

РИБАК О. В.

Національний університет "Одеська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-0250-3037>e-mail: [olga.vol.rybak@gmail.com](mailto:olga.vol.rybak@gmail.com)

## РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕКОМЕНДОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГУ

У роботі проаналізовано складності, які виникають при виборі шліфувального круга для обробки різних типів матеріалів. Особливо виділено проблему шліфування поверхонь з гетерогенною структурою, таких як композиційні покриття на основі надтвердих сполук. Наведено результати обробки деталі з покриттям на основі карбиду титану шліфувальними кругами з різною твердістю. З метою запобігання утворенню дефектів і браку готових виробів створено програмний комплекс, покликаний вирішувати проблему вибору інструменту в автоматичному режимі. Для забезпечення функціонування зазначеної підсистеми сформовано бази даних, що містять інформацію про різні властивості шліфувальних кругів та матеріал оброблюваних поверхонь. Представлено інтерфейс створеного програмного модуля і алгоритм його роботи.

Ключові слова: шліфувальний круг, програмний комплекс, алгоритм, композиційні матеріали, база даних.

Olga RYBAK

Odesa Polytechnic National University

## DEVELOPMENT OF SUBSYSTEM FOR DEFINING RECOMMENDED GRINDING WHEEL PARAMETERS

The article is devoted to issues of choosing a grinding wheel for processing various types of materials. Complications which arise when a tool does not meet the requirements of providing needed surface quality are analysed in this research. The problem of grinding surfaces with a heterogeneous structure is particularly highlighted paying special attention to composite coatings based on superhard compounds. Results of processing workpieces with titanium carbide-based coatings using grinding wheels with different hardness are presented. In order to prevent grinding defects generation and spoiling finished products, the special software subsystem is developed. It is designed to resolve the problem of tool selection automatically. This software is an advanced solution of the considered problem which is usually solved with the use of manuals and handbooks about different grinding wheel properties. As a part of the information system necessary databases are formed to enable software correct functioning. These databases contain information about different characteristics of grinding wheels and the surface material being processed such as kinds of abrasive, their hardness, thermal conductivity, mesh sizes, bonding as well as compound of the processed surface and its density, elasticity, crack resistance. Since required surface quality implies obtaining needed roughness, its value is also taken into account along with other properties. An interface of the developed program module is presented together with its operating algorithm. The suggested program is based on information, analysis, modelling, optimization modules and the module of monitoring grinding regime parameters. In the case that there is no data available for some kind of the surface material, a list of its structure categories can be additionally downloaded. This software allows to prevent from damaging workpieces in the process of their grinding. Therefore, the developed program provides recommendations about appropriate characteristics of the grinding wheel depending on the material of the processed surface and the conditions of the grinding operation.

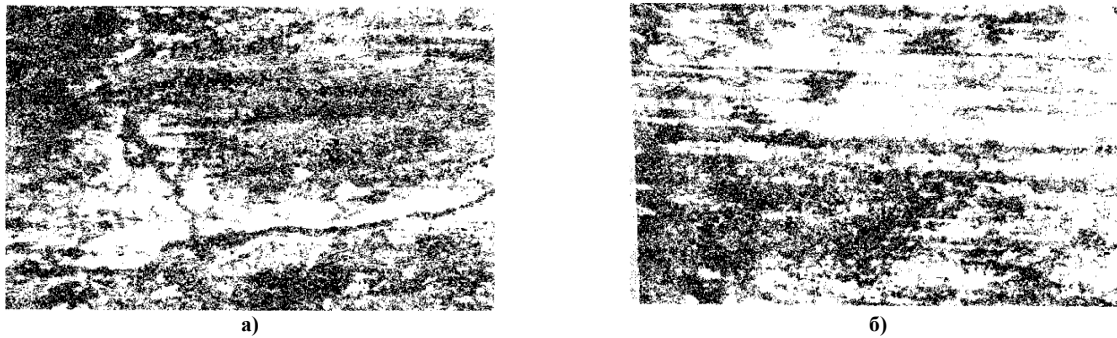
Keywords: grinding wheel, software system, algorithm, composite materials, database.

### Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Під час шліфування поверхні деталей кругом з недостатньою твердістю виникає ризик утворення налипань та виривів, а також шліфувальних тріщин та інших дефектів, що призводить до великої кількості бракованих виробів. Прийняття рішення щодо вибору шліфувального круга найчастіше покладається на особу, яка виконує обробку деталі. При обробці суцільних поверхонь з металів та сплавів проблема вибору шліфувального круга зазвичай зводиться до визначення необхідної твердості абразиву та його зернистості. Однак, ситуація змінюється у випадку шліфування поверхонь з гетерогенною структурою, таких як композиційні покриття на основі надтвердих сполук (TiC, HfC, TiN, ZrN, HfN TiB<sub>2</sub> та ін.).

Покриття різного складу наносяться на поверхню деталей з метою покращення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь, зокрема для збільшення зносостійкості. Наприклад, напилювання молібдену різко знижує коефіцієнт тертя, а відтак, і ступінь зношування готових виробів. Нікель наносять для захисту від корозії, мідь – для зменшення електричного опору і т. д. Серед сплавів часто використовують ніхром, який не лише захищає робочу поверхню деталі від корозії, але й слугує прошарком для збільшення міцності зчеплення покриття з основою.

Якщо твердість окремих фаз в структурі оброблюваного матеріалу перевищує твердість шліфувального круга, зрізання таких частинок стає практично неможливим. Це призводить до руйнування самого шліфувального круга, в ньому утворюються борозни, а тверда частинка нанесеного шару втискається в значно м'якшу основу і перекочується по ній, спричинюючи пластичну деформацію та налипання. Деформація, в свою чергу, зумовлює виникнення внутрішніх напружень, які, в залежності від умов шліфування, можуть призводити до розвитку тріщин в шарі покриття. На рис. 1 а) та б) наведено фотографії поверхні покриття на основі карбиду титану після обробки алмазним шліфувальним кругом та кругом з електрокорунду.



**Рис. 1. Поверхня покриття на основі TiC:**  
а) – після шліфування кругом з електрокорунду;  
б) – після шліфування алмазним кругом

Твердість TiC дорівнює 29 ГПа, що майже в 1,5 рази перевищує твердість електрокорунду. Враховуючи той факт, що кількість карбіду титану в композиційному покритті становить близько 40%, процес обробки відбувається з великими втратами енергії на пластичну деформацію, інтенсивним виділенням тепла, зношуванням шліфувального круга та утворенням тріщин в нанесеному шарі (рис. 1 а). Для усунення подібних негативних явищ абразивний матеріал круга необхідно обирати таким чином, щоб його твердість була більшою у порівнянні з надтвердою фазою. На рис. 1 (б) представлено вигляд поверхні покриття на основі TiC після його обробки алмазним кругом. У цьому випадку спостерігається відсутність шліфувальних тріщин.

Твердість абразивного матеріалу є основною, але не єдиною важливою властивістю шліфувального круга, що визначає характер його взаємодії з матеріалом покриття. Разом з твердістю абразиву слід також враховувати твердість шліфувального круга, яка залежить від здатності зв'язки утримувати ріжучі зерна від виривання при взаємодії з оброблюваною поверхнею. Таким чином, правильний вибір шліфувального круга повинен ґрунтуватися на якості зв'язки, фізичних властивостях та формі абразивних зерен, технології виготовлення тощо.

#### **Аналіз останніх джерел**

В інформаційно-довідниковій літературі [1, 2], присвяченій питанням абразивної обробки поверхонь, містяться відомості про режими шліфування, ріжучий інструмент, сучасні верстати та маркування кругів. Предбачено, що вибір круга та параметрів процесу шліфування у кожному конкретному випадку технолог здійснюватиме на основі представлених даних та власного досвіду.

Математичне моделювання процесу шліфування наведено у ґрунтовній роботі [3], де зокрема викладені рекомендації щодо підвищення продуктивності обробки та методики розрахунку геометричних показників шліфувальних кругів.

У роботах [4, 5] розглянуті питання практичного забезпечення необхідної якості обробленої поверхні та ефективності процесу шліфування на основі розрахунків, а також теоретичних закономірностей впливу технологічних умов на результати обробки.

Критичні значення показника жорсткості шліфувальних кругів як однієї з важливих експлуатаційних властивостей процесу обробки представлені у роботі [6]. Окрім експериментальних даних, автором наведено формулу для розрахунку осьової жорсткості шліфувального круга.

Особливості різних матеріалів, які суттєво впливають на процес їхньої подальшої обробки шліфуванням, проаналізовано у роботах [7, 8]. Серед іншого, детально описані характеристики чистих металів та їхніх сплавів, композиційних матеріалів, різних видів кераміки тощо.

Робота [9] присвячена питанню визначення оптимальних параметрів шліфування за допомогою еволюційних методів та побудові алгоритму для аналітичного вирішення цієї задачі. Оскільки оптимізація процесу шліфування неможлива без правильного вибору шліфувального круга та запобіганню виникнення дефектів обробки і браку готових виробів, постає задача створення програмного комплексу, покликаного вирішувати представлену проблему в автоматичному режимі.

#### **Формулювання цілей статті**

Метою роботи є: розробка програмного модуля, призначеного для вироблення рекомендацій щодо основних характеристик шліфувального круга з огляду на матеріал оброблюваної поверхні та умови шліфування.

#### **Виклад основного матеріалу**

Програмний модуль вироблення рекомендацій для вибору шліфувального круга має функціонувати на основі відомостей про абразивний матеріал, твердість, зернистість, структуру та зв'язку шліфувального круга, а також властивостей матеріалу поверхні, які поділяються на категорії в залежності від вмісту надтвердих сполук. Зазначена інформація міститься у взаємопов'язаних базах даних, включених до складу інформаційної системи, покладеної в основу програмного комплексу. Схема таблиць та зв'язків між ними у відповідних базах даних представлена на рис. 2 і 3.

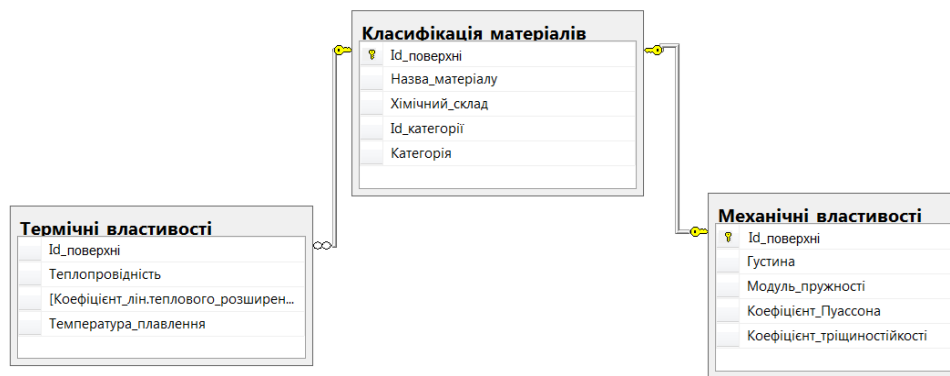


Рис. 2. Схема бази даних «Матеріали поверхонь»

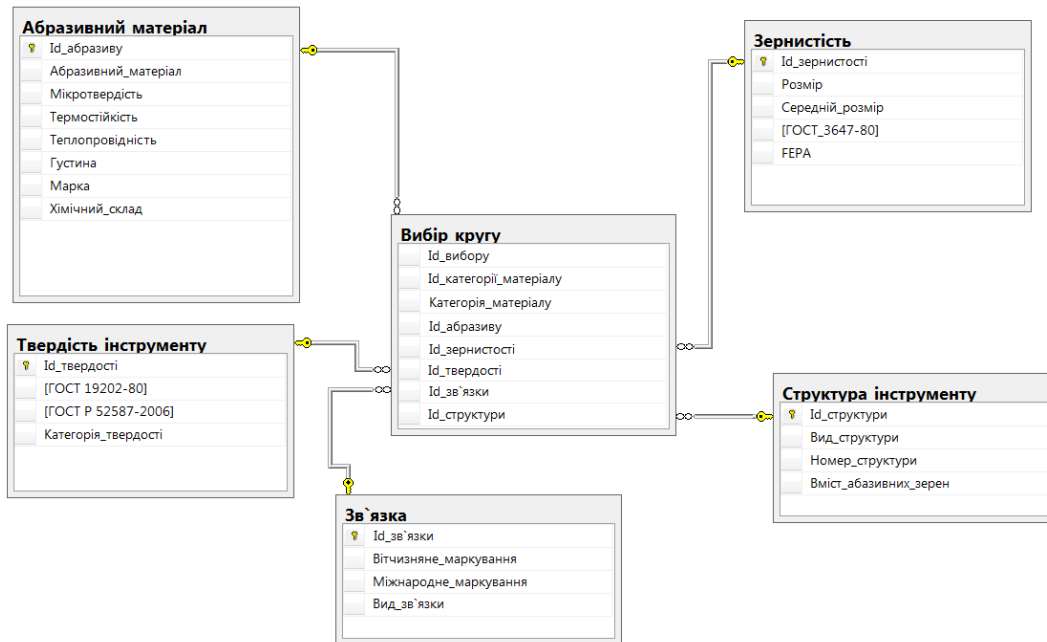


Рис. 3. Схема бази даних «Вибір шліфувального круга»

...

Алгоритм роботи підсистеми вибору характеристик шліфувального круга зображений на рис. 4.

Інтерфейс підсистеми визначення рекомендованих характеристик шліфувального круга представлений на рис. 5 та 6. Вибір матеріалу оброблюваної поверхні здійснюється за допомогою випадючого списку значень, що містяться у базі даних (рис. 5). Якщо інформація про певний вид матеріалу відсутня, при виборі позиції "інше" в списку матеріалів шляхом AJAX-запиту завантажується додатковий список основних категорій матеріалів оброблюваної поверхні (рис. 6):

```
ajaxController({
    callback: function (data) {
        for (var index in data.output) {
            $('#materials').append('<option
value="' + data.output[index].id_select + '"
>' + data.output[index].material_category + '</option>');
        }
    }
});
```

Таким чином, користувач має можливість продовжити пошук рекомендованих параметрів навіть у тому випадку, коли конкретний вид матеріалу поверхні відсутній.

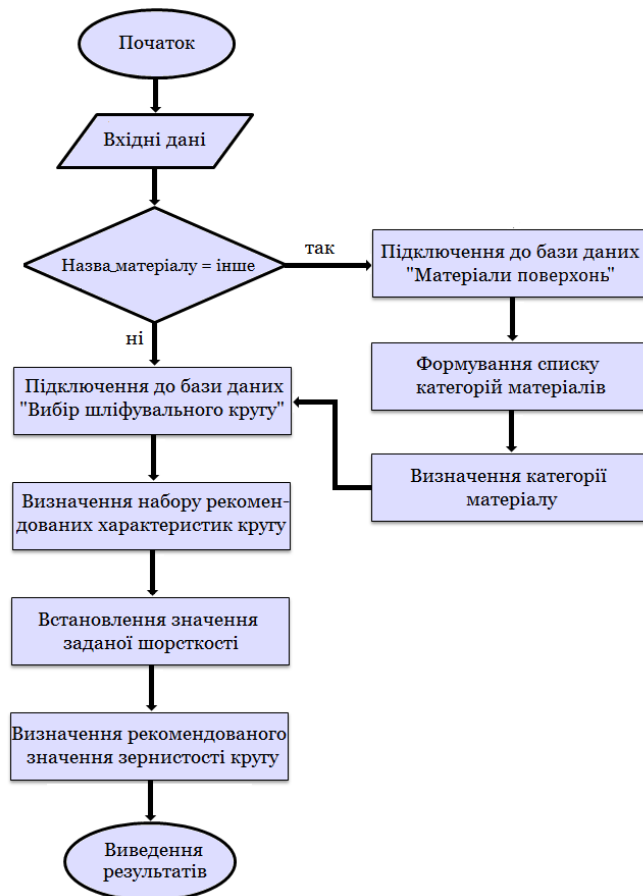


Рис. 4. Алгоритм підсистеми вибору рекомендованих характеристик шліфувального кругу

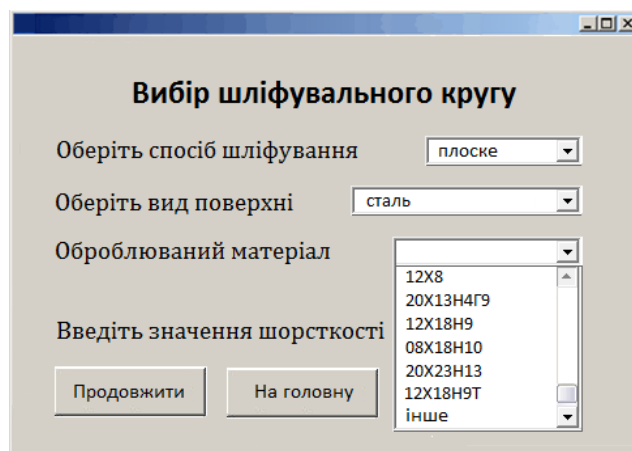


Рис. 5. Інтерфейс підсистеми визначення рекомендованих характеристик шліфувального кругу

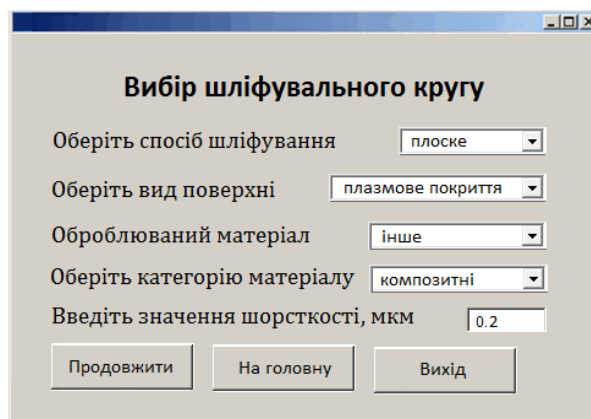


Рис. 6. Активація додаткового списку категорій матеріалів

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

Проаналізовано негативні наслідки, до яких призводить обробка поверхонь шліфувальним кругом з недостатньою твердістю. Для вирішення проблеми правильного вибору інструменту створено програмний модуль вироблення рекомендацій щодо параметрів шліфувального круга в залежності від виду матеріалу оброблюваної поверхні. Представлено алгоритм роботи програми та інтерфейс визначення характеристик процесу шліфування. Доцільність розробки підсистеми вибору рекомендованих параметрів шліфувального круга зумовлена необхідністю запобігання утворенню дефектів та браку готових виробів при обробці деталей кругом з невідповідними властивостями.

**Література**

1. Боровский Г.В. Справочник инструментальщика / Г.В. Боровский, С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с.
2. Новиков Н.В. Инструменты из сверхтвердых материалов : справочник / Г.П. Богатырева [и др.] ; под ред. Н.В. Новикова. – М. : Машиностроение, 2005. – 555 с.
3. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования /А.В. Якимов.– М.: Машиностроение, 1975.– 176 с.
4. Шахбазов Я.О. Наукові і технологічні основи формування різального рельєфу шліфувальних кругів з метою підвищення ефективності обробки: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Харків, 2007. – 36 с.
5. Зубарев Ю.М. Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов: Учебное пособие / Ю.М. Зубарев, А.В. Приемышев. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 304 с.
6. Лавріненко В.І. Шліфувальні круги з надтвердих матеріалів у верстатній системі: обмеження за критерієм жорсткості / В.І. Лавріненко // Сверхтвердые материалы. – 2009. – № 2. – С. 82–87.
7. Сінковський А.С. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: конспект лекцій / А.С. Сінковський. – Одеса: АО БАХВА, 2002. – 88 с.
8. Сінковський А.С. Матеріалознавство: курс лекцій / А.С. Сінковський. – Одеса: Наука и техника, 2009. – 172 с.
9. Рибак О.В. Застосування еволюційних методів оптимізації для вибору режимів шліфування / О.В. Рибак // Технічні науки та технології. – 2021. – № 4 (26). – С. 97-105.

**References**

1. Borovskij G.V. Spravochnik instrumentalshika / G.V. Borovskij, S.N. Grigorev, A.R. Maslov. – М.: Mashinostroenie, 2005. – 464 s.
2. Novikov N.V. Instrumenty iz sverhtverdyh materialov : spravochnik / G.P. Bogatyreva [i dr.] ; pod red. N.V. Novikova. – М. : Mashinostroenie, 2005. – 555 s.
3. Yakimov A.V. Optimizaciya processa shlifovaniya / A.V. Yakimov.– М.: Mashinostroenie, 1975.– 176 s.
4. Shakhbazov Y.O. Naukovi i tekhnolohichni osnovy formuvannia rizalnoho reliefu shlifovalnykh kruhiv z metoiu pidvyshchennia efektyvnosti obrobky: Avtoref. dys. d-ra tekhn. nauk. – Kharkiv, 2007. – 36 s.
5. Zubarev Y.M. Teoriya i praktika povysheniya effektivnosti shlifovaniya materialov: Uchebnoe posobie / Y.M. Zubarev, A.V. Priemyshev. – SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2010. – 304 s.
6. Lavrinenko V.I. Shlifovalni kruhy z nadtverdykh materialiv u verstatnii systemi: obmezhenia za kryteriiem zhorstkosti / V.I. Lavrinenko // Sverhtverdye materialy. – 2009. – № 2. – S. 82–87.
7. Sinkovskiy A.S. Tekhnolohiia konstruktsiinykh materialiv i materialoznavstvo: konspekt lektzii / A.S. Sinkovskiy. – Odesa: AO BAHVA, 2002. – 88 s.
8. Sinkovskij A.S. Materialovedenie: kurs lekcij / A.S. Sinkovskij. – Odesa: Nauka i tehnika, 2009. – 172 s.
9. Rybak O.V. Zastosuvannia evoliutsiinykh metodiv optymizatsii dlia vyboru rezhymiv shlifuvannia / O.V. Rybak // Tekhnichni nauky ta tekhnolohii. – 2021. – № 4 (26). – S. 97-105.

Рецензія/Peer review : 15.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.