P. 965–973.
3. Kapłonek W. Assessment of the Grinding Wheel Active Surface Condition using SEM and Image Analysis Techniques / W. Kapłonek, K. Nadolny // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. – 2013. – Vol. 35. – Pp. 207-215.
4. Effect of abrasive grain size on surface particle deposition behaviour of PTFE/bronze composites during abrasive wear / Z. Lin, B. Gao, X. Li, K. Yu, // *Tribology International*. – 2019. – Vol. 139. – Pp. 12-21
5. Improving efficiency of machining the geometrically complex shaped surfaces by milling with a fixed shift of the cutting edge / A. Skorkin, O. Kondratyuk, N. Lamnauer, V. Burdeinaya // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – № 2/1 (98). – P. 60–69.
6. Effect of cobalt on properties of vitrified bond and vitrified cubic boron nitride composites / X. Sun, T. Yu, Y. Chen, C. Zhang, Z. Ma // *Ceramics International*. – 2019. – Vol. 46. – Pp. 5337-5343
7. Dhanavathu, N. N. Wear of Electroplated Super Abrasive CBN Wheel during Grinding of Inconel 718 Super Alloy / N. N. Dhanavathu, N. Mathew, L. Vijayaraghavan // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2019. – Vol. 43. – Pp. 1-8. DOI 10.1016/j.jmapro.2019.04.033.
8. A hybrid approach using machine learning to predict the cutting forces under consideration of the tool wear | Peng B., Bergs T., Schraknepper D., Klocke F., Döbbeler B. // *17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations Procedia / CIRP 82*. – 2019. – Pp. 302–307.
9. Diamond Wheel Dressing: A Comprehensive Review / W. Ding, H. N. LI, L. Zhang, J. Xu, Y. Fu, H. Su, // *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. – 2017. – Vol. 139.
10. Mohan R. A review of self-sharpening mechanisms of fixed abrasive tools / R Mohan, D. Ramachandran // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. – 2019. – Vol. 10. – Pp. 965-974.

Стаття надійшла для редакції 30.10.2024

Стаття рекомендована до друку 03.12.2024

<sup>1</sup>SKORKIN A., Ph.D.,

Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Transport and Welding  
e-mail: [Andromeda862@ukr.net](mailto:Andromeda862@ukr.net) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3032-8341>

<sup>1</sup>KONDRATYUK O., Ph.D.,

Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Transport and Welding  
e-mail: [Kondr20071@i.ua](mailto:Kondr20071@i.ua) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3263-0483>

<sup>1</sup>KNIAZIEVA V., Ph.D.,

Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies  
e-mail: [Vitok911@ukr.net](mailto:Vitok911@ukr.net) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3106-4897>

<sup>2</sup>KISLA D.,

head of the cycle commission

e-mail: [d.kisslaya@gmail.com](mailto:d.kisslaya@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2400-5514>

<sup>3</sup>SHOFUL K.,

Postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering Technology and Metal Cutting  
Machines

e-mail: [Shoful.k@gmail.com](mailto:Shoful.k@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9527-6389>

<sup>1</sup>*V.N. Karazin Kharkiv National University*

Svobody square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine

<sup>2</sup>*Kharkiv Radio Technical College*

Sumska St., 18/20, 61057, Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup>*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*

Kyrpichova St., 2, 61002, Kharkiv, Ukraine

## IMPREGNATION OF ABRASIVE TOOLS AS A METHOD OF IMPROVING GRINDING RESULTS.

The interaction between the abrasive and the abraded material during grinding is accompanied by a high activation level of the surface in contact, which initiates, strengthens, and adhesively interacts with the abrasive-metal pair. To reduce the intensity of activation of the surface in contact and further adhesive interaction of the abrasive-metal pair, abrasive-cooling technological media (ACTM) should be introduced into the cutting zone. Various types of ACTM and methods of their supply to the cutting zone are used. Still, great interest is shown in the method of minimal quantity of butter.

At the current stage, researchers are looking to improve the productivity and economy of the process, as well as the quality and accuracy of the observed viruses. One of the priority areas is increasing the usefulness of abrasive tools. Directions for perfecting an abrasive tool are related to enhancing its storage and functional elements: grain, binder, working ball, and constructive shaping of the working surface of the stake.

A rational choice of schemes and grinding method has much to do with its effectiveness. Promising directions include high-quality grinding, power, clay, profile grinding, etc. However, choosing a rational grinding scheme will not always ensure the effectiveness of the process. As a result, the relief of the stake's working surface and the processing's mind will be changed.

An important reserve for increasing the effectiveness of the grinding process is to improve the operational characteristics of the equipment, which is indicated by the necessary rigidity, damping properties, and vibration resistance.

One of the most extensive methods of delivering microdoses of ACTM to the cutting zone during abrasive processing is the introduction of ACTM directly at the puncture pore (impregnation).

**KEYWORDS:** *tools, grinding, high-quality rubber processing, composite grinding wheel, steel.*

**In cites:** Skorkin A., Kondratyuk O., Kniazieva V., Kisla D., Shoful K. (2024). Impregnation of abrasive tools as a method of improving grinding results. *Engineering*, (34), 125-132. <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-12> (in Ukraine)

### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of the manuscript. In addition, the authors fully complied with ethical standards, including plagiarism, data falsification, and double publication.