

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут  
Кафедра конструювання машин

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Магістерська дисертація**

на здобуття ступеня магістра  
за освітньо-професійною програмою  
«Конструювання та дизайн машин»  
зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему Магнітно-абразивне оброблення інструменту зі зносостійким покриттям

Виконав (-ла): студент (-ка) \_\_\_\_\_ II курсу, групи МК – 21 мп

\_\_\_\_\_ Косянчук Владислав Валентинович

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ д.т.н., проф., Майборода В.С.

(посада, науковий ступінь тавчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з розділу \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь тавчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

\_\_\_\_\_ (посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2024

**Національний технічний університет України**  
**“Київський політехнічний інститут**  
**імені Ігоря Сікорського”**  
**Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання машин**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Конструювання та дизайн машин»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Юрій**

**ДАНИЛЬЧЕНКО**

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ Косянчуку Владиславу Валентиновичу \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Магнітно-абразивне оброблення інструменту зі зносостійким покриттям

науковий керівник дисертації Майборода Віктор Станіславович, д.т.н., проф.

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від **“03” листопада 2023 року № 5127-с**

2. Термін подання студентом дисертації Січень 2024

3. Об'єкт дослідження Магнітно-абразивне оброблення твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям

4. Предмет дослідження (Вихідні дані) Твердосплавні пластин зі зносостійким покриттям після процесу магнітно-абразивного оброблення

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Проаналізувати існуючі методи оброблення твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям. Здійснення експериментальних досліджень: процесу магнітно-абразивного оброблення твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям; вимірювання поверхневої мікротвердості. Здійснення стійкісних досліджень при фрезеруванні

дослідницьких зразків. Виконати опрацювання та аналіз отриманих результатів

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу. Огляд процесів фінішного оброблення твердосплавного інструменту зі зносостійкими покриттями, експериментальні дослідження магнітно-абразивного оброблення пластин, схеми вимірювання параметрів якості, стійкісні дослідження

7. Орієнтовний перелік публікацій Результати публікації матеріалів дисертації роботи в збірниках тез конференції: «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем – 2023» та «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку»

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання отримав

9. Дата видачі завдання 01.12.2022

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з існуючою літературою сучасного стану оброблення твердосплавного інструмента зі зносостійким покриттям	01.10.2022-01.12.2022	Виконано
2	Здійснення експериментальних досліджень: процесу MAO твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям різними типами МАП; вимірювання поверхневої мікротвердості оброблених пластин та радіусу округлення різальної кромки.	01.12.2022-01.04.2023	Виконано
3	Здійснення стійкісних досліджень при фрезеруванні дослідницьких зразків обробленими MAO пластинами.	01.09.2023-26.10.2023	Виконано
4	Оброблення і опрацювання отриманих результатів дослідження	06.11.2023-25.12.2023	Виконано
5	Оформлення записки	25.12.2023-07.01.2024	Виконано

Студент

Владислав, КОСЯНЧУК

Науковий керівник дисертації

Віктор, МАЙБОРОДА

## АНОТАЦІЯ

*Актуальність дослідження.* Актуальним на сьогоднішній день являється збільшення довговічності та працездатності різального інструмента. Твердий сплав задовільняє більшість потреб, які задаються при поставленні завдань механічного оброблення. Висока твердість, теплостійкість, зносостійкість, супроводжується також і вельми не бажаними властивостями цього сплаву, а саме дороговартість та крихкість, задля усунення цього на твердий сплав наносяться різні типи покриттів, які дозволяють усунути більшість проблем, що виникають. Це дозволяє отримати майже ідеалізовані властивості інструментального матеріалу.

Окрім позитивних властивостей зносостійких покриттів виникає і їхній протилежний аспект – складність оброблення. При нанесенні покриттів на різальний інструмент не від'ємною потребою залишається виконання пост-оброблення і чим якісніше буде здійснено оброблення тим краще можна реалізувати такий інструмент в роботі.

Одним з можливих шляхів вирішення цієї задачі являється магнітно-абразивне оброблення (МАО), завдяки магнітно-абразивним порошкам (МАП) за рахунок яких формується магнітно-абразивний інструмент (МАІ) можливе оброблення з подальшим покращенням поверхневих шарів передніх та задніх поверхонь різального інструмента шляхом: зменшення шорсткості, збільшення радіусу округлення різальної кромки (РК), збільшення мікротвердості та багато іншого.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.* Магістерська дисертація виконана в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у відповідності до наукових напрямків кафедри конструювання машин.

**Мета та задачі дослідження.** Підвищити параметри якості тврдосплавних пластин зі зносостійкими покриттями за допомогою МАО в умовах великих магнітних щільностей.

З метою досягнення визначеної цілі, необхідно розв'язати наступні завдання:

1. Здійснити літературний аналіз існуючих способів оброблення твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям

2. Дослідити вплив процесу MAO на поверхневу мікротвердість та радіуси округлення РК, експериментальних зразків, при застосуванні різного складу МАІ при MAO.

3. Провести стійкісне дослідження оброблених процесом MAO твердосплавних пластин з покриттям при фрезеруванні сталі 40.

*Об'єкт дослідження* – процес MAO твердосплавних пластин зі зносостійкими покриттями.

*Предмет дослідження* – вплив різноманітного складу МАІ формуючого МАІ на покращення параметрів якості поверхні твердосплавних пластин зі зносостійкими покриттями.

*Методи дослідження* – Задля досягнення визначених завдань дослідження було застосовано основні принципи теорії різання, механічного оброблення матеріалів, матеріалознавства, трибології, математичної статистики. Здійснено експериментальні випробування під контрольованими лабораторними умовами з застосуванням новітніх методик та вимірювальних засобів.

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Експериментально досліджено зміну поверхневої мікротвердості та радіусів округлення РК твердосплавних пластин зі зносостійкими покриттями при їх попередньому обробленні різним складом МАІ.

За рахунок проведення стійкісних досліджень встановлено можливість покращення працездатності твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям завдяки MAO.

**Практичне значення отриманих результатів.** Реалізовано можливість застосування методу MAO зносостійких покриттів твердосплавних пластин для покращення їхньої поверхневої якості.

*Апробація результатів.* Основні положення та результати дисертації доповідались та обговорювались на науково-технічних конференціях, а саме: XIII міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем – 2023» (м. Чернігів 25.05.2023 – 26.05.2023), XXI Міжнародна науково-технічна конференція «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Тернопіль 28.06.2023 – 30.06.2023).

**Ключові слова:** магнітно–абразивне оброблення, магнітно–абразивний порошок, магнітно абразивний інструмент, твёрдосплавна пластина, зносостійке покриття, різальний інструмент, різальна кромка, мікротвердість, радіус округлення різальних кромок, шорсткість, зношення.

## ABSTRACT

*Relevance of research.* Increasing the durability and service life of cutting tools is a topical issue today. Carbide satisfies most of the needs that are set when it comes to machining tasks. High hardness, heat resistance, and wear resistance are accompanied by some very undesirable properties of this alloy, namely high cost and brittleness. To eliminate this, various types of coatings are applied to the carbide, which can eliminate most of the problems that arise. This results in almost idealized properties of the tool material.

In addition to the positive properties of wear-resistant coatings, there is also the opposite aspect of them - the complexity of processing. When applying coatings to cutting tools, post-processing remains an essential need, and the better the processing, the better the tool can be used in the field.

One of the possible ways to solve this problem is magnetic abrasive finishing (MAF), thanks to magnetic abrasive powders (MAP), which form a magnetic abrasive tool (MAT), it is possible to process with further improvement of the surface layers of the front and rear surfaces of the cutting tool by: reducing roughness, increasing the radius of curvature of the cutting edge (CE), increasing microhardness and much more.

*The connection of work with scientific programs, plans, and topics.* The master's thesis was completed at the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" in accordance with the scientific directions of the Department of Machine Design.

**The goal and objectives of the research.** Enhancing the quality parameters of hard alloy plates with wear-resistant coatings through MAF in the presence of large magnetic gaps.

In order to achieve the defined goal, the following tasks need to be addressed:

1. Conduct a literature review of existing methods for processing hard alloy plates with wear-resistant coatings.

2. Investigate the influence of the MAF process on the surface microhardness and edge radii (CE) of experimental samples when applying different compositions of the MAT during the MAF process.

3. Perform a durability study of hard alloy plates processed with the MAF method with coatings during milling of steel 40

*Research Object* – The MAF process of carbide inserts with wear-resistant coatings.

*Subject of Study* – The effect of various composition of MAP forming MAI on improvement of surface quality parameters of carbide plates with wear-resistant coatings.

*Research Methods* – To achieve the defined research objectives, the fundamental principles of cutting theory, mechanical processing of materials, materials science, tribology, and mathematical statistics were applied. Experimental tests were conducted under controlled laboratory conditions using state-of-the-art methodologies and measuring instruments.

**The scientific novelty of the obtained results.** The change in the surface microhardness and rounding radii of the CE of carbide plates with wear-resistant coatings during their pretreatment with different MAT compositions was experimentally investigated.

The possibility of improving the performance of carbide plates with wear-resistant coatings due to MAF was established by conducting stability studies.

**Practical significance of the obtained results.** The possibility of applying the MAF method to wear-resistant coatings of carbide plates to improve their surface quality has been realized.

*Results Validation.* The main provisions and results of the dissertation were presented and discussed at scientific and technical conferences, namely: the 13th International Scientific and Practical Conference 'Comprehensive Quality Assurance of Technological Processes and Systems – 2023' (Chernihiv, May 25-26, 2023), and the 21st International Scientific and Technical Conference 'Heavy Engineering. Problems and Prospects of Development' (Ternopil, June 28-30, 2023).

Keywords: magnetic abrasive finishing, magnetic abrasive powder, magnetic abrasive tool, carbide insert, wear-resistant coating, cutting tool, cutting edge, microhardness, cutting edge radius, roughness, wear.

## ЗМІСТ

1 Аналіз сучасного стану оброблення твердосплавного інструмента зі зносостійким покриттям.....	13
1.1 Твердосплавний різальний інструмент зі зносостійким покриттям.....	13
1.2 Методи нанесення покриттів.....	16
1.3 Типи покриттів.....	19
1.4 Інструментальні матеріали.....	20
1.5 Матеріали покриттів.....	21
1.6 Складність фінішного оброблення зносостійких покриттів.....	24
1.7 Існуючі методи фінішного оброблення різального інструмента зі зносостійким покриттям.....	25
1.8 Класифікація і методи оброблення.....	25
1.9 Основні поняття магнітно-абразивного оброблення.....	36
1.10 Схеми і принципи роботи процесів магнітно-абразивного оброблення які можливо застосовувати для роботи з різальними пластинами.....	37
Висновок.....	44
2 Обладнання та матеріали досліджень.....	45
2.1 Установка для магнітно-абразивного оброблення твердосплавних пластин.....	45
2.4 Вимірювання радіусів округлення різальних кромки.....	48
2.5 Проведення стійкісних випробувань.....	49
2.5.1 Обладнання для проведення експеримента.....	49
2.5.2 Розрахунок режимів різання.....	50
2.5.3 Матеріали та процес оброблення.....	52
2.6 Вимірювання зносу твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям.....	53
3 Результати експериментальних досліджень.....	54
3.1 Дослідження впливу зміни мікротвердості поверхні різальних пластин з покриттям при різні.....	54
3.2 Дослідження впливу магнітно-абразивного оброблення на стан різальної кромки...56	56
3.3 Стійкісне випробування.....	59
Висновок.....	61
4 Стартап проект.....	62
4.1 Опис проекту та ідея проекту.....	62
4.2 Основні вигоди, що може отримати користувач товару.....	63
4.3 Технологічний аудит ідеї проекту.....	63
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту умови.....	64
4.5 Аналіз ринкового середовища.....	66
4.6 SWOT-аналіз.....	69
4.6.1 Перший етап swot-аналізу: «аналіз діючих факторів».....	69
4.6.2 Другий етап swot-аналізу: «пошук конструктивного рішення».....	70

	12
4.7 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	71
4.7.1 Опис цільових груп споживачів .....	71
4.7.2 Стратегія конкурентної поведінки .....	72
4.8 Розроблення маркетингової стратегії проекту .....	73
4.9 Визначення оптимальної системи збуту .....	73
Висновок.....	75
Список використаних джерел .....	76
Додаток А – Протокол вимірювань .....	85
Додаток Б – Теза конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем - 2023».....	87
Додаток В – Теза конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку».....	90
Додаток Г – Презентація доповіді.....	93

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБРОБЛЕННЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТА ЗІ ЗНОСОСТІЙКИМ ПОКРИТТЯМ

## 1.1 Твердосплавний різальний інструмент зі зносостійким покриттям.

У процесі оброблення металів різанням робочі поверхні інструментів піддаються інтенсивному впливу високих контактних тисків і температур, а взаємодія з оброблюваним матеріалом та реагентами з навколишнього середовища призводить до перебігу інтенсивних фізико-хімічних процесів – адгезії, дифузії, окислення. Щоб інструменти могли опиратися цим процесам і навантаженням, що діють на них, інструментальні матеріали повинні відповідати наступним вимогам [1]:

- теплостійкість;
- зносостійкість;
- теплопровідність;
- технологічність;
- твердість інструментального матеріалу повинна значно (більш ніж у 2,5 рази) перевищувати твердість оброблюваного матеріалу;
- інструментальні матеріали повинні мати достатню механічну міцність при згинанні, розтягуванні і крученні, а також ударну в'язкість;
- володіти низькою фізико-хімічною активністю по відношенню до оброблюваного матеріалу.

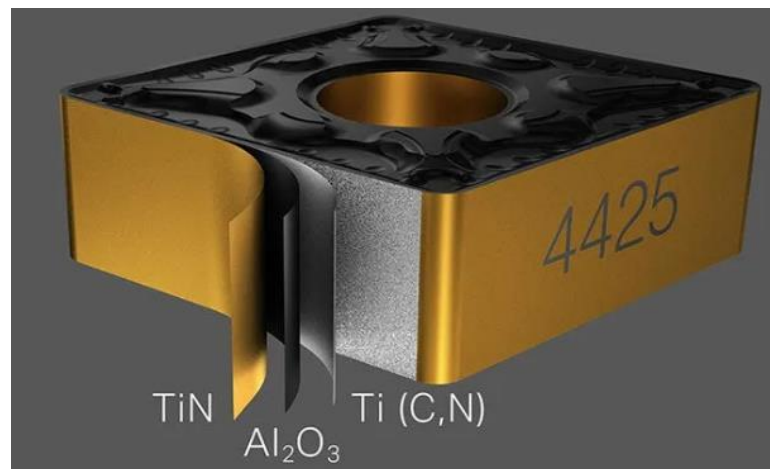
Враховуючи обсяг застосування і очікувані результати, до перспективних матеріалів, для оснащення різальних інструментів, належать перш за все, тверді сплави (ТС) [2].

Оброблення інструментами з ТС характеризується високою продуктивністю – при обробленні деталей з чавунів, конструкційних сталей, високолегованих сталей і сплавів, вони дозволяють підвищити швидкість різання до 2-х і більше разів або збільшити стійкість інструменту в 3-5 рази у

порівнянні з інструментами з швидкорізальних сталей. Застосування інструментів з ТС обумовлює і суттєву економію вольфраму – інструменти з ТС дозволяють видалити в стружку в 5 разів більше металу, ніж інструменти зі швидкорізальної сталі з таким же вмістом W [2]

Даний сплав коштує дорожче за одиницю, ніж інші типові інструментальні матеріали, і він більш крихкий, що робить його сприйнятливим до відколів і ламання.

Ще одним ключовим фактором який являється ефективним методом підвищення стійкості та різальної здатності твердосплавних інструментів є нанесення зносостійких покриттів (рис. 1.1). Матеріалами для таких покриттів є карбіди, нітриди, борида, карбонітриди та силіциди тугоплавких металів, а також оксид алюмінію та синтетичні надтверді матеріали на основі алмазу та ельбору [3].

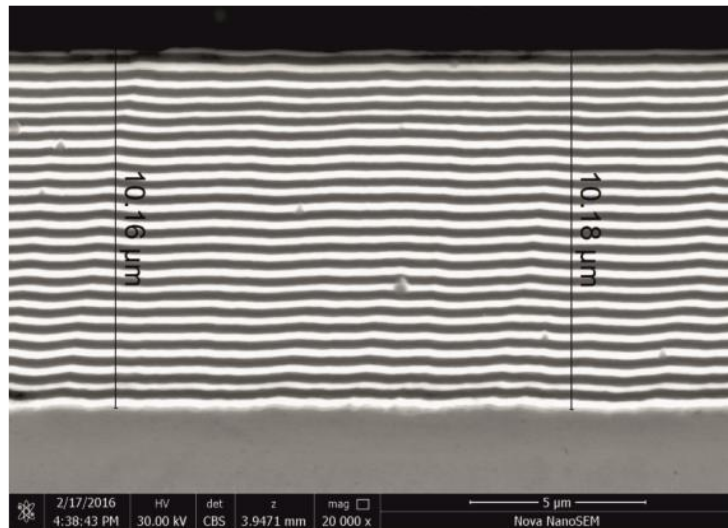


**Рисунок 1.1** – Твердосплавна різальна пластина з покриттям [4]

Інструменти з покриттями забезпечують підвищення в 3-5 разів періоду стійкості або приблизно на 10-30% – швидкості різання при незмінній стійкості порівняно з інструментами, що оснащені твердосплавними пластинами без покриття [3].

Зносостійкі покриття формують на основі одного або кількох шарів (рис. 1.2). Товщина одношарових покриттів становить близько 3-4 мкм, дво- та тришарових – 5-8 мкм, а в деяких випадках до – 12 мкм [3].

Інструменти з покриттям мають структуру складного матеріалу, що складається з підкладки, покритої твердим, антифрикційним, хімічно інертним і теплоізоляційним шаром товщиною до декількох мікрметрів. Таким чином, інструменти з покриттям порівняно з інструментами без покриття забезпечують кращий захист від механічних і термічних навантажень, зменшують тертя та взаємодію між інструментом і стружкою, а також покращують зносостійкість у широкому діапазоні температур різання. Покриття повторюють топографію поверхні основи інструменту. Залежно від процесу осадження товщина плівки може змінюватися на бічній і передній поверхнях інструменту [5].



**Рисунок 1.2** – Поперечний переріз багатошарового (TiAlSiY)N і CrN покриття [6]

Таким чином, інструментальні матеріали із зносостійким покриттям за своїми властивостями наближаються до властивостей ідеалізованого інструментального матеріалу, а інструмент, виготовлений з такого матеріалу, може мати задовільний запас крихкої та пластичної міцності одночасно, що збільшує його надійність, особливо при використанні на складному автоматизованому обладнанні [7].

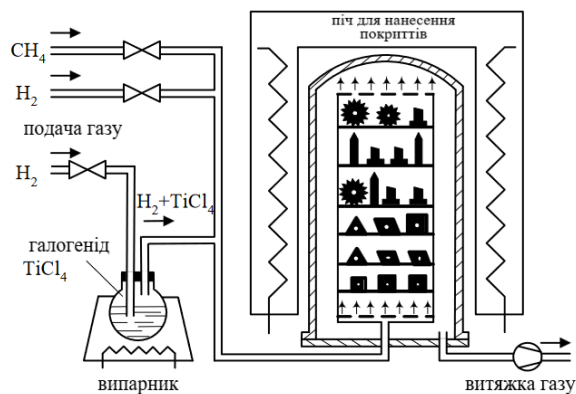
## 1.2 Методи нанесення покриттів

Надзвичайно важливим завданням розробки інструментального матеріалу з покриттям є вибір методу нанесення покриттів [7].

Найбільш поширеними технологіями нанесення тонко-плівкового покриття на матеріал підкладки загалом можна розділити на два типи, а саме: хімічне осадження з парової фази (CVD) і фізичне осадження з парової фази (PVD) [8].

Важливою перевагою даних процесів є висока гнучкість щодо складу та структури покриттів, і сьогодні ці процеси успішно використовуються для покриття великої різноманітності деталей [9].

*Хімічне осадження із газової фази* (рис. 1.3) – CVD (*chemical vapour deposition*): CVD – це хімічний процес, який широко використовується для оброблення поверхні твёрдосплавних різальних інструментів. У процесі CVD вихідний матеріал вводиться в реакційну камеру у вигляді газу, і відбувається хімічна реакція, при якій вихідний матеріал осідає на поверхню підкладки шляхом внутрішньої дифузії. У процесі реакції також можуть утворюватися різні побічні продукти, але більшість з них буде винесено з потоком газу і не залишиться в реакційній камері [10].



**Рисунок 1.3** – Принципова схема процесу хімічного осадження покриттів із газової фази на твёрдосплавні інструменти [1]

Технології CVD переважно використовуються при масовому виробництві різних типів твердосплавних пластин з покриттям. Максимальну ефективність твердосплавні інструменти з покриттям CVD мають для чистових та напівчистових операцій безперервного різання сталей та чавунів[7].

Однак процеси CVD часто не відповідають стандартам безпеки: здійснюються за високих температур (800-1500°C) та великої тривалості. Останнє є причиною утворення крихкої η-фази (потрійний карбід  $W_3Co_3C$ )(для твердого сплаву) на межах розділу покриття – субстрат, зерно – зв'язка, що знижує міцність інструментального матеріалу на 20 – 30%. Також для операцій важкого чорнового оброблення, переривчастого різання, а також різання важко оброблювальних матеріалів, ефективність інструменту з покриттям CVD істотно знижується [7].

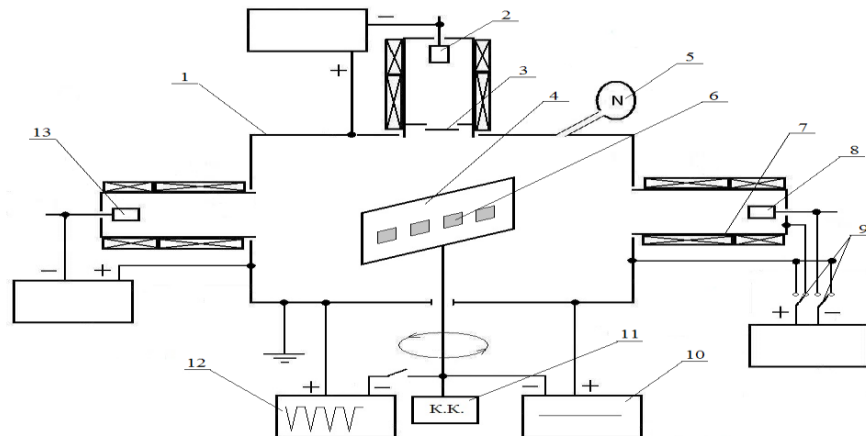
Сучасні CVD-покриття поєднують високотемпературні та середньо температурні процеси в складних циклах, які створюють чудові зносостійкі покриття загальною товщиною 4-20 мкм. [11]. Однак висока температура осадження (950-1059 °C) під час CVD призводить до дифузії хімічних елементів від карбідної підкладки до покриття під час росту. Основним ефектом є окрихчення кромки покриття. Крім того, хімічний склад процесу CVD призводить до більш швидкого росту різальної кромки, що призводить до рівномірної товщини покриття. Тому існувала сильна рушійна сила для пошуку покриттів, які можна було б наносити за нижчих температур, щоб дозволити наносити покриття на інструменти з гострішими краями без будь-якого ефекту окрихчення [12].

*Фізичне осадження із газової фази (рис. 1.4) – PVD (physical vapour deposition):*

PVD охоплює широке сімейство процесів вакуумного нанесення покриттів, у яких метал, з якого складається матеріал плівки, фізично видаляється з джерела або «мішені» шляхом випаровування або розпилення. Потім вони транспортуються у вакуумі або частковому вакуумі за допомогою

енергії частинок пари та конденсуються у вигляді плівки на поверхнях відповідним чином розташованих деталей у вакуумній камері [5].

Методи фізичного осадження покриттів універсальні з погляду отримання гама одношарових та багатшарових покриттів практично будь-якого складу, у тому числі з алмазоподібною та нанорозмірною структурою [1].



**Рисунок 1.4** – Принципова схема вакуумно-дугової установки типу «БУЛАТ-6» для азотування з наступним нанесенням багатшарових покриттів: 1 – вакуумна камера, 2 – вакуумно-дуговий випарник; 3 – металевий екран, 4 – екран тримач зразків, 5 – регулятор тиску азоту, 6 – зразки, 7 – корпус вакуумно-дугового випарника – анод для газового розряду, 8 – катод Ті, 9 – реле перемикання, 10 – джерело постійної напруги, 11 – командоконтролер, 12 – джерело імпульсної напруги, 13 – катод [74]

Вони дозволяють реалізовувати процеси нанесення покриттів при температурах 500 – 600°C, що забезпечує їх застосування для швидкорізальних сталей, твердих сплавів та кераміки [1].

Технологія PVD є успішною, оскільки вона дозволяє проводити процес осадження при нижчій температурі 450-550 °С порівняно з процесом CVD, який проводиться при температурі 550-1100 °С.

Крім того, перевага PVD полягає в тому, що він може точно контролювати товщину покриття, особливо на кромках різального

інструменту. Це дозволяє виготовляти різальний інструмент із більш гострими кромками [13]. Через процес PVD буде створено напруження стискання [14]. Ця особливість може запобігти появі тріщин на різальній кромці при сильному ударі [13].

### 1.3 Типи покриттів

Покриття надають інструменту властивості, які найкраще відповідають застосуванню оброблення, наприклад, зносостійкість, розсіювання тепла або низький коефіцієнт тертя. Ці покриття мають різну конструкцію (рис. 1.5); це означає, що вони можуть мати кілька шарів, які забезпечують різальному інструменту покращені властивості, наприклад, зовнішній шар може мати підвищену зносостійкість, а наступний шар може виконувати свою основну функцію розсіювання тепла. Ця універсальність робить інструменти з покриттям дуже перспективними. Конструкції покриттів наступні:

- одношарове покриття;
- двошарове покриття;
- градієнтне покриття;
- багат шарове покриття;
- нан шарове покриття;
- нанокompозитне покриття [15].



**Рисунок 1.5** – Схема покриттів при нанесенні на основу [16].

Найбільш використовуваним типом покриття в машинобудівній промисловості є багат шарове покриття, яке поєднує більше ніж одну перспективну характеристику кожного шару покриття. Таким чином

покращується продуктивність інструменту, що робить цей тип покриття дуже популярним вибором [16].

#### **1.4 Інструментальні матеріали**

Матеріали, які володіють – високою твердістю, механічною міцністю, високою зносостійкістю підвищеною теплопровідністю та теплостійкістю, класифікуються як інструментальна [17].

До групи інструментальних матеріалів належать:

##### ***Інструментальна сталь***

Ця сталь відрізняється високою твердістю і міцністю (після остаточної термообробки) [18]. За хімічним складом інструментальні сталі поділяються на вуглецеві, леговані і швидкорізальні (високолеговані). Вони мало відрізняються між собою за твердістю, зате мають різну теплостійкість [18].

##### ***Твердосплавні матеріали***

Виготовлені за допомогою порошкової металургії тверді сплави широко використовуються у виробництві інструментів [17]. У твердому сплаві зазвичай використовують карбід вольфраму (WC), карбід титану (TiC) або карбід танталу (TaC) в якості заповнювача [19].

##### ***Надтверді матеріали***

Надтверді матеріали мають високу твердість (до 96 HRA), характеризуються зносостійкістю та низьким коефіцієнтом тертя. Поділяються на матеріали на основі природних і синтетичних алмазів і на основі кубічного нітриду бору. Найкращим для обробки є алмаз [20].

##### ***Мінералокераміка***

Мінералокерамічні інструментальні матеріали мають високу твердість, тепло- і зносостійкість. Їх основою є глинозем  $Al_2O_3$  (оксидна кераміка) або суміш  $Al_2O_3$  з карбідами і нітриду (Кермет). Приклад таких матеріалів: ВСК-60, Кортиніт. Твердість до 94 HRA [20].

## 1.5 Матеріали покриттів

Виходячи із загальних експлуатаційних вимог, покриття має бути: стійким проти корозії та окислення; зберігати свої властивості за високих температур; не мати дефектів (пор, включень); мати високу межу витривалості. У відповідності до головного призначення покриття повинні мати: твердість у 1,5–2 рази вищу за твердість інструментального матеріалу; низьку схильність до адгезії з оброблюваним матеріалом; мінімальну здатність до дифузійного розчинення в оброблюваному матеріалі [7].

Різні сполуки тугоплавких металів, що набули найбільшого поширення як покриття та їх окремих шарів, можна умовно розділити на три групи залежно від типу хімічного зв'язку між атомами: металевий, ковалентний або іонний. Бориди, карбіди та нітриди перехідних металів – TiN, CrN, ZrN, TiC, ZrC, WC, TiB<sub>2</sub>, мають переважно металевий зв'язок; B<sub>4</sub>C, BN, SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, AlB<sub>2</sub>, AlN являють собою матеріали з ковалентним зв'язком; оксиди Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> мають іонний зв'язок [7].

Між тугоплавкими карбідами, нітридами та боридами є якісна відмінність. Бориди і карбіди є більш твердими і мають більш високу термодинамічну стійкість порівняно з нітридами. Практично це означає, що нітриди мають більш низький опір високотемпературного окислення та корозії. Тим не менш, нітриди характеризуються більш високою пасивністю по відношенню до більшості оброблюваних матеріалів (нижчою схильністю до твердо-і рідкофазних дифузій), а також сильно відрізняються від них кристалохімічною будовою. Крім того, нітриди пластичніші і менш крихкі, ніж карбіди і бориди. Це є їхньою перевагою при використанні в умовах змінних теплосилових навантажень – наприклад, в умовах наросту утворення або процесів переривчастого різання [7].

Тверді матеріали з іонним зв'язком через їх високу стабільність і слабку схильність до фізико-хімічної взаємодії, найкраще підходять як матеріали покриття для інструменту, призначеного для фінішної обробки поверхні [7].

Для прикладу нижче наведено найпоширеніші зносостійкі покриття для підвищення міцності різального інструмента з твердого сплаву:

**TiN – нітрид титану** – базове зносостійке покриття загального призначення TiN – найпоширеніше зносостійке та абразивостійке тверде покриття. Воно зменшує тертя, підвищує хімічну та температурну стійкість і зменшує налипання матеріалу, яке часто виникає при обробленні м'яких сталей. TiN підходить для покриття інструментів з твердих сплавів – свердел, фрез, різальних пластин, мітчиків, розгорток, перфтораторних ножів, матриць, форм тощо. Біосумісність дозволяє використовувати його на медичних інструментах (хірургічних і стоматологічних) та пристроях для імплантації. [21].

**TiC – карбід титану** – Використовується як самостійне покриття, а також як його окремі шари. Є більш крихким, ніж TiN. Має кристалохімічну сумісність з твердими сплавами. Тому часто використовується як внутрішній шар багат шарового покриття з метою збільшення міцності його адгезійного зв'язку з твердосплавною підкладкою [1].

**TiAlN – нітрид титану алюмінію** – зносостійке покриття для високошвидкісного різання TiAlN – це покриття з чудовою твердістю та високою стійкістю до термічної дії та окислення. Введення алюмінію призвело до збільшення термічного опору цього композитного PVD-покриття порівняно зі стандартним покриттям TiN на 100°C. TiAlN зазвичай наноситься на високошвидкісні різальні інструменти, які використовуються на верстатах з ЧПК для оброблення матеріалів підвищеної в'язкості та в суворих умовах різання. TiAlN особливо підходить для монолітних твердосплавних фрез, свердел, вставок для різальних інструментів. Його можна використовувати для сухого або майже сухого оброблення [21].

**AlCrN – нітрид алюмінію хрому** – Покриття надзвичайно стійке до високих температур і зношення. Покриття містить хром замість титану, що забезпечує кращі експлуатаційні характеристики порівняно з нітридом титану та алюмінію (TiAlN). Покриття можна використовувати для оброблення

нержавіючої сталі, титану, чавуну, інструментальних сталей та інших складних матеріалів [22].

**TiAlCN** – карбонітрид титану алюмінію – це тип покриття, яке забезпечує чудові властивості завдяки унікальній комбінації титану, алюмінію, вуглецю та азоту. Однією з головних переваг покриття TiAlCN є те, що воно значно подовжує термін служби матеріалу, на який воно наноситься. Таким чином подовжується час обробки матеріалу і знижуються витрати. Показуючи чудову продуктивність, особливо в екстремальних температурних умовах, TiAlCN є варіантом покриття, який робить виробничий процес більш ефективним. Покриття TiAlCN має явні переваги перед іншими популярними типами покриттів, такими як AlTiN (нітрид алюмінію, титану) і TiN (нітрид титану). Особливо при високій швидкості обробки та важких умовах різання TiAlCN забезпечує довший термін служби інструменту, ніж інші типи покриттів [23].

**TiCN** – карбонітрид титану – чудове універсальне покриття. TiCN твердіший і більш стійкий до ударів, ніж TiN. Його можна використовувати для покриття різальних інструментів, інструментів для штампування та формування, компонентів ливарних форм та інших компонентів, що зношуються. Оскільки він біологічно сумісний, його можна використовувати на медичних інструментах і імплантованих пристроях. Швидкість оброблення може бути збільшена як і термін служби інструменту може бути збільшений у 8 разів залежно від застосування, охолоджувальної рідини та інших умов оброблення. Покриття TiCN рекомендується використовувати для достатньо охолодженого різання через його відносно нижчу термічну стабільність [21].

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** – оксид алюмінію – В основному використовується як один із шарів багат шарового покриття. Має підвищену мікротвердістю (залежно від типу кристалічної ґрати та режимів осадження вона може становити до 35 ГПа), що зберігається при підвищених температурах різання та характеризується підвищеною пасивністю по відношенню до багатьох оброблюваних матеріалів, але при цьому є надзвичайно тонким.

Застосовується як бар'єрний шар стримує дифузійні процеси, а також окислення різальних кромки інструменту за високих температур [1].

**DLC (Diamond-like carbon)** – *Алмазоподібний вуглець* – це сімейство покриттів на основі вуглецю, які мають надзвичайну твердість завдяки кристалічній (тетрагональній) структурі алмазу і є м'якими та змащувальними завдяки кристалічній (гексагональній) структурі графіту. DLC - це технологічне вдосконалення покриттів фізичного осадження з газової фази (PVD) + хімічного осадження з газової фази, посиленого плазмою (PECVD), яке має великий успіх у комерційній промисловості [24]. Перевагами даного покриття являються: висока твердість (HV6000 або вище), відмінна зносостійкість, низький коефіцієнт тертя.

**DLA (Diamond-like alloy)** – це запатентована серія TechCoat DLA покриттів алмазоподібного сплаву (DLC), що використовує новітню технологію покриття для забезпечення надзвичайно ефективного вирішення проблем із високим зносом, високим тертям і шорсткістю поверхні [25]. Твердість 2500-3300 HV, низьким коефіцієнтом тертя.

## **1.6 Складність фінішного оброблення зносостійких покриттів**

Впровадження інструментів з покриттям у машинобудівну промисловість принесло багато переваг [26]. Інструменти з покриттям порівняно з інструментами без покриття забезпечують кращий захист від механічних і теплових навантажень, зменшують тертя і взаємодію між інструментом та стружкою, а також підвищують зносостійкість в широкому діапазоні температур різання [27].

Загальні вимоги до обробки та фінішної обробки передбачають дотримання жорстких геометричних допусків, субмікронної обробки поверхні і точних розмірів [28]. Однак через механічні властивості покриттів, зокрема високу твердість, дотримання таких вимог за допомогою звичайних методів оброблення поверхні може бути складним завданням [29].

У міру того, як тверді покриття та інші важкооброблювані матеріали почали використовуватися все частіше, використання традиційних методів оброблення стало непридатним, і почали застосовуватися більш досконалі методи. З цієї причини використання звичайних методів фінішного оброблення поверхонь не підходить [28]. Ця проблема загострюється, коли деталі з покриттям мають складну геометрію зі складними, чітко визначеними характеристиками, які вимагають спеціальних методів фінішного оброблення [29].

### **1.7 Існуючі методи фінішного оброблення різального інструмента зі зносостійким покриттям**

Вибір методу фінішного оброблення базується на ряді факторів, включаючи вплив на цілісність поверхні, його гнучкість для використання на деталях зі складною геометрією, економічність процесу і т. д. [28].

Для виконання вище вказаних вимог розглянемо досконаліші методи, які є більш інноваційними і мають потенціал для задоволення суворих геометричних і фінішних вимог. Основні міркування при оцінці придатності процесу оброблення або фінішного оброблення включають модифікаційні ефекти процесів на поверхні покриття, що проявляються у вигляді дефектів покриття-осадження, індукованих залишкових напружень, утворення мікротріщин та пластичної деформації.

### **1.8 Класифікація і методи оброблення.**

Методи оброблення поверхонь зазвичай класифікуються на основі типу використовуваних джерел енергії (рис. 1.6) [30].



**Рисунок 1.6 – Класифікація методів оброблення**

В конкретній роботі методи обробки поверхонь будуть класифікуються на контактні та безконтактні. До контактних методів відносяться такі процеси, як мікро-струминне оброблення, машинно молоткове оброблення, мікро-абразивне суспензійне полірування, абразивна обробка потоком та магнітно абразивне оброблення за допомогою яких на поверхню заготовки здійснюється механічна дія за допомогою різальних інструментів та абразивного середовища.

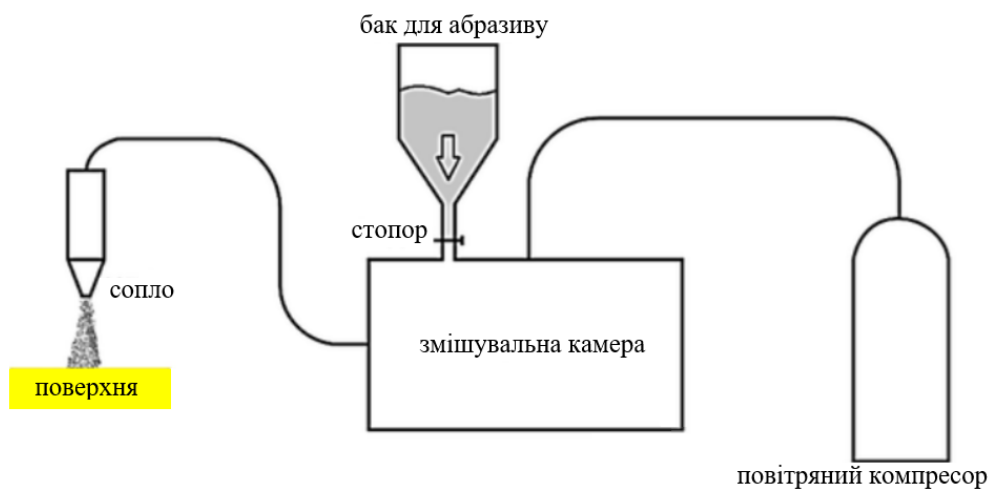
Внаслідок відносного руху між тілами, виникають сили тертя, що спричиняє виділення тепла та утворення залишкового напруження. Такі ефекти можуть мати згубний вплив на субстрат, але також матиме вплив на тверді покриття, які, як правило, не такі міцні. Великі механічні зусилля також можуть спричинити відшарування покриття, якщо вони перевищують міцність зчеплення підкладки з покриттям [28].

До безконтактних методів відносяться хімічні та електротермічні процеси, такі як лазерне нагрівання, криогенне оброблення, та імпульсне оброблення магнітним полем, дані методи в основному виконують задачу мікро текстурування поверхні, підвищення адгезії, а також впливають на зміну механічних властивостей всього матеріалу а не тільки на поверхню інструмента. Потрібно відмітити що дані методи мають не низькі перспективи щоб скласти високу конкуренцію в фінішному обробленні зносостійких покриттів за рахунок своїх позитивних результатів які вони на сьогодні показують.

### ***Мікроструминне оброблення***

Мікроструминне оброблення - це процес оброблення (рис. 1.7), при якому струмінь абразивного матеріалу з розмірами 10-50 мкм і точністю до 300 мкм впливає на поверхню. Завдяки меншому розміру абразивних частинок мікроструминне оброблення стає надійним і продуктивним для крихких і складних поверхонь. Видалення з різальних інструментів нещільних і крихких шарів перед нанесенням покриття підвищує адгезію між поверхнею інструменту та покриттям [31].

Під час абразивно-струменевого оброблення матеріал з поверхні заготовки видаляється за рахунок ударно-ерозійної дії дрібнозернистих абразивних частинок, що вдаряються з високою швидкістю (200-400 м/с). Коли абразивна частинка вдаряється об поверхню, вона викликає крихітну тріщину, і потік газу відносить як абразивні частинки, так і зруйновані (зношені) частинки геть. Щоб досягти такої високої швидкості, абразивні частинки проганяють через сопло зі стисненим газом-носієм, зазвичай повітрям. Високошвидкісний потік абразиву утворюється шляхом перетворення енергії тиску газу-носія або повітря в його кінетичну енергію в соплі, і таким чином утворюється високошвидкісний абразивний струмінь для обробки. Сопло направляє абразивний струмінь на оброблюваний матеріал, підтримуючи необхідну відстань між наконечником сопла і заготовкою. Високошвидкісні абразивні частинки видаляють матеріал шляхом мікросколювання, а також крихкого руйнування оброблюваного матеріалу [32].



**Рисунок 1.7**– Мікрострумінна установка [33]

Мікрострумінне оброблення плівок PVD застосовується в промисловості, як ефективний метод покращення експлуатаційних характеристик інструментів та елементів машин з покриттям. В результаті цього процесу в структурі плівки індукуються залишкові стискаючі напруження, що призводить до покращення твердості та міцності покриття [34].

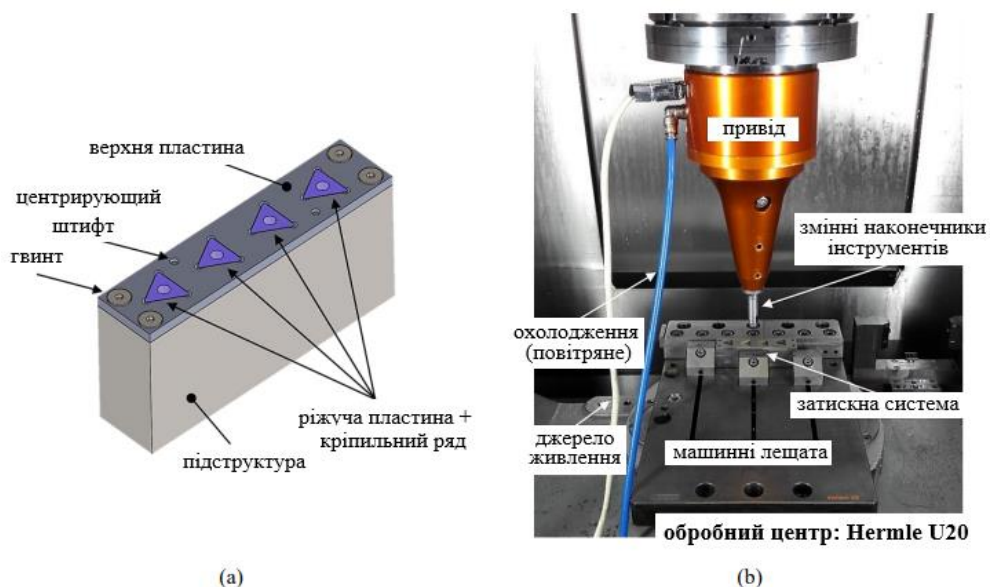
### *Машинно-молоткове оброблення*

Машинне молоткове зміцнення (ММЗ)– це новий метод фінішного оброблення поверхонь [35], оснований на коливальному русі аксіально керованого плунжера з наконечником інструменту на кінці (частіше сферичної форми), який періодично контактує з оброблюваною заготовкою [36].

Протягом останніх десятиліть було розроблено широкий спектр процесів модифікації поверхні. Окрім добре налагоджених процесів, таких як мікроструминне оброблення, існують інші нові процеси модифікації поверхні, такі як машинна молоткова обробка з потенціалом застосування, який ще потрібно оцінити [37].

Можна відмітити що даний метод (рис. 1.8) вдало підходить для застосування його в обробленні різального інструмента, а саме твердосплавних пластини з покриттям [36].

При обробленні було досягнуто значного ущільнення матеріалу на передній поверхні ріжучої пластини за допомогою машинного молоткового уточнення. Таким чином, велика кількість залишкових напружень стиснення була викликана в покритті, а також в спеченій підкладці під ним [36].

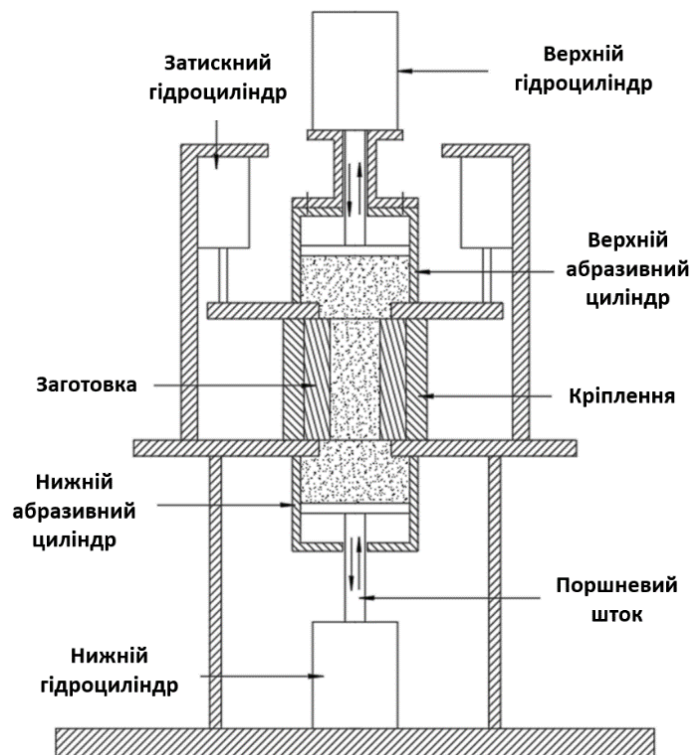


**Рисунок 1.8** – (а) CAD-модель затискної системи для механічного оброблення різальних пластин; (б) експериментальна установка в оброблюючому центрі [36].

Можна виділити що ММЗ сприяє зменшенню пористості та товщини шарів, а також підвищенню твердості за рахунок деформаційного зміцнення [38].

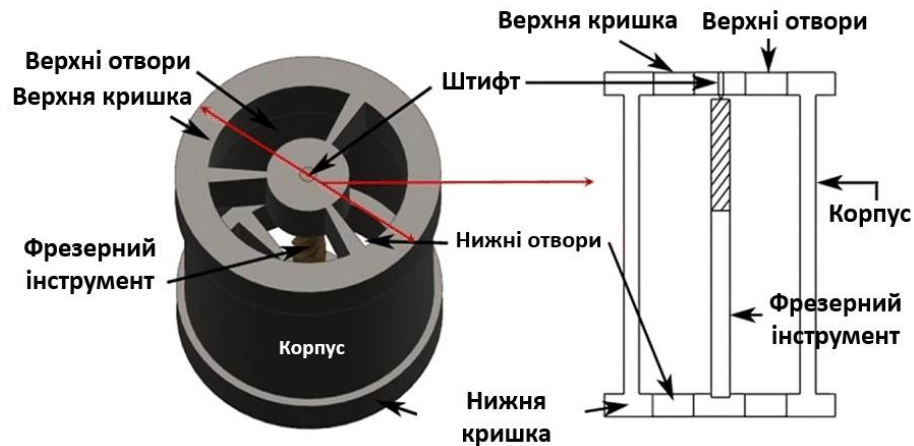
### ***Абразивна оброблення потоком***

Абразивне оброблення потоком (АОП) метод полірування і радіального оброблення поверхонь за допомогою потоку в'язко-еластичного полімеру з абразивом. Залежно від застосування, було описано три різні типи машин: односторонній АОП, двосторонній АОП (рис. 1.9) і орбітальний АОП. Через простоту в аналізі фізики, аналіз процесу АОП завжди відноситься до двостороннього АОП. У ньому використовуються два вертикально розташовані гідравлічні циліндри, які видавлюють середовище вперед і назад через прохід, утворений заготовкою та інструментом. Ключовими компонентами процесу АОП є машина, інструмент та абразивне середовище [39].



**Рисунок 1.9** – Пристосування двосторонньої абразивної обробки потоком [40]

«Загалом, вперше запропоновано та обговорено застосування АСМ для пост-обробленню складних ріжучих інструментів з алмазним покриттям (рис. 1.10), що дозволило підвищити продуктивність різання» [41].



**Рисунок 1.10** – Пристосування для абразивного оброблення потоком різальних інструментів з алмазним покриттям [41]

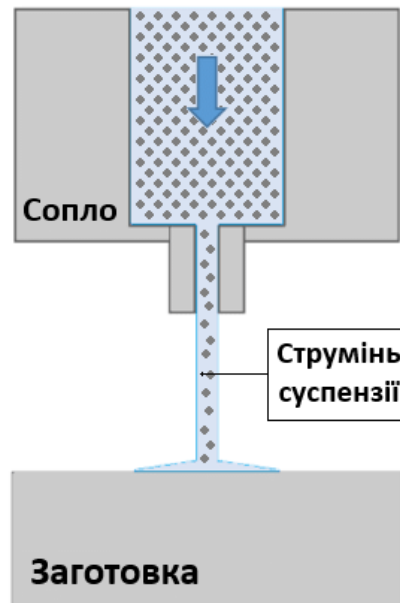
Дана робота вказує наступні висновки які підтверджують позитивні результати в обробленні інструмента зі зносостійким покриттям:

- АОП може повторно зменшити шорсткість передньої та задньої поверхонь фрези з алмазним покриттям і повторно загострити різальну кромку. Вперше запропоновано, досліджено і застосовано АОП для пост-оброблення складного різального інструменту з алмазним покриттям;
- Фінішне оброблення поверхонь нанорозмірних фрез з алмазним покриттям та переточування їхніх різальних кромок є набагато зручнішою та ефективнішою. Крім того, АОП дозволяє уникнути графітизації та максимально забезпечити чистоту алмазу;
- Завдяки зменшенню шорсткості поверхні та радіусів різальних кромок, фрези з алмазним покриттям після АОП демонструють менші сили різання та покращену якість оброблення [41].

### ***Мікроабразивне суспензійне полірування***

Мікроабразивне суспензійне полірування (рис. 1.11) або полірування струменем мікроабразивного розчину (ПСМР) — це нова технологія, заснована на мікроабразивному водоструменевому процесі [42]. Дана

технологія оброблення та різання є неспецифічною для конкретного матеріалу [43].



**Рисунок 1.11** – Процес мікроабразивного суспензійного полірування [44].

Існує два способи формування абразивно водного струменя (АВС). Абразивно-водний інжекційний струмінь (АВІС) – метод полягає в тому, що абразивні частинки вводяться в потік в камері змішування на ріжучій головці після того, як струмінь виходить з отвору. Це відбувається при нормальному атмосферному тиску за допомогою низького тиску, що створюється в камері змішування завдяки ефекту Вентурі. Другий метод, формування АВС називається струменем абразивної водної суспензії (САВС), полягає в попередньому змішенні абразиву з водою до того, як вода вийде з отвору. Утворюється робоча рідина (суспензія), яка потім транспортується до ріжучої насадки. Основна перевага САВС полягає в тому, що вона використовує значно нижчий робочий тиск при тій же ефективності різання, що і АВІС [43].

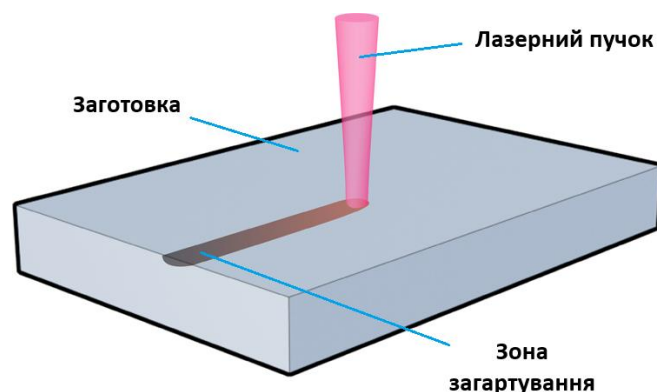
Технологія ПСМР може контролювати якість поверхні та точність обробки заготовок шляхом контролю робочого тиску, кута падіння та масової концентрації абразиву. Таким чином, технологія ПСМР використовується для подальшої обробки покритих інструментів для покращення їх продуктивності різання [42].

«Результат показує, що обробка технологією ПСМР може ефективно покращити продуктивність обробки інструментів з покриттям.» [42].

### ***Лазерний нагрів***

Лазерний нагрів (рис. 1.12) – також називається лазерним загартуванням – це процес термічного оброблення з використанням діодних лазерів високої потужності для підвищення міцності та довговічності визначених ділянок поверхні [45].

Принципи лазерного нагрівання подібні до принципів звичайного наскрізного нагрівання. Однак часові масштаби, задіяні в першому випадку, зазвичай на порядок коротші. Лазерний промінь з високою щільністю енергії нагріває поверхню набагато швидше, скорочуючи час передачі енергії в основну частину поверхні заготовки [46]. Лазерне загартування є ідеальним рішенням для обробки складних компонентів із високим навантаженням. Це пояснюється тим, що деформація компонента під час обробки практично відсутня завдяки цілеспрямованому надходженню тепла, яке обмежене локальними областями. Оскільки процес обробки можна точно контролювати, навіть геометрично складні та делікатні компоненти можна загартувати. Результатом є поверхні, які можуть піддаватися сильним механічним і хімічним навантаженням [47].



**Рисунок 1.12** – Процес лазерного загартування [48].

Оброблення твердосплавного інструменту зі одно- та багат шаровими покриттями, що містять шар TiN, досліджували в роботі [49]. В цій роботі – пропонується нове використання лазерного нагріву для підвищення адгезії

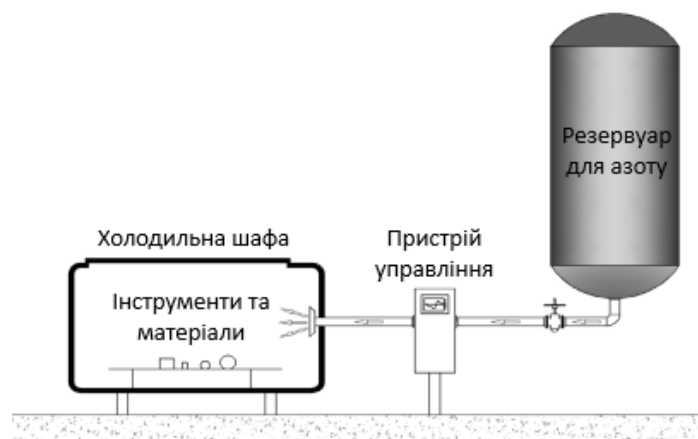
між покриттями, виготовленими за допомогою низькотемпературного PVD, і змінними різальними пластинами з твердого сплаву, таким чином подовжуючи термін служби цих різальних інструментів при обробці матеріалів, які важко обробляти [50].

З даної роботи можна виділити наступні висновки, які можуть відобразити можливості використання даного методу в роботі з зносостійким покриттям:

Лазерне нагрівання збільшує адгезію PVD-покриттів до субстрату, але ступінь цього збільшення залежить від потужності лазера і типу твердого покриття. Використання більш високої потужності лазерного променя (60% від максимальної потужності лазера) призвело до повного випаровування покриття і часткового розплавлення підкладки. Шар покриття з нітриду кремнію та алюмінію не рекомендується використовувати для високошвидкісного лазерного нагрівання через його низьку стійкість до термічного шоку та високий ризик розтріскування в цих умовах [50].

### ***Кріогенне оброблення***

Кріогенне оброблення (рис. 1.13) – це короткочасне термічне оброблення при від’ємній температурі, яка змінює поперечний переріз різального інструменту. Це оброблення покращує такі механічні властивості, як твердість, ударна в’язкість, і трибологічні властивості, такі як зносостійкість, коефіцієнт тертя, якість поверхні, стабільність розмірів і зняття напруження [49].



**Рисунок 1.13** – Пристосування кріогенного оброблення [51].

Кріогенне оброблення — це процес обробки, у якому традиційну мастильно-охолоджуючу рідину (емульсію масла у воді) замінюють струменем або рідкого азоту ( $LN_2$ ), або попередньо стисненого діоксиду вуглецю ( $CO_2$ ). Це метод корисний в грубих операціях оброблення, щоб збільшити термін експлуатації інструменту. Це також може бути корисним для збереження цілісності та якості поверхонь під час фінішного оброблення. Це є відносно новою технікою [52].

Впливу кріогенного оброблення на різальні інструменти показує, що:

Даний метод можна широко застосовувати до різних різальних інструментів (карбиду вольфраму, високошвидкої сталі, твердого сплаву з PVD- та CVD-покриттям тощо). Цей метод може допомогти знизити виробничі витрати за рахунок підвищення продуктивності різального інструменту;

На відміну від традиційної термічного оброблення, кріогенне не є поверхневим методом; це впливає на весь матеріал. Він підвищує показники в'язкості та твердості різальних інструментів шляхом гомогенізації розподілу твердого сплаву в них;

В результаті кріогенного оброблення сили різання зменшуються, а шорсткість поверхні різальних інструментів покращується паралельно з підвищенням їх зносостійкості;

Кріогенне оброблення різальних пластин викликає зміни кристалічної структури як у твердій, так і в м'якій зв'язувальній фазах карбиду вольфраму, що, разом із осадженням карбідів, може відповідати за збільшення терміну експлуатації різального інструменту [51].

### ***Обробка імпульсним магнітним полем***

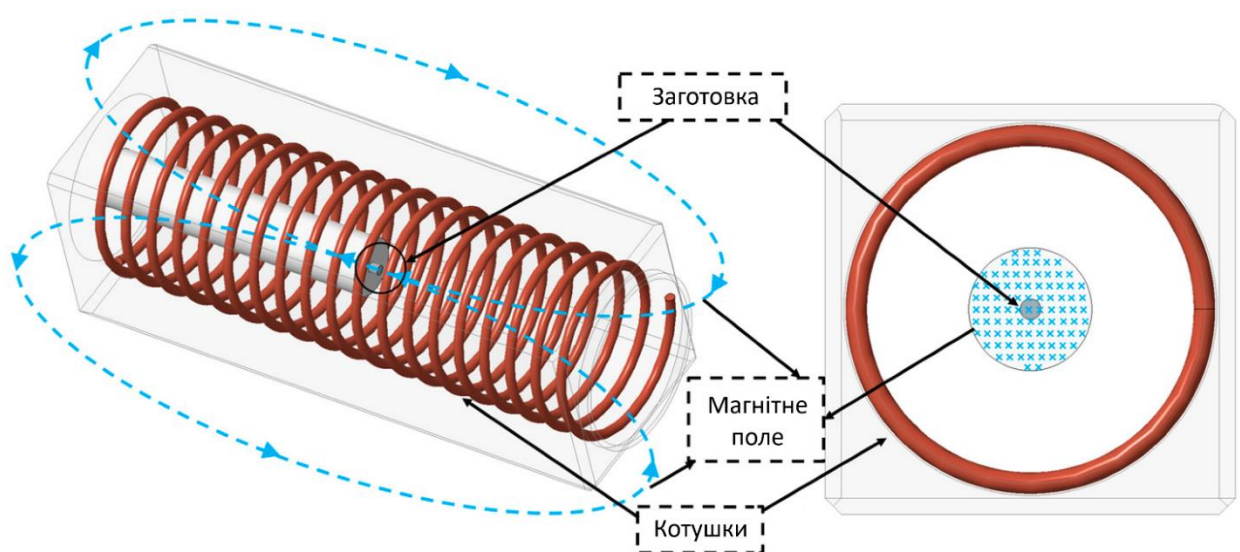
Магніт імпульсного поля (рис. 1.14) – це сильний електромагніт, який живиться не постійним струмом, а коротким імпульсом електричного струму через його обмотки, що створює короткий, але сильний імпульс магнітного поля. Максимальна напруженість поля, яку можуть створювати електромагніти високих полів безперервної дії, обмежена величезним тепловиділенням, що генерується в обмотках через великі сили струму. Тому,

застосовуючи короткі імпульси струму, з проміжками часу між імпульсами для розсіювання тепла, можна використовувати сильніші струми і, таким чином, генерувати сильніші магнітні поля. Магнітне поле, що створюється імпульсними польовими магнітами, може досягати від 50 до 100 Тл і триває кілька десятків мілісекунд [53].

В останні роки, як нова технологія у виробничих дослідженнях, імпульсна магнітна обробка (ІМО) привертає величезну увагу, оскільки вона може модифікувати матеріал для покращення мікроструктури та експлуатаційних характеристик матеріалів за дуже короткий час [54].

Модифікаційні ефекти, спричинені ІМО на продуктивність різання, зазвичай пов'язані зі збільшенням твердості поверхні, зменшенням тертя, подовженням терміну служби, затримкою росту тріщин та покращенням розподілу залишкових напружень [55].

Оброблення зносостійкого покриття даним методом було розглянуто в дослідженні [56] в якому було виконано імпульсне магнітне оброблення для покращення продуктивності різання твердосплавних кінцевих фрез з покриттям TiAlSiN та досліджено вплив напруженості імпульсного магнітного поля на сили різання, вібрації при різанні, зношення інструменту, шорсткість обробленої поверхні та її механічні властивості [56].



**Рисунок 1.14** – Оброблення імпульсним магнітним полем [57].

Краща цілісність різальної кромки інструмента, обробленого в полі, послаблює ефект розшарування поверхні заготовки, отримуючи таким чином кращу якість поверхні заготовки. Залишкові напруження стиснення, що формується на поверхні розділу між покриттям TiAlSiN і субстратом з твердого сплаву, вважається основною причиною підвищення ефективності різання.[56].

### 1.9 Основні поняття магнітно-абразивного оброблення

Магнітно-абразивне оброблення (МАО) (рис.1.15) – метод фінішного оброблення, що дозволяє підвищити стійкість твердосплавного інструменту за рахунок формування заданої мікрогеометрії та форми робочих поверхонь та різальних кромки, підвищення поверхневої твердості та формування у поверхневому шарі необхідного для умов експлуатації напруженого стану.[2]



**Рисунок 1.15** – Процес магнітно-абразивного оброблення твердосплавної пластини

Інструментом в даному процесі оброблення виступає фєро-абразивний порошок. Використовуються як суміші фєромагнітних та абразивних порошоків, так композиційні порошки, які складаються з фєромагнітної основи (наприклад, заліза) і вкраплених в неї абразивних частинок, що є різальними елементами [58].

Магнітне поле виконує у процесі обробки кілька функцій: створює в робочому зазорі або в робочій зоні з магнітно-абразивного порошку ріжучий інструмент з регульованою жорсткістю; жорсткість такого ріжучого

інструменту залежить від напруженості магнітного поля в робочому зазорі (або робочій зоні); створює необхідні для обробки сили різання; повідомляє необхідні рухи заготівлі або магнітно-абразивному порошку; активізує хімічні реакції на оброблюваній поверхні та дію поверхнево-активних середовищ; змінює структуру поверхневого шару оброблених поверхонь на металевих заготовках, покращуючи експлуатаційні характеристики цих поверхонь: зносостійкість, втомну довговічність, корозійну стійкість [58].

Магнітно-абразивне оброблення змінює структуру металу, твердість та внутрішні напруження приповерхневого шару. Зменшення шорсткості, створення мікропрофілю зі збільшеною опорною поверхнею та збільшеними радіусами округлення вершин нерівностей. зміцнення тонких приповерхневих шарів, сприятливі зміни їх структури та субмікροструктури, створення в приповерхневому шарі напруженого стану стиснення – всі ці зміни, що вносяться магнітно-абразивним обробленням, позитивно відбиваються на експлуатаційних властивостях оброблених деталей. Зокрема, при порівнянні різних способів фінішного оброблення, що забезпечують однаковий ступінь шорсткості поверхні, магнітно-абразивне оброблення забезпечує найбільш високу зносостійкість [59].

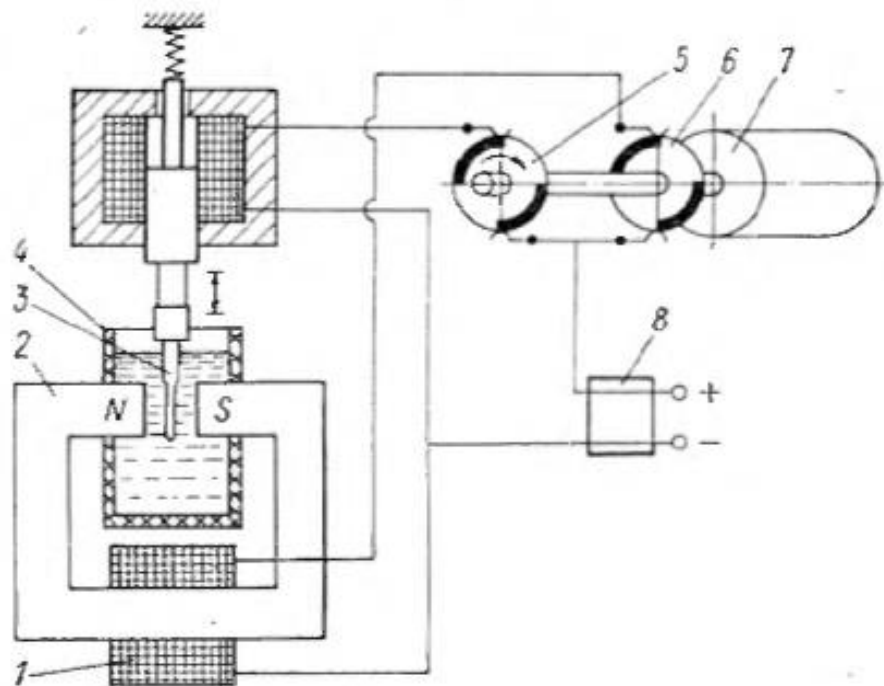
У процесі магнітно-абразивного оброблення оброблюваний матеріал піддається не тільки механічному абразивному впливу, але також впливу змінного по величині та напрямку магнітного поля, яке сприятливо відбивається на експлуатаційних властивостях поверхневого шару виробів [59].

### **1.10 Схеми і принципи роботи процесів магнітно-абразивного оброблення які можливо застосовувати для роботи з різальними пластинами**

Нижче буде розглянуто декілька схем MAO за допомогою яких можливо проводити оброблення різальних пластини, в тому числі і з покриттями.

### **Схема магнітно-абразивного оброблення зовнішніх циліндричних та фасонних поверхонь**

На рис. 1.16 показано схему, при якій осциляція виробу здійснюється від електромагніту і кулачкового механізму. Сердечник магніту 2 встановлено таким чином, що його полюси, проходячи через стінки контейнера. Розташовуються поблизу різальної кромки інструмента 3, закріпленого в тримачі, що є продовженням якоря електромагніту. Вторинна обмотка 1 знаходиться на сердечнику 2 для створення намагніченості суспензії [60].



**Рисунок 1.16** – Схема магнітно-абразивного оброблення зовнішніх циліндричних та фасонних поверхонь [60]

Пульсуючий струм на обмотку 1 подається від випрямляча 8. Для періодичного переривання ланцюга передбачена система з перемикачів 5 і 6. Встановлених на валу електродвигуна 7 [60].

Установка працює таким чином. На початку циклу перемикачі 5 і 6 встановлені так, що обидві обмотки електромагніту знеструмлені. У цьому разі виріб 3 перебуває в крайньому (нижньому) положенні всередині контейнера 4, а суміш через відсутність магнітного поля має найменшу в'язкість. Якщо вал електродвигуна 7 повернути в напрямку годинникової

стрілки, то струм буде надходити спочатку до обмотки 1 по ланцюгу від випрямляча 8, а потім, пройшовши щітку на диску 5, до обмотки електромагніту, що повідомляє деталі зворотно-поступальний рух, і назад до випрямляча 8. Магнітна сила, що збуджується в сердечнику 2, підвищує щільність суспензії, достатню для процесу різання. Пройшовши через перемикач 5, струм викликає втягування якоря в соленоїд і переміщення виробу 3 у вертикальному напрямку. Абразивні частинки порошку притискаються до поверхні виробу і полірують його. У міру обертання валу двигуна 7 ізолюючі деталі дисків 5 і 6 прослизують під щітки, ланцюг обмотки 1 розмикається і суспензія повертається в стан низької в'язкості. Потім розмикається ланцюг обмотки електромагніту вертикального двигуна деталі та виріб 3, що полірується, опускається під дією пружини в контейнер [60].

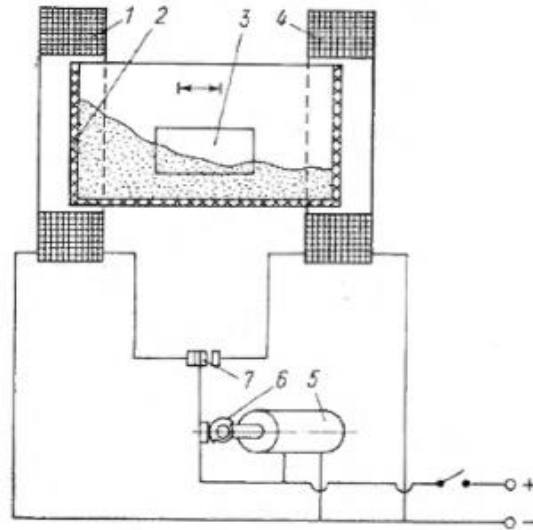
Існують й інші типи установок для заточування різального інструменту. Їхній принцип дії аналогічний, проте зворотно-поступальний рух виробу здійснюється від кулачка. Важеля, що осцилює під дією магніту тощо [60].

### ***Схема магнітно-абразивного оброблення великих деталей***

Найпростішою формою здійснення способу оброблення деталей з переривчастими поверхнями (рис. 1.17) з використанням енергії магнітного поля є схема, за якої деталь і магнітна система нерухомі, а феромагнітний порошок здійснює зворотно-поступальний рух завдяки дискретній зміні полярності магніту [61]. При цьому деталь 3 поміщається в контейнер 2 з діамагнітного матеріалу і в процесі оброблення перебуває в стаціонарному положенні [62].

Полірування деталей магнітно-абразивним методом здійснюється в такому порядку. У немагнітний контейнер пристрою поміщається суміш, що складається з феромагнітних і абразивних частинок порошку з рідиною, і деталь, підготовлена під операцію полірування. Для забезпечення дискретного переміщення частинок порошку у змінних напрямках вмикається перемикач полюсів, причому швидкість руху частинок і сила їхнього удару об поверхню деталі залежать від напруженості магнітного поля, що створюється котушками

електромагніту, і частоти спрацьовування механізму перемикання полюсів [62].



**Рисунок 1.17** – Схема магнітного оброблення великих деталей [60]

З двох боків контейнера 2 закріплені магнітні котушки 1 і 4, з'єднані з джерелом електроенергії через перемикач 7. Перемикач 7 забезпечений подвійною парою контактів і кулачком 6, який приводиться в дію двигуном 5, що по черзі вмикає котушки 1 і 4. Тим самим забезпечується дискретне проходження струму через кожну котушку. Під дією струму, що проходить по котушці 1, суміш зміщується в один бік контейнера. Під час роботи пристрою за умови швидкого перемикання струму з однієї котушки на іншу суміші надають осцилюючий рух: вона переміщується з одного боку контейнера в інший, впливаючи на всі боки деталі 3, яку обробляють [62].

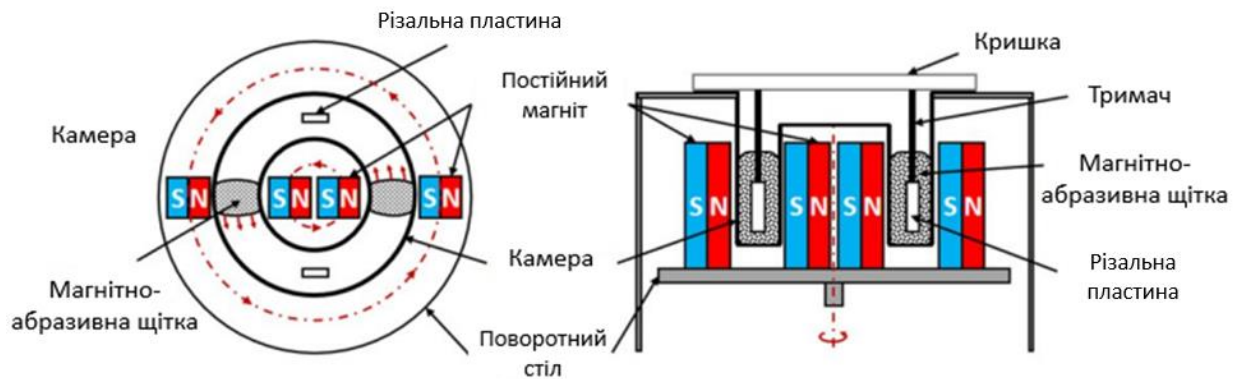
### **3. *Схема пакетного полірування за допомогою магнітного поля***

Пакетне полірування за допомогою магнітного поля (ППМП) – це новий процес одночасного полірування партії компонентів який використовує магнітне поле для створення обробляемого інструменту у вигляді абразивної щітки.

ППМП може полірувати партію заготовок одночасно, отримуючи нанометричну шорсткість поверхні разом із мікрометровою точністю форми поверхні. Він може знайти баланс між ефективністю полірування та точністю полірування тонкостінних компонентів. Ефективність методу ППМП була

доведена експериментами з полірування, проведеними на циліндричних тонкостінних поверхнях і складних поверхнях лопаток турбіни [63].

Графічна ілюстрація принципу роботи методу ППМП зображено на рис. 1.18. У цій системі дві пари постійних магнітів встановлені на поворотному столі, який приводиться в рух сервомотором. Під час полірування магнітні абразиви всередині камери створюють безперервну обертову магнітну абразивну щітку під дією обертового магнітного поля, в той час як камера закріплена на металевій рамі і не обертається. Що стосується магнітної абразивної щітки, то це тип нещільної магнітної абразивної щітки, яка є магнітними частинками, які змішуються з полірувальними абразивами в рідині-носії [64]. Заготовка, що утримується пристосуванням, закріплюється в кільцевій камері. Крім того, полірувальні абразиви всередині безперервно обертових магнітних абразивних щіток стикаються з заготовкою та видаляють матеріал з поверхні [65].

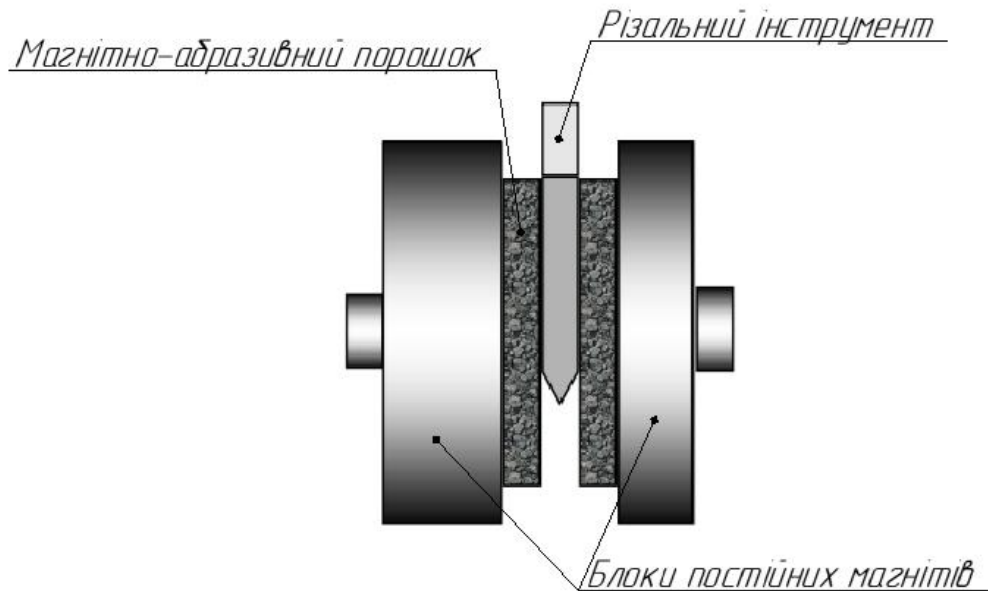


**Рисунок 1.18** – Схема пакетного полірування за допомогою магнітного поля [65]

Апарат в основному складається з кришки, камери, магнітів і поворотного столу. Обробляемі заготовки закріплюються пристосуванням, які закріплені на кришці за допомогою нержавіючого гвинта. Дві пари магнітів встановлені на поворотному столі, який приводиться в рух двигуном. Камера встановлена над магнітами і не рухається під час полірування. Під дією магнітного поля всередині камери утворюються дві пари магнітних абразивних щіток [64].

### **Схема типу копф-модуль**

Основний принцип схеми типу копф-модуль (рис. 1.19) заключається в обробленні відносно нерухомої деталі в пристосуванні яке за допомогою постійних магнітів утримує МАП.



**Рисунок 1.19** – Схема МАО типу копф модуль [66]

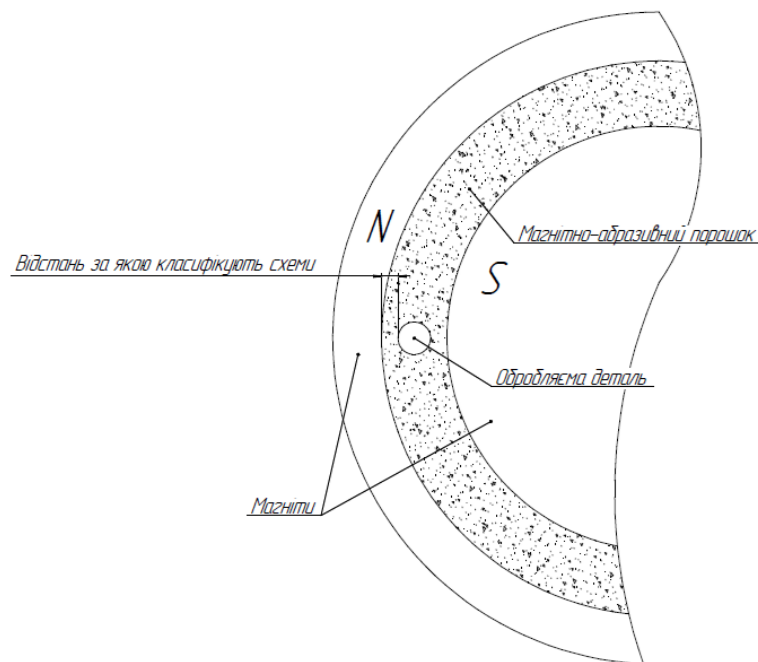
Функціональний принцип даної схеми МАО наступний:

Генератор магнітного поля сконструйований з симетричним по відношенню до обертання блоком постійних магнітів. Магнітні компоненти виконують функцію утримання зерна порошку в магнітному полі, в той час як абразивні компоненти виконують функцію різання під час відносного руху між зерном порошку і оброблюваною поверхнею. Для обробки ріжучого інструменту генератор магнітного поля виконаний у вигляді циліндричного корпусу (магнітної головки). Зовнішні поверхні циліндра оточені оболонкою з немагнітного матеріалу, наприклад, алюмінію, так що силові лінії магнітного поля виникають тільки на внутрішній плоскій стороні циліндра. Постійний магнітний порошок наноситься на цю поверхню шаром товщиною 5-7 мм. Оброблювана поверхня інструменту розміщується на певній відстані від цієї поверхні так, щоб зазор між магнітною поверхнею і поверхнею інструменту був повністю заповнений магнітно-абразивним порошком. При обертанні

магнітної головки порошок переміщується відносно поверхні заготовки. Це забезпечує необхідну абразивну обробку. Використання постійних магнітів призводить до особливо інтенсивного прилипання порошку, що забезпечує високий робочий тиск порошку на оброблювану поверхню [67]. На відміну від усіх процесів з абразивними сипучими матеріалами, тут досягається постійна якість обробки від кінчика інструмента до хвостовика [66].

### **Схема MAO з великою робочою щілиною**

Наступний тип схем MAO відноситься до класифікації яка запропонована автором [68], вона характеризується величиною віддаленості від магнітних полюсних наконечників до поверхні інструмента який піддається обробленню (рис. 1.20). Дана класифікація складеться з двох типів, а саме: схеми з оброблення з малою та великою робочою щілиною.



**Рисунок 1.20** – Класифікація схеми MAO з великою робочою щілиною

Величина відстані схеми MAO з великою робочою щілиною, складає 3-5 мм, або 20 і більше. Значення магнітної індукції при обробленні менша 0,5 Тл в даному випадку магнітні сили менше впливають на загальну силу різання, по відношенню з процесом MAO в малих робочих щілинах. У рамках такого

типу схеми внаслідок динамічних сил взаємодії до оброблювальних деталей здійснюється притискання магнітно-абразивного порошку [69].

Використання схем з великою робочою щільною може бути ефективним для роботи з деталями із складною геометрією та профільними поверхнями обертання. Завдяки цим параметрам дана схема забезпечує ефективне і рівномірне оброблення незалежно від форми і тому як найкраще підходить для використання MAO PI [69].

### **Висновок**

В першу чергу було здійснено ознайомлення з основною сутністю твердосплавного інструмента зі зносостійким покриттям, визначено будову, переваги та недоліки такого інструменту, причини перспективності його у використанні. Більш поглиблено було розглянуто способи нанесення зносостійкого покриття на твердий сплав, встановлено сильні і слабкі сторони цих способів. Також було розглянуто типи та матеріали таких покриттів.

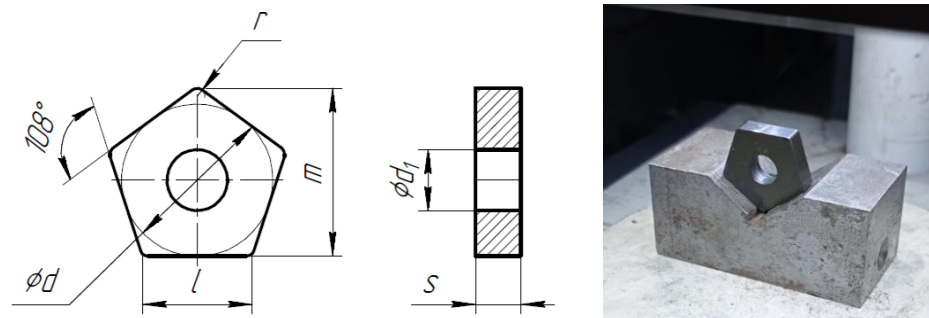
Попередньо проаналізовано існуючі методи оброблення різального інструмента з покриттям, а саме: мікроструминне оброблення, машинно-молоткове оброблення, абразивна обробка потоком, мікроабразивне суспензійне полірування, лазерний нагрів, кріогенне оброблення та обробка імпульсним магнітним полем. Розвиток створення нових методів оброблення твердосплавного інструмента з покриттям зумовлено основною причиною яка підводить нас до однієї з головних проблематик такого інструмента, а саме – складність його оброблення.

Наступним кроком було визначено основні поняття магнітно-абразивного оброблення. Розглянуто схеми і принципи роботи процесів MAO, які як найкраще можливо застосовувати для роботи з твердосплавними пластинами зі зносостійким покриттям.

## 2 ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Установка для магнітно-абразивного оброблення твердосплавних пластин

Для здійснення експериментальних досліджень було використано твердосплавні різальні п'ятигранні пластини Pramet тип PNEA 110408 з наноструктурним PVD-покриттям. Маркування пластини – Pramet PNEA 110408 EN 8026 (рис. 2.1).



**Рисунок 2.1** – Різальна пластина для проведення дослідження

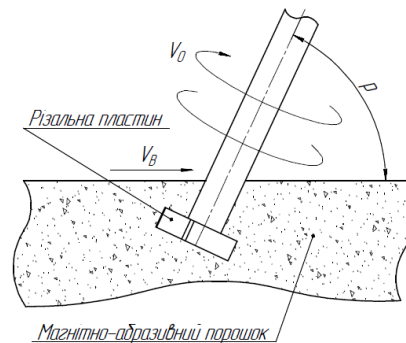
Магнітно-абразивне оброблення проводилось на експериментальному верстаті з кільцевим розташування робочої частини (рис. 2.2). Таким чином, що налаштування оправки з твердосплавною пластиною можна виконувати поворотом універсальної головки навколо вертикальної осі ( $q$ ) та поворотом оправки відносно головки в вертикальній площині ( $p$ ), що забезпечує всі можливі варіанти базування пластин в робочій зоні верстату. В процесі MAO оброблювана пластина закріплена на оправці обертається навколо власної осі та навколо осі кільцевої ванни разом з універсальною головкою.



**Рисунок 2.2** – Процес MAO твердосплавних пластин

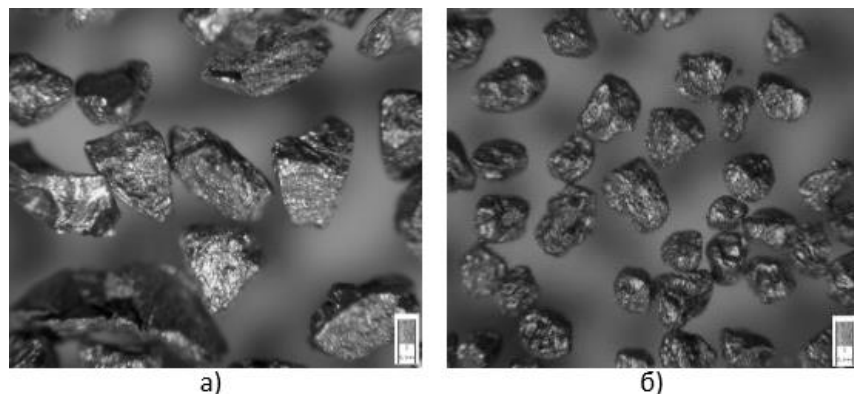
## 2.2 Параметри магнітно-абразивного оброблення твердосплавних пластин з покриттям

Основні параметри оброблення: кут нахилу оправки відносно площини робочої зони  $p - 65^\circ$ , кут повороту оправки навколо власної осі  $q - 20^\circ$ , швидкість обертання пластин навколо власної осі  $V_O - 500$  об/хв, швидкість переміщення їх вздовж робочої зони  $V_B - 2.5$  м/с (250 об/хв), магнітна індукція в робочому зазорі  $B - 0.24$  Тл, сумарний час оброблення – 360 с. з яких 180 с оброблення відбувалося за годинникової стрілкою та 180 с – проти. Оброблення здійснювалось при режимі «натікання» МАІ на поверхню різальних пластин. Схему оброблення зображено на рис. 2.3



**Рисунок 2.3** – Схема оброблення при режимі «натікання» МАІ

Магнітно-абразивний інструмент було сформовано з використанням таких типів магнітно-абразивних порошків як: Феромап – 315/200 мкм, Феромап – 315/200 мкм + АСМ 3/2, ДЧК – 630/400 мкм, ДЧК – 630/400 + АСМ 3/2 мкм. Нижче на рис. 2.4 зображено вигляд структури порошків.



**Рисунок 2.4** – Структура порошків: а) ДЧК 630/400 мкм, б) Феромап 315/200 мкм [71]

### 2.3 Вимірювання мікротвердості передньої та задньої поверхонь

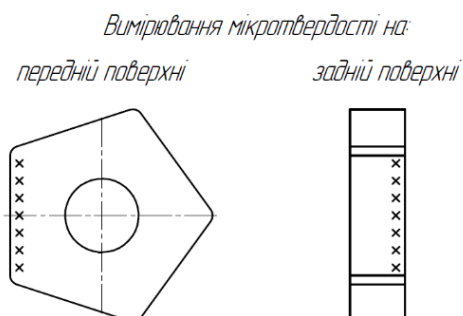
Для отримання результатів мікротвердості поверхонь було проведено заміри за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 (рис. 2.5).



**Рисунок 2.5 – ПМТ-3**

Сила навантаження яка була прикладена до пластин складала 1.96 Н. Після того як на різальну пластину було прикладено навантаження, на її поверхні залишається слід від алмазної пірамідки. Розрахунок твердості поверхневого шару базується на значенні довжини діагоналі даного відбитка.

Схеми вимірювання наведено на рис. 2.6



**Рисунок 2.6 – Схема вимірювання мікротвердості**

Значення твердості вимірювали згідно формули (2.1):

$$P = \frac{1.854 \times N}{(d \times c)^2} \times 1000 \quad (2.1)$$

де  $P$  – поверхнева твердість, ГПа;

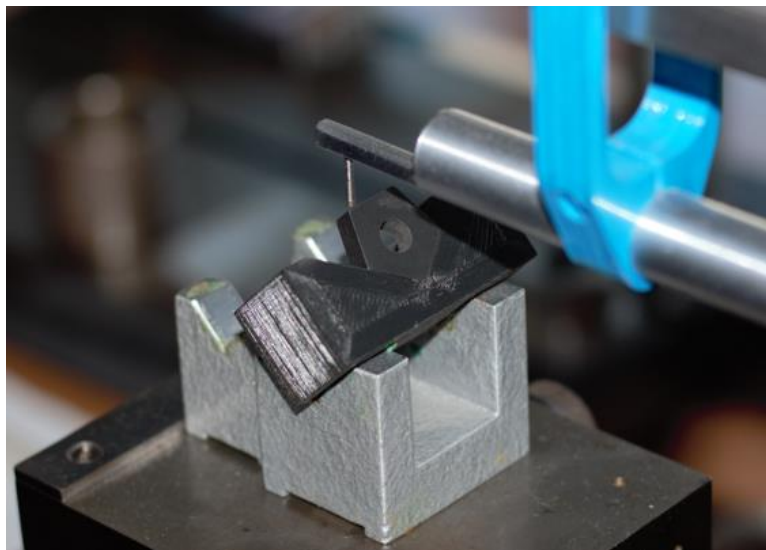
$d$  – середня довжина діагоналі відбитка, поділки шкал;

$c$  – коефіцієнт тарування;

$N$  – навантаження на індентор, Н.

#### 2.4 Вимірювання радіусів округлення різальних кромок

Вимірювання радіусів округлення різальних кромок (РК) (рис. 2.7) було виконано з використанням спеціального модулю зібраного на основі профілометра мод. 296. [70].

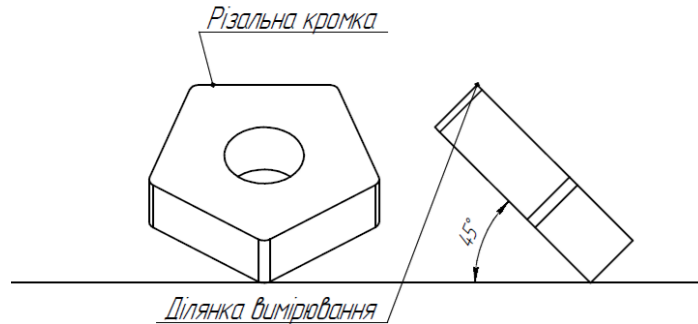


**Рисунок 2.7** – Процес вимірювання радіусів округлення різальних кромок

Дія модуля заснована на принципі оцупування досліджуваної поверхні алмазною голкою щупа з малим радіусом округлення і перетворення виникаючих при цьому механічних коливань щупа в зміну електричного

сигналу, пропорційного цим коливанням [70]. Далі обчислення отриманих даних відбувалося в системі Mathcad

Схему базування і вимірювання РК наведено на рис. 2.8



**Рисунок 2.8** – Схема вимірювання радіусів РК.

## 2.5 Проведення стійкісних випробувань

### 2.5.1 Обладнання для проведення експеримента

Проведення оброблення заготовок було здійснено на фрезерному інструментальному широко універсальному станку 6Б75ВФ1 (рис. 2.9).



**Рисунок 2.9** – Фрезерний інструментальний широко універсальний станок 6Б75ВФ1

Універсальний фрезерний верстат високої точності моделі 6Б75ВФ1 призначений для фрезерування деталей циліндричними, дисковими та фасонними фрезами за допомогою горизонтального шпинделя, та торцевими, кінцевими та шпонковими фрезами за допомогою поворотного вертикального шпинделя, який за потреби може бути повернутий під кутом[71].

Клас точності верстата – В. Шорсткість обробленої поверхні – V6. Точність встановлення координат 0,01 мм.

Основні характеристики даного фрезерного універсального верстата 6Б75ВФ1 занесені в таблицю 1

Різальним інструментом в який було закріплено експериментальні зразки виступає кінцева фрез (рис. 2.10) з діаметром різання 40,5мм.



**Рисунок 2.10** – Кінцева фреза з дослідницькою пластиною

### 2.5.2 Розрахунок режимів різання

Для вибору розрахунків режимів різання було використано термінологію і розрахункові формули які застосовує компанія Dormer Pramet [72] для визначення необхідних параметрів різання таких як швидкість різання (2.2) і хвилинна подача (2.3):

$$V = \frac{n \cdot D \cdot \pi}{1000}, \quad (2.2)$$

$$S_{XB} = S_z \cdot z \cdot n \quad (2.3)$$

де  $V$  – швидкість різання;

$n$  – частота обертання шпинделя;

$S_{\text{хв}}$  – хвилинна подача;

$DC$  – діаметр різання;

$S_z$  – подача на зуб;

$z$  – кількість зубів.

### Вихідні дані

Діаметр різання:  $DC = \emptyset 40.5$  мм.

Кількість зубів:  $z = 1$

Глибина різання:  $t = 1$  мм.

Частота обертання шпинделя:  $n = 560$  об/хв

Подача на зуб:  $S_z = 0.15$  мм/зуб

### Розрахунок

Розраховуємо швидкість різання:

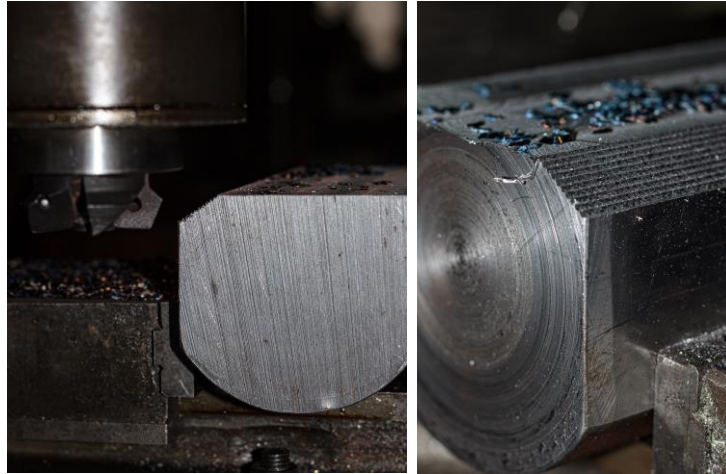
$$V = \frac{560 \cdot 40,5 \cdot 3,14}{1000} = 71.2 \text{ м/хв}$$

Розраховуємо хвилинну подачу:

$$S_{\text{хв}} = 0,15 \cdot 1 \cdot 560 = 84 \text{ мм/хв}$$

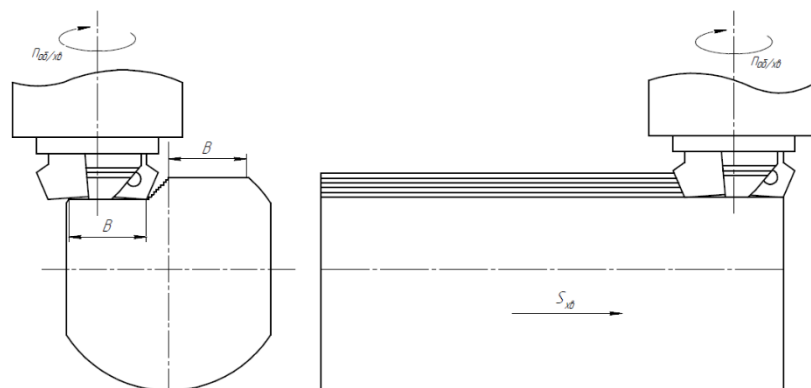
### 2.5.3 Матеріали та процес оброблення

У процесі дослідження використовувалась заготовка зі сталі 40. На рис. 2.11 зображено підготовку заготовки.



**Рисунок 2.11** – Підготовлення до фрезерування

Перед початком проведення стійкісного дослідження важливим етапом є підготовка дослідних зразків. Для цього обробляється площа при якій різальний інструмент зможе працювати з робочою шириною  $B = 32$  мм. Через розміри заготовки і конструкцію інструмента для реалізації поставленої задачі на деяких етапах обробки потрібно вифрезерувати технологічну фаску яка надає можливість заходу інструменту в зону оброблення. Схему оброблення (рис. 2.12) наведено нижче.



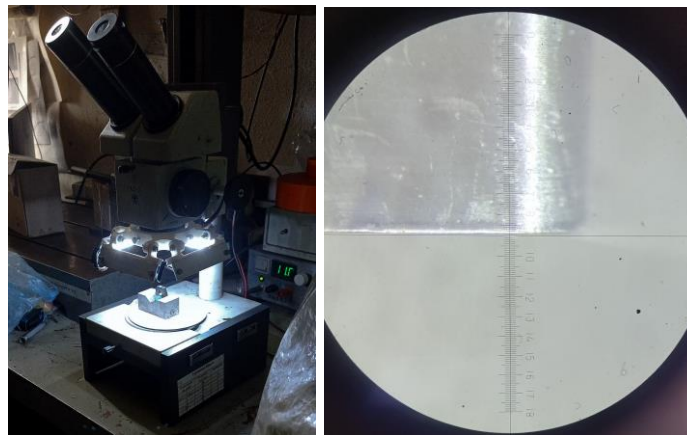
**Рисунок 2.12** – Схема оброблення заготовки

Оброблення заготовки проводиться попутним фрезеруванням. Даний метод оброблення проводиться при співпадаючих напрямках руху фрези і

оброблюваної заготовки в місці їх контакту. Це дозволяє забезпечити більш високу точність і якість оброблення, ніж зустрічне фрезерування.

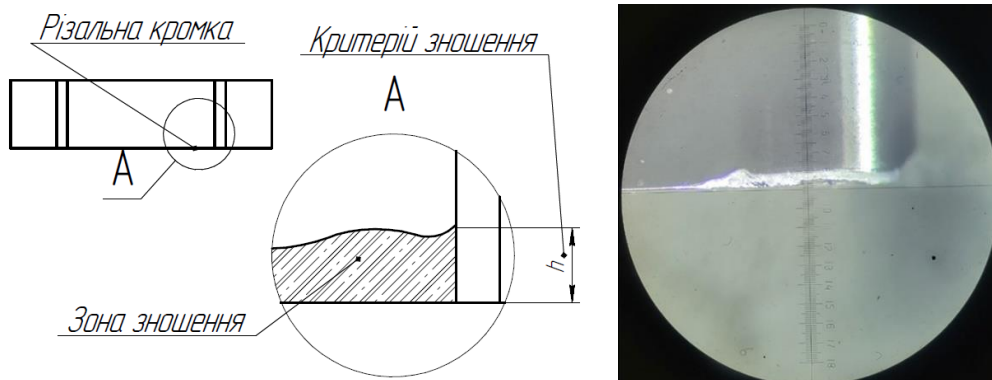
## 2.6 Вимірювання зносу твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям

Вимірювання параметру зношування твердосплавних пластин проводились за допомогою мікроскопа МБС-9 (рис. 2.13).



**Рисунок 2.13** – Вимірювання зношення за допомогою мікроскопа МБС-9 на задній поверхні пластин

Зношення інструмента оцінювався шляхом визначення різниці між початковою товщиною та товщиною після закінчення випробування. Критерієм для визначення зношування було обрано величину зношення по задній поверхні  $h=0,3$  мм. Схему і фотографія зношення твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям зображено на рис. 2.14.



**Рисунок 2.14** – Схема зношення + фото зношеної пластини.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ефективність роботи різальних інструментів визначається такими характеристиками якості як: «фізико-механічні властивості поверхневих шарів, мікрогеометрія робочих поверхонь та РК, наявність на поверхнях захисних покриттів, тощо» [70]. Вплив MAO різального інструмента відображено в роботах [69, 70, 73] де спостерігається позитивний вплив на стан даних параметрів якості. Нанесене покриття на різальний інструмент на порядок підвищує параметри якості поверхні але в свою чергу також викликає певні складності в обробленні звичайними методами фінішного оброблення.

Було виконано дослідження впливу складу магнітно– абразивного інструменту на мікротвердість поверхонь, зміну РК та сійкістне випробування твёрдосплавних пластин PRAMET PNEA 110408EN з покриттям.

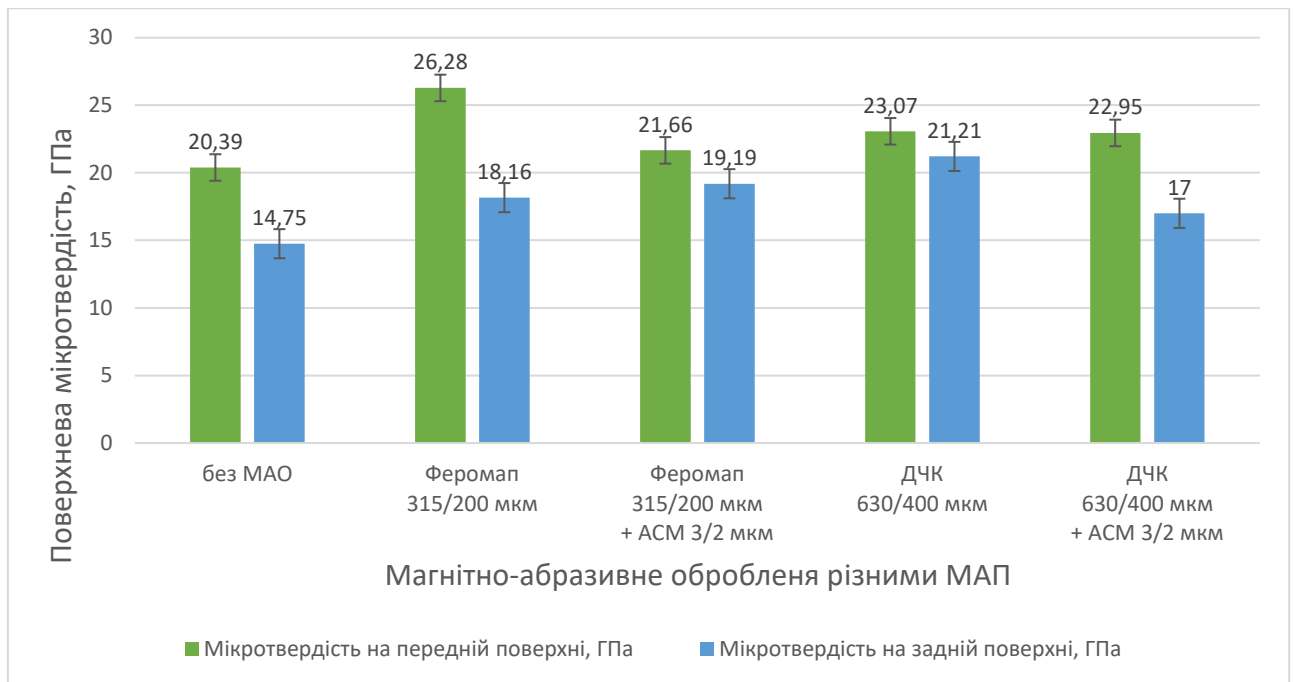
#### 3.1 Дослідження впливу зміни мікротвердості поверхні різальних пластин з покриттям при різні

Вимірювання мікротвердості на передній та задній поверхнях пластин, проводили після MAO різними варіаціями МАП, за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3. При методиці описаній в розділі 2 було виконано розрахунок і опрацювання отриманих даних (табл. 3.1).

**Таблиця 3.1** – Результати вимірювання поверхневої твердості

Магнітно-абразивний порошок	Поверхневої твердості передньої поверхні, ГПа	Поверхневої твердості задньої поверхні, ГПа
Вихідна	20,39	14,75
Феромап 315/200 мкм	26,28	18,16
Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм	21,66	19,19
ДЧК 630/400 мкм	23,07	20,21
ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм	22,95	17

Характер співвідношення впливу різних порошків на зміну мікротвердості поверхонь відображено у вигляді гістограми на рис. 3.1



**Рисунок 3.1** – Гістограма поверхневої твердості передніх та задніх поверхонь

Показано, що в процесі MAO досліджуваних пластин має місце стійке збільшення їх поверхневої твердості, яке обумовлене характером силової і контактної взаємодії магнітно-абразивного інструменту (MAI), сформованого з ферабразивних порошків різних типів з різною морфологією поверхонь частинок. Встановлено, що більше підвищення твердості відбувається саме для порошку без використання алмазної пасти, що може бути пояснено процесами пов'язаними з частковим видаленням покриття з поверхні – зменшенням його товщини при використанні MAI з алмазною пастою. Найбільшу величину поверхневої твердості в досліджуваних умовах було отримано при використанні MAI з порошку Феромап 315/200 мкм на передній поверхні – 26,28 ГПа і ДЧК 630/400 мкм на задній поверхні – 20,21 ГПа.

### 3.2 Дослідження впливу магнітно-абразивного оброблення на стан різальної кромки

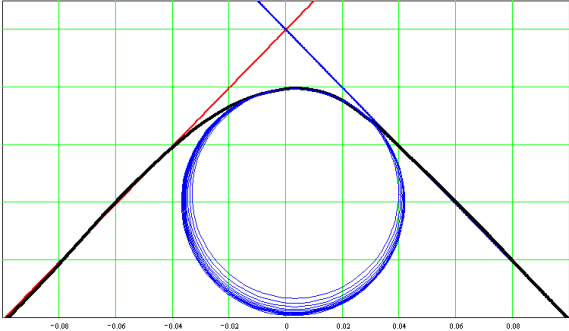
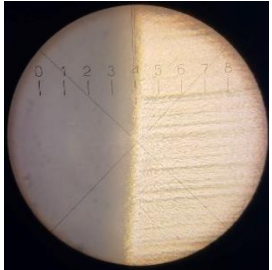
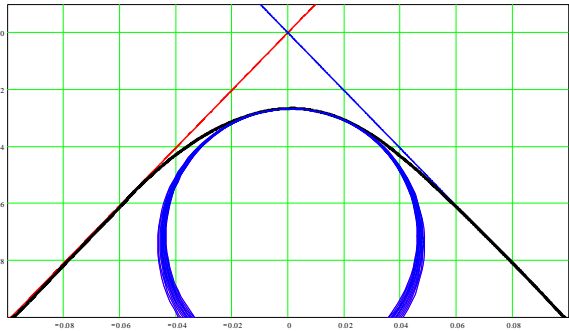
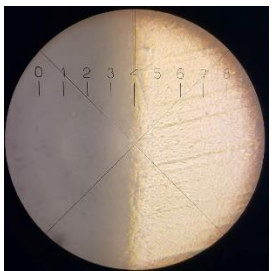
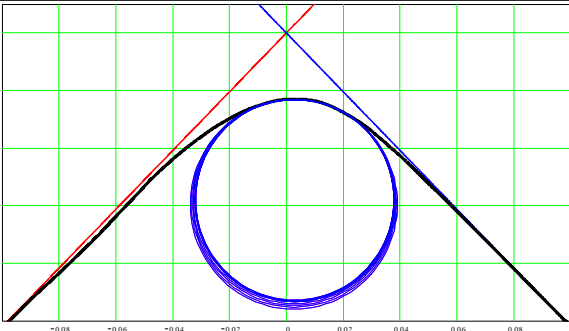
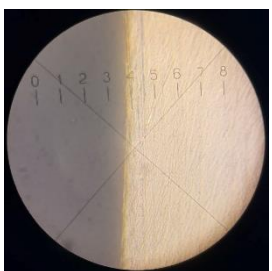
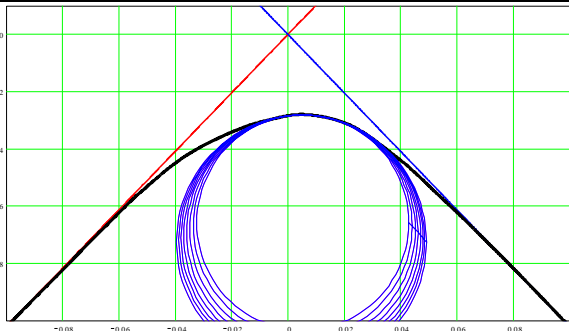
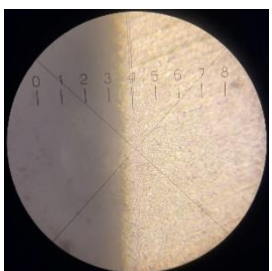
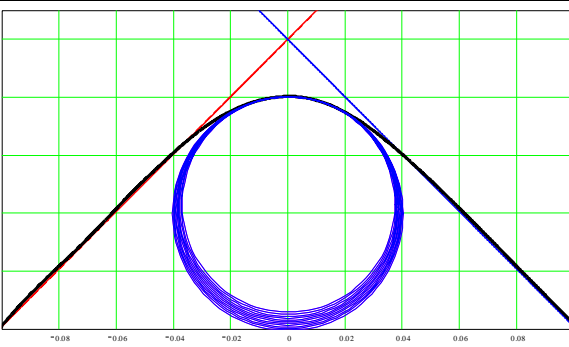
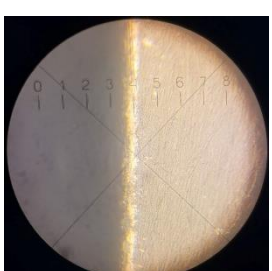
Результати проведених експериментальні досліджень по впливу різного складу магнітно–абразивного порошку на РК твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям наведено в табл. 3.3. За методикою описаною в 2 розділі було проведено їх опрацювання.

**Таблиця 3.3** – Величина радіусів округлення та стан РК твердосплавних пластин після MAO різними типами магнітно–абразивних порошоків

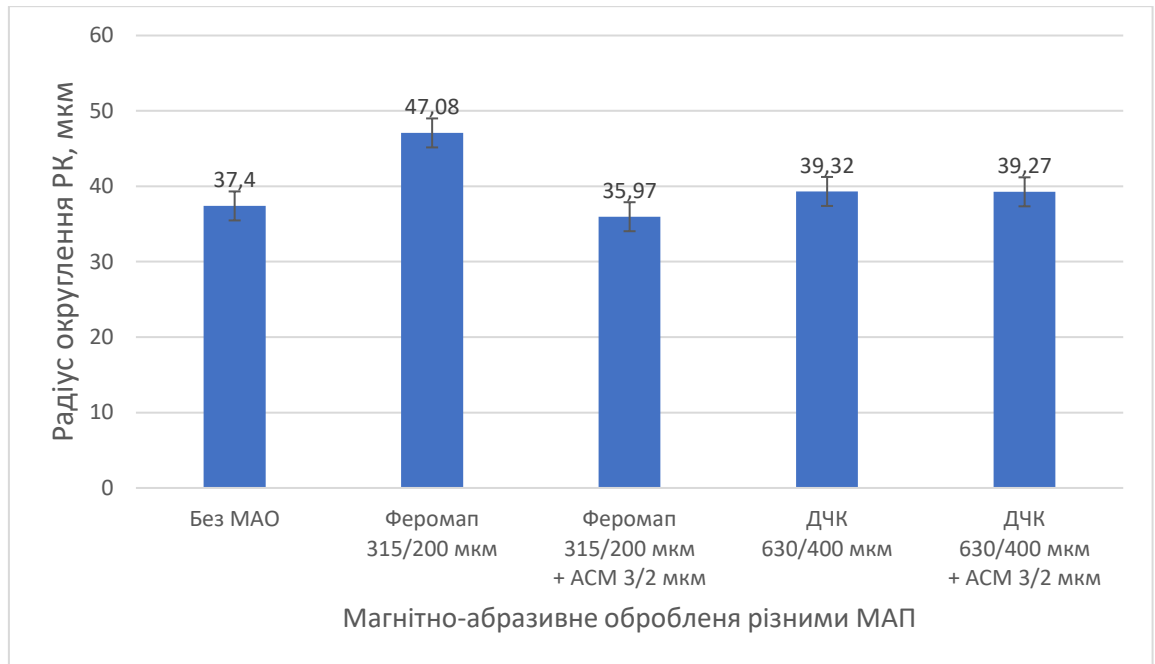
Магнітно-абразивний порошок	Радіус округлення РК, мкм
Вихідна	37,4
Феромап 315/200 мкм	47,08
Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм	35,97
ДЧК 630/400 мкм	39,32
ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм	39,27

Дослідницький зразок без застосування MAO мав радіус округлення РК 37,4 мкм. В табл. 3.4 відображено отримані значення впливу застосування різних варіацій МАП для створення МАІ на радіус округлення РК після переформатування даних для введення їх у MatchCad систему.

Таблиця 3.4 – Проекція радіусів округлення РК в середовищі MatchCad

Магнітно-абразивний порошок	Радіус округлення РК, мкм	Проекція радіусів округлення РК в середовищі MatchCad	Зображення РК зі сторони передньої поверхні
Без MAO	37,4		
Феромап 315/200 мкм	47,08		
Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм	35,97		
ДЧК 630/400 мкм	39,32		
ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм	39,27		

Ступінь створення округлення радіусів РК твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям спричинений властивостями абразивного порошку який застосовується для створення МАІ, про що вказують отримані результати зображені у вигляді гістограми на рис. 3.2.



**Рисунок 3.2** – Гістограма отриманих значень радіусів округлення РК твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям

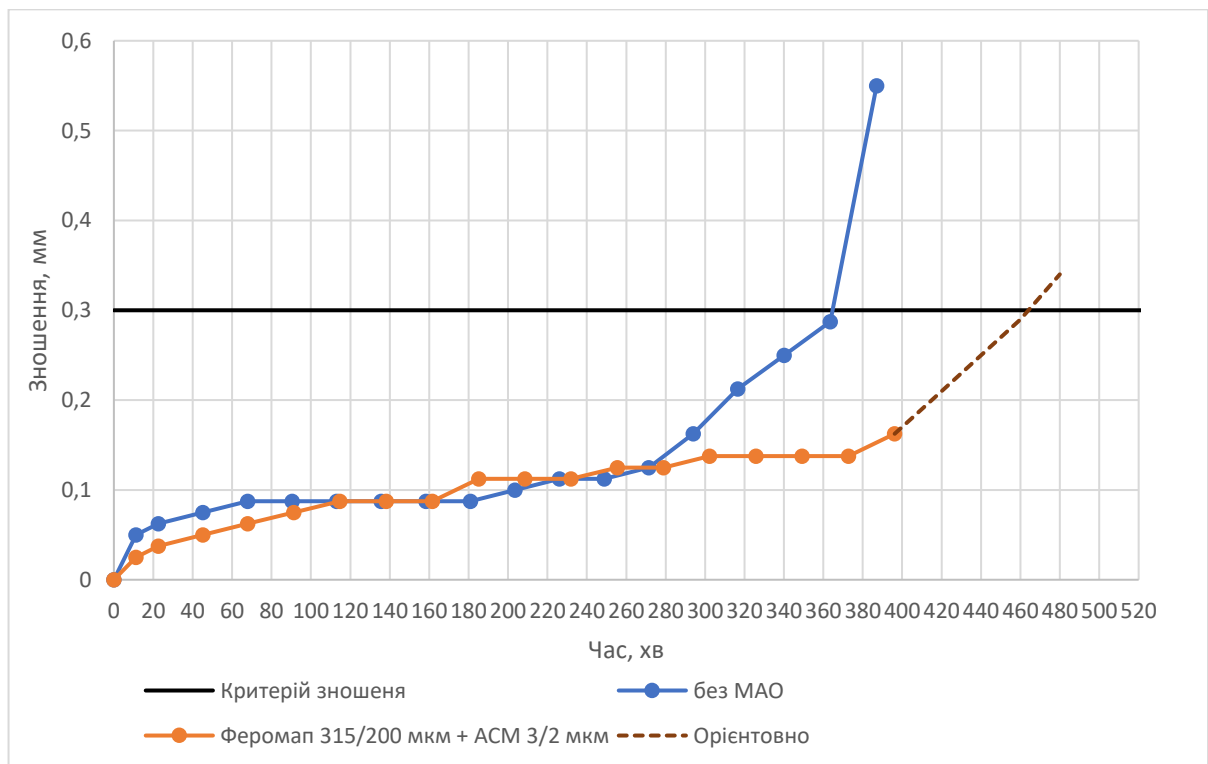
Експериментально встановлено, що при використанні порошків без додавання АСМ та для Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм не відбувається видалення покриття з поверхонь та РК, а для ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм на РК покриття видаляється, що зумовлено процесами, пов'язаними зі стиранням та більшими силами, що притискають порошок до оброблюваних поверхонь за рахунок більшої величини його намагніченості. Тому в зазначеному випадку доцільно зменшити час оброблення. В обох випадках використання порошків з додаванням алмазної пасти відбувається вигладжування шару покриття.

Значне зростання радіусів округлення РК на 10 мкм виявлено лише для порошку Феромап 315/200 мкм, але на кромках та поверхнях не відбувається помітного видалення покриття, це може бути пов'язано як з мікропластичним

деформуванням і ущільненням приповерхневих шарів твердого сплаву разом з покриттям і частковим видаленням тонких розрихлених шарів покриття. Відзначимо, що при використанні зазначеного типу порошку відбулось і найбільше зростання поверхневої твердості на передній і задній поверхнях [68]. Для інших використаних порошоків не виявлено зміни величини радіусів округлення РК, навіть не зважаючи на видалення зносостійкого покриття для порошку ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм.

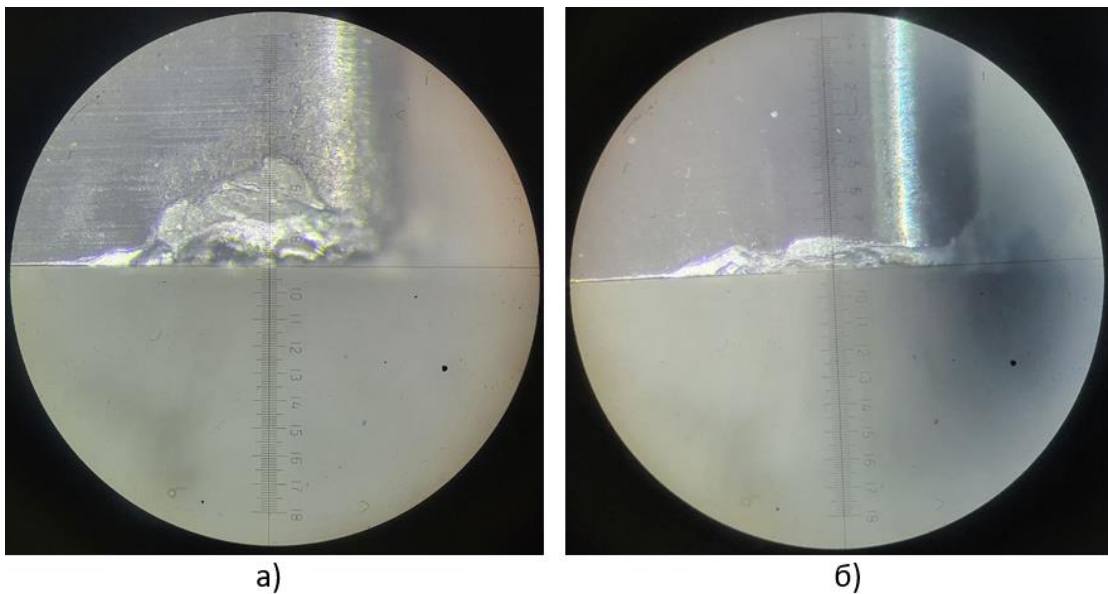
### 3.3 Стійкісне випробування

Нижче на рис. 3.3 наведено співвідношення кривих зношення по задній поверхні двох пластин з покриттям – без МАО, та з обробленням МАП феромап 315/200мкм +АСМ 3/2 при фрезеруванні сталі 40, критерієм зношення являється  $h = 0,3\text{мм}$ .



**Рисунок 3.3** – Співвідношення зношення твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям при фрезеруванні сталі 40,  $V = 71.21 \text{ м/хв}$ ,  $S_z = 0,15 \text{ мм/зуб}$ ,  $t = 1 \text{ мм}$ ,

В середньому оброблення кожної з пластин тривало 391хв, за цей час до критерію зношення  $h = 0.3\text{мм}$  дійшла тільки пластина без MAO (рис. 3.4). Це дослідження не являється повністю завершеним але навіть на даному етапі можна зробити висновок що отримані результати вказують на явну перевагу пластини обробленої МАП феромап 315/200мкм з додаванням алмазної пасти 3/2мкм перед пластиною без MAO.



**Рисунок 3.4** – Зношення задньої поверхні, при 387хв ферзерування, пластини без MAO (а), та зношення пластини з використанням МАП феромап 315/200мкм+АСМ 3/2мкм (б) при 396 хв.

В проміжку часу з 363 – 387хв пластина без MAO з позначки в 0,29мм, імпульсно перейшла критерій зношення і дійшла до значення в 0,55мм, в той момент як значення зношення пластини з MAO за 396хв роботи складає всього 0,16мм.

З отриманих результатів на графіку співвідношення зношення (рис. 3.3), побудовано передбачувану пряму руху зношення MAO пластини. Це дозволило орієнтовно визначити що MAO за допомогою МАП Феромап 315/200мкм+АСМ2/3мкм може покращувати працездатність інструменту з покриттям в 1.26 рази.

## **Висновок**

З отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

Найкраще підвищення поверхневої мікротвердості спостерігається при використанні Феромап 315/200 мкм на передній поверхні – 26,28 ГПа і ДЧК 630/400 мкм на задній поверхні – 20,21 ГПа;

Дослідження впливу MAO на стан різальної кромки показує що зняття покриття з поверхонь та різальних кромок спостерігається при включенні алмазної пасти АСМ 3/2 мкм до порошку ДЧК 630/400, для інших порошоків такий ефект не відбувається. Найвище зростання радіусів округлення РК відбувається при порошку Феромап 315/200 мкм що складає – 47,08мкм, щодо інших застосованих порошоків, значих змін у радіусах округлення РК не спостерігається;

Стійкісні випробування показують орієнтовне збільшення майже в 26% стійкості MAO пластини порошком Феромап 315/200мкм+АСМ2/3мкм перед пластиною без MAO.

## 4 СТАРТАП ПРОЕКТ

### 4.1 Опис проекту та ідея проекту

**Ідея компанії:** Ідея компанії проекту МАО інструменту зі зносостійкими покриттями полягає в фінішній обробці яка дає змогу збільшити термін служби інструмента, покращити якість його поверхні та зміцнити його фізичні властивості що в свою чергу дозволяє проводити більш якісне оброблення даним інструментом.

**Назва компанії:** «Абразивні інновації для високих результатів»

**Слоган:** "Перевершуйте очікування з магнітно-абразивною обробкою!"

**Візія:** Візія компанії для «Абразивні інновації для високих результатів» полягає в тому, щоб стати світовим лідером у фінішній обробці зносостійких покриттів для різних типів інструментів. Компанія прагне підвищити ефективність та тривалість роботи інструментів у всіх галузях промисловості, де вони використовуються.

**Місія:** Місія компанії полягає в тому, щоб забезпечити клієнтів найкращим рішенням для збільшення ефективності та продуктивності їх виробничих процесів шляхом виробництва та постачання інструментів зі зносостійким покриттям.

Місія полягає не лише у виробництві високоякісних продуктів, але й у підтримці клієнтів після продажу, щоб забезпечити найкращу можливу взаємодію та задоволеність клієнтів.

Фокус зосереджується на інноваціях та технологічному розвитку, забезпечуючи збільшення ефективності та підвищення продуктивності. Компанія прагне бути лідером у даній галузі.

**Цінності:** Загальні цінності компанії - це надійність, якість та іноваційність, а також відкритість та зосередженість на результаті та постійному розвитку.

**Бізнес-модель:** Компанія буде використовувати бізнес-модель B2B тобто продаж продукції та послуг промисловим підприємствам та виробникам. Прямий продаж продукції і послуг B2C для кінцевих споживачів, може бути

менш доцільним, оскільки різальні інструменти з зміцненим матеріалом зазвичай використовуються в промислових умовах і вимагають спеціального обладнання та знань для використання.

## 4.2 Основні вигоди, що може отримати користувач товару

Споживач користується вигодами в різних аспектах одночасно, а саме: в часових рамках та використаних ресурсів, а також якості оброблення.

Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва шляхом удосконалення методології MAO, достовірність технологічних рішень та результативність впровадження обробки сучасним та важливим на ринку засобом, суть концепції представлено у табл. 4.1

**Таблиця 4.1** – Основна суть концепції

Основна суть концепції.	Сфери використання	Користь для споживача
Можливість оброблення зносостійких покриттів різального інструмента, завдяки MAO з подальшим покращенням і зміцненням їхньої поверхні	Пост обробка інструмента після нанесення покриття	Підвищення якості поверхні
	Фінішна обробка інструмента	Оптимізація потрібного обладнання та можливість скорочення експлуатаційних витрат.

## 4.3 Технологічний аудит ідеї проекту

Технологія фінішного оброблення при виготовленні продукту є одним з ключових факторів успішності ідеї на ринку. Для фінішної обробки різальних елементів, як правило, застосовують два види установок для MAO, які відрізняються за кінематичною схемою процесу та типом магнітів. При першій схемі MAO відносно практично нерухомого оброблюваного різального елемента (у випадку кінцевого, різальний елемент обертаючись навколо власної осі та здійснювати поздовжній рух) рухаються з різною швидкістю два диски з розташованою на торцях сіткою з постійних магнітів на яких розташовується МАП товщиною 5 – 7 мм [70].

Таблиця 4.2 містить аналіз можливостей впровадження технології фінішного оброблення

**Таблиця 4.2** – Виконання технічного аспекту фінішної обробки

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Відновлення функціональності твердосплавних пластин з покриттям за допомогою магнітно-абразивного підходу.	Технологія 1: Інструмент який буде оброблятися розташовується в спеціальному пристосуванні в інтервалі між дисками, який заповнений абразивом, далі між обома дисками виникає стале магнітне поле. Обробка відбувається завдяки обертанню абразиву що виконує роль різального інструмента.	Є можливість використання технології	Повністю відкрита для використання
2	Забезпечити найвищий рівень поліпшення поверхні інструмента застосовуючи технологію MAO	Технологія 1	Є можливість використання технології	Повністю відкрита для використання

#### 4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту умови.

Розглядаємо можливості для використання на ринку під час запуску проєкту. Це надає можливість ретельно спланувати напрямки удосконалення проєкту, з огляду на ринкові умови, запити можливих клієнтів та пропозиції від інших проєктів-конкурентів.

Дані представлені в табл. 4.3.

**Таблиця 4.3** – Оцінка потенційного ринкового середовища для стартапу

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість ключових гравців, од.	до 5
2	Сумарний об'єм продажів, ум.од/рік (Україна)	1,2 ..2 млн. дол.
3	Тенденція ринку	Переживає фазу падіння
4	Обмеження, які впливають на можливість входу	Не було виявлено
5	Особливості стандартизації та сертифікації	Специфічні економічно-соціальні обставини
6	Загальний рівень прибутковості в даному секторі	40 – 55%

Резюмуючи, приходимо до висновку, що існує обмежена кількість присутніх учасників, які надають метод фінішної обробки зносостійких покриттів на інструменті. Навіть при нестійкій обстановці в країні, обсяги машинобудівних ринків, авіабудування та суднобудування залишаються в Україні в додаток до цього мається потреба в збільшенні оборонної промисловості. Дані сфери потребують більш точного і якісного інструмента для обробки. Також дану технологію можна використовувати не тільки в обробленні різального інструменту, що стає більш привабливою технологією для полірування.

Вхід на український ринок виробників є досить непростим. Навіть враховуючи присутність світових компаній-лідерів, будь-яке внутрішнє виробництво має перевагу перед імпортерами, а також слід враховувати значні показники девальвації національної валюти. В сучасних економічних умовах це дозволяє конкурувати і за межами країни. Також слід враховувати високу додаткову вартість виробників-конкурентів [70].

Встановлюємо можливі категорії клієнтів, їхні особливості та необхідні вимоги і складаємо приблизний перелік вимог до продукту (табл. 4.4).

**Таблиця 4.4** – Опис цільової аудиторії стартап-проекту.

№ п/п	Попит, який визначає ринкові умови	Цільовий сегмент	Варіативність у споживчих звичках потенційних клієнтських сегментів.	Споживчі стандарти для товару
1	Високий рівень поверхневої якості та досягнення потрібних фізико-механічних властивостей	Ракетно-космічна галузь, Авіаційна промисловість, Інструментальна промисловість	Фокус на високій точності інструмента	Високий ступінь якості обробленої поверхні
2	Реставрація зношеного різального інструмента.	Автомобілебудування, Гірниче машинобудування	Фокус зменшенні витрат завдяки відновленню та удосконаленню інструментів.	Економічна доступність
3	Мінімізація часових витрат	Інструментальна промисловість, Автомобілебудування	Фокус на швидкому пост обробленні інструментів	Високий стандарт поверхневої обробки

#### 4.5 Аналіз ринкового середовища

Проаналізуємо ринкову ситуацію: побудуємо таблиці з урахуванням факторів, що налагоджують успішному введенню проекту на ринок, та чинників, що створюють йому перешкоди (табл. 4.5 та 4.6).

**Таблиця 4.5** – Чинники, що становлять загрозу

№ п/п	Елемент впливу	Сутність загрози.	Розгляд можливих кроків компанії
1	Низхідна тенденція на потребу в обробленні інструменту зі зносостіким покриттям	Новий метод нанесення покриття буде мати високу якість яка не потребуватиме пост обробку	Створення інноваційного обладнання для обробки чи інноваційного технологічного процесу виробництва інструментів.

Кінець таблиці 4.5

2	Обумовленість отримання постачальниками складових для технічного обладнання.	Обмежена група виробників компонентів контролюють ринок, маючи значну переговорну силу.	Тривале партнерство з постачальниками, формування умов для сприятливих умов для співпраці.
3	Удосконалене обладнання	Введення нового обладнання за більш привабливою ціною політикою	Реформування виробничої технології та підвищення ефективності обладнання.

Таблиця 4.6 – Чинники, що відкривають перспективи.

№ п/п	Елемент впливу	Сутність можливостей	Розгляд можливих кроків компанії
1	Розширення можливостей спеціалізованого обладнання.	Здатність опрацювати велику кількість інструментів, виробничі методи та збільшення показників продуктивності	Неперервне вдосконалення технологічних досягнень.
2	Освоєння нових ринкових сегментів	Розширення ринкового обсягу продажів та взаємодія з новими компаніями та державами	Розширення сфери реалізації та укладання партнерських угод.
3	Розгортання франшиз, філій та відокремлених підрозділів в різних частинах держави	Формування внутрішніх сервісних центрів, сервіс та виробництво продукції, зростання виробничих обсягів	Регулярне виконання аудитів і маркетингових аналізів

Проведений огляд фінішного оброблення різального інструмента з покриттям і оцінено особливості конкуренції на ринку, висновки представлені в табл. 4.7

Таблиця 4.7 – Градація конкурентоспроможності технології на ринку

№ п/п	Специфіка конкурентної сфери	У який спосіб виражається ця характеристика	Відбиток на функціонуванні компанії (дії, які можуть забезпечити конкурентоздатність)
1	Різновид конкурентного положення – олігополія	Ринок в основному охоплений великими міжнародними корпораціями, кількість їх обмежена. Майже відсутні малі учасники	Конкуренція за сегменти що завжди будуть популярні, особливо там, де великі компанії установлюють високі ціни.

Кінець таблиці 4.7

2	Міжнародний рівень конкурентної конкуренції	Головним чином на ринку присутні великі міжнародні компанії, проте їх не так багато.	Прогрес в розвитку логістичних та транспортних мереж
3	За характеристикою галузі – внутрішньогалузева	Головна спрямованість виробників – це виробництво установок. Міжгалузева конкуренція менш виражена.	Зосередження на певних ідеях
4	Боротьба за різноманіття товарів – товарно-видова	Визначальним фактором є функціональність товару	Розміщення різноманітних типів пристосування на ринку
5	За особливостями конкурентних переваг – цінова/не цінова	Конкурентний тиск через передові технології та зменшення цінового діапазону	Забезпечити баланс у вирішенні питання
6	За ступенем інтенсивності – маркована	Значуща позиція бренду на ринку	Зосередити акцент на рекламній стратегії для підвищення рівня відомості на ринку

На підставі проведеної оцінки конкурентного середовища при цьому враховуючи параметри концепції проекту очікування клієнтів до технології оброблення, проводимо докладний огляд чинників конкурентних факторів.

Висновки представлені в табл. 4.8

**Таблиця 4.8** – Раціоналізація елементів, які формують конкурентну перевагу

№ п/п	Аспект конкурентоспроможності	Аргументація (пояснення того, чому фактор є важливим для оцінки конкурентних проектів)
1	Новаторський підхід до розробки процедури оброблення	Створений процес володіє значними можливостями, відмінними від інших.
2	Внутрішній ринок держави є безконкурентним	Знижений вплив валютного курсу і витрат на транспортування на ціни
3	Застосування результативної техніки оброблення різального інструмента з покриттям	МАО забезпечує можливість оброблення зносостійких покриттів, відновлює та підвищує якість поверхні інструмента

Висновок: З урахуванням ситуації на ринку конкуренції можливий вивід на ринок технології фінішного оброблення інструмента з покриттям, однак важливо розглядати ті сегменти де вплив конкурентів має мінімальний вплив

## 4.6 SWOT-аналіз

### 4.6.1 Перший етап swot-аналізу: «аналіз діючих факторів»

Завершальним етапом в оцінці ринкових можливостей для впровадження проекту є формування SWOT-аналізу ((оцінка сильних (Strength) і слабких (Weak) сторін, а також загроз (Troubles) і можливостей (Opportunities) у відповідних матрицях) (табл. 4.9) відповідно до виявлених ринкових загроз та можливостей, а також сильних і слабких сторін.

SWOT аналіз проекту Магнітно-абразивне оброблення для різного типу інструментів зі зносостійкими покриттями.

**Таблиця 4.9 – SWOT-аналіз**

<b>Внутрішні фактори</b>	
<b>Сильні сторони:</b>	<b>Слабкі сторони:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Позитивний процес формування цін у внутрішньому сегменті;</li> <li>– Продуктивний технічний процес;</li> <li>– Мінімальний час обробки;</li> <li>– Довговічність інструменту після застосування процедури обробки;</li> <li>– Зміцнення фінансової ефективності підприємства та підвищення задоволення клієнтів.;</li> <li>– Розширення клієнтської бази та підвищення конкурентоспроможності організації;</li> <li>– Розрив співпраці із країною, що є агресором, та державами, що активно надають їй підтримку.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Відсутність внутрішніх резервів сировини;</li> <li>– Важкість освоєння нових ринкових сегментів;</li> <li>– Негативні висновки експериментальних випробувань що можуть потребувати додаткових зусиль і ресурсів;</li> <li>– Ймовірність технічних відмов чи поломок, що можуть призвести до зупинки робочих процесів і виникненню простою.</li> </ul>

Кінець таблиці 4.9

<b>Зовнішні фактори</b>	
<b>Можливості:</b>	<b>Загрози:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Розвиток ефективності наукових та технічних ресурсів;</li> <li>– Постпродажний супровід та консультування клієнтів;</li> <li>– Можливості для співпраці з виробниками ріжучих інструментів та промисловими підприємствами;</li> <li>– Відкриття можливостей для співпраці із визначальними світовими компаніями.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Несприятливі зовнішні умови, такі як зміни на ринку, економічні кризи, політична нестабільність;</li> <li>– Економічні спади або коливання на ринку, які можуть призвести до зниження попиту;</li> <li>– Поява конкурентів, які також використовують передові технології оброблення</li> </ul>

#### **4.6.2 Другий етап swot-аналізу: «пошук конструктивного рішення»**

На підставі SWOT-аналізу створюються пошук конструктивного рішення.

*Дії, які потрібно вжити для максимального використання сильних сторін з метою розширення можливостей проекту:*

1. Проведення досліджень технології MAO, випробування оброблених зносостійких покриттів і створення нових підходів до виробництва.
2. оптимізація виробництва, здійснення контролю за якістю та гарантування безпеки праці.
3. Перевірка можливостей підвищення ефективності та зменшення витрат на працю
4. Дослідження ринкових тенденцій і реакції споживачів на товар.

*Ініціативи з подолання слабких сторін проекту та використання представлених можливостей:*

1. Збільшення кількості центрів обробки;
2. Знаходження інвесторів та ресурсів для фінансування.
3. Постійне розробка та покращення технології MAO.

*Заходи, які ґрунтуються на сильних сторонах компанії для уникнення потенційних ризиків.*

1. Введення документального оформлення та прозоре винагородження за працю
2. Технічне обслуговування і відповідальне виконання робіт співробітниками.

**Висновок.** Відповідно до отриманих даних аналізу, запровадження своєї технології фінішного оброблення інструмента з покриттям має потенціал і дозволить обслуговувати різні підприємства, що спеціалізуються на металообробці.

Однак для втілення цього потрібні великі наукові витрати та значний час, що на початковому етапі виявляється неефективним. Таким чином, вибрано іншу стратегію – Взаємодія з виробниками необхідних деталей для установки, що не конкурують у галузі верстатобудування.

## 4.7 Розроблення ринкової стратегії проекту

### 4.7.1 Опис цільових груп споживачів

Формування планування для ринкового розвитку початковим етапом включає в себе визначення стратегічного напрямку розширення своєї присутності на ринку: ідентифікація цільові аудиторії можливих клієнтів (табл. 4.10)

**Таблиця 4.10** – Селекція цільової аудиторії

№ п/п	Профілювання цільової аудиторії можливих споживачів.	Схильність клієнтів прийняти пропозицію	Приблизний попит в середині цільової аудиторії	Ступінь конкурентної боротьби в даному сегменті	Легкість доступу до даного сегменту
1	Компанії, що розташовані у невеликих населених пунктах	Висока	Середній	Висока, не цінова	Легко

Кінець таблиці 4.10

2	Ракетно-космічна галузь, Авіаційна промисловість, Інструментальна промисловість	Висока	Високий	Висока, не цінова	Доступно
3	Майстерні з ремонту, заводи обслуговування та інші аналогічні об'єкти	Висока	Середній	Цінова, порівняно низька	Легко

Висновок: Відповідно до результатів огляду потенційної аудиторії Обрано технологію диференційованого маркетингу

#### 4.7.2 Стратегія конкурентної поведінки

Здійснюємо основну стратегічну концепцію способу взаємодії проекту з конкурентами на ринку, висновки представлені в табл. 4.11.

**Таблиця 4.11** – Формулювання ключової стратегії поведінки в умовах конкуренції

№ п/п	Чи виступає проект новаторським серед конкурентів?	Спрямована діяльність компанії на пошук нових клієнтів?	Розглядається можливість копіювання ключових особливостей товару конкурента – які саме?	Підхід до конкурентної взаємодії
1	В рамках проекту запропоновано один із шляхів подолання відомих труднощів, вкрай схожих на вже відомі	Розширення клієнтської бази - ключовий аспект у розвитку компанії.	Загальні ознаки продукту визначаються до чинних вимог стандартів та норм підприємства	Захоплення конкурентного сегменту

Висновок: Підхід до захоплення конкурентного сектору має найвищу актуальність оскільки на основі вказаних технологій та конструкцій різальних компонентів спадає його вартість виробництва. Це розкриває перед клієнтами

нові перспективи котрі раніше залишались не використаними даною категорією компонентів (відкриває можливості для використання сучасних матеріалів, підняти ефективність технічних процедур, скоротити розходи та інше). Ці області ще не зайняті конкурентами, такий момент робить можливим позиціонування себе на ринку.

#### 4.8 Розроблення маркетингової стратегії проекту

Представлено створення маркетингової концепції для товару в табл. 4.12.

**Таблиця 4.12** – Встановлення основних сильних сторін майбутнього продукту

№ п/п	Необхідність	Переваги, доступні з цим товаром	Головні конкурентні переваги, чи то існуючі, чи які потрібно сформулювати
1	Досягнення потрібних стандартів якості обробленої поверхні	Здатність до досягнення необхідних характеристик поверхні за рахунок зміни режимів або абразиву.	Можливість адаптації технології MAO
2	Стандартизація виробництва	Здатність застосування стандартного обладнання для пост оброблення.	Простота застосування індукторів, що працюють зі сталими магнітами
3	Підвищення якості інструменту після нанесення покриття	Збільшення терміну служби	Новизна технології

#### 4.9 Визначення оптимальної системи збуту

Визначення найкращої системи збуту в рамках якої виконується рішення, наведено в табл. 4.13.

**Таблиця 4.13** – Розвиток мережі збуту

№ п/п	Закупівельна діяльність та її особливості серед цільового сегменту	Ролі постачальника товарів у процесі забезпечення збуту	Обсяг каналів збуту	Найвигідніша система збуту
	Гарантують постачальникам розширений вибір товарів і доступність у сфері логістики.	Здійснення постачання у визначеному обсязі клієнтські підприємства різного характеру	На території регіону чи держави	Індивідуальна мережа реалізації

Прийнято застосування власного каналу збуту для прямого взаємодії з клієнтом. При необхідності можливе застосування залучену мережу збуту.

Висновок: Запуск проекту є обґрунтованим, оскільки:

1. Доходність проекту, яка досягає 40 – 55% ринок демонструє певний попит.
2. Використання методу MAO проявляє гнучкість і забезпечує досягти властивості поверхні інструменту які є потрібними.
3. З метою реалізації ініціативи для виходу на ринок розглядається можливість залучення інвесторів для стимулювання динаміки проекту.
4. У перспективі проект обіцяє успіх беручи до уваги що можливі споживачі представлені у всіх сферах де проводиться фінішна обробка, здатність широкого застосування в будь-якій сфері машинобудування.

## ВИСНОВОК

В даній дисертації було здійснено аналіз сучасного стану оброблення твердосплавного інструменту зі зносостійким покриттям, розкрито сутність такого інструмента, методи нанесення покриттям, його матеріали та будову. Визначено основні переваги MAO перед іншими процесами фінішного оброблення. Підібрано найкращу схему MAO для оброблення різальних пластин.

Завдяки здійсненим експериментальним дослідженням було отримано та опрацьовано результати зміни поверхневої мікротвердості передніх і задніх поверхонь та зміни радіусів округлення різальних кромek твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям при MAO різними типами МАП. За результатами визначено що MAO твердосплавних пластин з покриттями забезпечує вигладжування РК без зняття покриття з одночасним збільшенням мікротвердості передньої та задньої поверхонь.

В роботі було проведено стійкісний експеримент в якому під контрольованими лабораторними умовами твердосплавна пластина зі зносостійким покриттям була оброблена МАП Феромап 315/200мкм+АСМ 3/2мкм та пластина без MAO, використовувались в при фрезеруванні сталі 40. Дані дослідження доводять позитивний вплив MAO на збільшення працездатності твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям приблизно в 1.26 разів порівняно з пластинами без MAO.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Grigoriev S.N., Tabakov V.P., Volosova M.A. Technological methods for increasing the wear resistance of contact pads of cutting tools: monograph (Stary Oskol: TNT), 2011. – 380p.
2. Novikov, N. V., Klimenko, S. A. Tverdosplavnye instrumenty v protsessakh mekhanicheskoi obrabotki. Kyiv: ISM im. V. N. Bakulia, 2015 – 368p.
3. Skuratov D. L Processing of structural materials. Cutting processes and cutting tools: textbook. allowance / D.L. Skuratov, V.N. Trusov. - Samara: Samar Publishing House, Goss. Aerokosm, Univ., 2012. - 196 p.
4. Sandvik Coromant. *Sandvik Coromant*. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/news/the-impact-of-alignment-on-your-steel-turning-process> (дата звернення: 01.09.2023).
5. Coated Tools / K.-D. Bouzakis et al. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Berlin, Heidelberg, 2018. P. 1–13. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7\\_6395-4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_6395-4) (дата звернення: 01.09.2023).
6. Manokhin A.S., Wear Rate of PcBN Cutting Tools Equipped with Nanolayered Protective Coatings / A. S. Manokhin et al. *Journal of Superhard Materials*. 2020. Vol. 42, no. 6. P. 423–431. URL: <https://doi.org/10.3103/s1063457620060076> (дата звернення: 01.09.2023).
7. Vereschaka A.S. Cutting materials: Textbook/A.S. Vereschaka, V.S. Kushner. - M.: Higher. school, 2009. - 535 p
8. Noor Atiqah Badaluddin, Wan Fathul Hakim W Zamri1, Muhammad Faiz Md Din, Intan Fadhlina Mohamed and Jaharah A Ghani, Coatings of Cutting Tools and Their Contribution to Improve Mechanical Properties: A Brief Review *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018. pp. 11653-11664
9. Bayer A.M, Becherer B.A, Vasco T. High Speed Tool Steels. ASM Handbook, Volume 16: Machining ASM Handbook Committee, p 51-59.
10. How to Choose the Right Tool Coating? Optimize the entire process and production efficiency | Market Prospects. *The latest industry trends and market news in manufacturing / Market Prospects*. URL: <https://www.market->

[prospects.com/articles/how-to-choose-the-tool-coating](https://prospects.com/articles/how-to-choose-the-tool-coating) (дата звернення: 01.09.2023).

11. Prengel, H. G., Heinrich, W., Roder, G., Wendt, K. H. CVD coatings based on medium temperature CVD  $\kappa$ - and  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / H. G. Prengel та ін. *Surface and Coatings Technology*. 1994. Т. 68-69. С. 217–220. URL: [https://doi.org/10.1016/0257-8972\(94\)90163-5](https://doi.org/10.1016/0257-8972(94)90163-5) (дата звернення: 01.09.2023).

12. M.Narasimha , Mahaboob Patel , Solomon.D Influence of Coating on Cutting Tool in Producing Quality Products *International Journal of Research in Mechanical Engineering* Volume-2, 2014, pp. 36-46,

13. Lopez de Lacalle L.N., Lamikiz A., Fernandez de Larrinoa J., Azkona I., Advanced Cutting Tools, in: Machining of Hard Materials, Springer, London, 2011, pp.65-84.

14. Sproul W. D. Physical vapor deposition tool coatings. *Surface and Coatings Technology*. 1996. Vol. 81, no. 1. P. 1–7. URL: [https://doi.org/10.1016/0257-8972\(95\)02616-9](https://doi.org/10.1016/0257-8972(95)02616-9) (дата звернення: 01.09.2023).

15. Sousa, V.F.C.; Silva, F.J.G. Recent Advances on Coated Milling Tool Technology—A Comprehensive Review. *Coatings* 2021, 10, 235.

16. Caliskan H., Panjan P., Kurbanoglu C., "Hard Coatings on Cutting Tools and Surface Finish. Comprehensive Materials Finishing", Chapter: 3, Publisher: Oxford: Elsevier / Editors: M.S.J. Hashmi, vol. 3, pp. 230-242, 2017.

17. Майборода В. С., Джулій Д. Ю., Слободянюк І. В., Гаврушкевич Н. В. – Інструментальні матеріали для виготовлення різального інструменту : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Конструювання та дизайн машин» спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. –112 с.

18. Учасники проєктів Вікімедіа. Інструментальна сталь – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Інструментальна\\_сталь](https://uk.wikipedia.org/wiki/Інструментальна_сталь) (дата звернення: 15.09.2023).

19. Contributors to Wikimedia projects. Cemented carbide - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cemented\\_carbide](https://en.wikipedia.org/wiki/Cemented_carbide) (дата звернення: 01.09.2023).

20. Учасники проєктів Вікімедіа. Різальний інструмент – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Різальний\\_інструмент](https://uk.wikipedia.org/wiki/Різальний_інструмент) (дата звернення: 01.09.2023).
21. Staton sk - povlakovanie, ostrenie, nástroje. *Staton sk*. URL: <https://www.staton.sk/> (дата звернення: 01.09.2023).
22. Tech Tip: Coatings for Solid Carbide End Mills – Kennametal. *Kennametal | Solutions for the Most Demanding Industries*. URL: <https://www.kennametal.com/us/en/resources/technical-tips/coatings-and-grades/tech-tip--63.html> (дата звернення: 01.09.2023).
23. Titanium Aluminum Carbonitride Coating: Superior Temperature Resistance. *Titanyum PVD Kaplama | Üstün Titanyum Kaplama Teknolojisi*. URL: <https://www.titanyumkaplama.com/en/titanium-aluminum-carbonitride-coating> (дата звернення: 01.09.2023).
24. DLC Coatings | Calico Coatings. *DLC, PVD, PECVD, Teflon, Thermal Coatings | Calico Coatings*. URL: <https://www.calicocoatings.com/coatings/dlc-coatings/> (дата звернення: 01.09.2023).
25. Engineered PVD Coating | TechCoat DLA 200 | Diamond Like PVD Finish. *Techmetals, Inc*. URL: <https://techmetals.com/plating/techcoat-200-dla-pvd-coating/> (дата звернення: 01.09.2023).
26. Sousa V. F. C., Silva F. J. G. Recent Advances on Coated Milling Tool Technology—A Comprehensive Review. *Coatings*. 2020. Vol. 10, no. 3. P. 235. URL: <https://doi.org/10.3390/coatings10030235> (дата звернення: 01.09.2023).
27. Klocke F., Krieg T. Coated Tools for Metal Cutting – Features and Applications. *CIRP Annals*. 1999. Vol. 48, no. 2. P. 515–525. URL: [https://doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)63231-4](https://doi.org/10.1016/s0007-8506(07)63231-4) (дата звернення: 01.09.2023).
28. Micallef C., Zhuk Y., Aria A. I. Recent Progress in Precision Machining and Surface Finishing of Tungsten Carbide Hard Composite Coatings. *Coatings*. 2020. Vol. 10, no. 8. P. 731. URL: <https://doi.org/10.3390/coatings10080731> (дата звернення: 01.09.2023).

29. Schneider S. J., Rice R. W. The science of ceramic machining and surface finishing. Gaithersburg, MD : National Bureau of Standards, 1972. URL: <https://doi.org/10.6028/nbs.sp.348> (дата звернення: 01.09.2023).

30. Mohammad, A.E.K.; Wang, D. Electrochemical mechanical polishing technology: Recent developments and future research and industrial needs. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016, vol. 86, 1909–1924p.

31. Lewis D.B., Bradbury S.R., Sarwar M., Effect of substrate surface preparation on the performance and life of TiN-coated high speed steel circular saw blades, *Surf. Coat. Technol.* 82 (1–2) (1996) 187–192

32. Bhattacharyya B., Doloi B. Machining processes utilizing mechanical energy. *Modern Machining Technology*. 2020. P. 21–160. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812894-7.00003-7> (дата звернення: 01.09.2023).

33. Gadge M., Lohar G., Chinchankar S. A review on micro-blasting as surface treatment technique for improved cutting tool performance. *Materials Today: Proceedings*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.196> (дата звернення: 01.09.2023).

34. K.-D. Bouzakis, A. Tsouknidas, G. Skordaris, E. Bouzakis, S. Makrimalakis, S. Gerardis, G. Katirtzoglou Optimization of Wet or Dry Microblasting on PVD Films by Various Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Grain Sizes for Improving the Coated Tools' Cutting Performance. *Tribology in industry*, Vol. 33, No. 2, 2011, pp. 49-56

35. Johan Berglund, Magnus Liljengren, Bengt-Göran Rosén Machine Hammer Peening – A Substitute for Polishing of Pressing Die Surfaces? *Proceedings of the 3rd Swedish Production Symposium*, 2009, pp. 184-189

36. Reiter M., Krall S., Bleicher F. Mechanical Functionalisation of Cutting Inserts by Machine Hammer Peening. *DAAAM Proceedings*. 2017. P. 0767–0772. URL: <https://doi.org/10.2507/28th.daaam.proceedings.108> (дата звернення: 01.09.2023).

37. V. Schulze, Friedrich Bleicher, P. Groche, Y.B. Guo Surface modification by machine hammer peening and burnishing / V. Schulze et al. *CIRP Annals*. 2016.

Vol. 65, no. 2. P. 809–832. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.005> (дата звернення: 01.09.2023).

38. Leif Hagen, Jonas Baumann, Markus Heidelmann, Dirk Biermann, Wolfgang Tillmann Machine Hammer Peening and Its Effect on the Surface Integrity of Arc-Sprayed WC-W<sub>2</sub>C-FeCMnSi Coatings / L. Hagen et al. *Coatings*. 2023. Vol. 13, no. 9. P. 1563. URL: <https://doi.org/10.3390/coatings13091563> (дата звернення: 01.09.2023).

39. M. Ravi Sankar, V. K. Jain, J. Ramkumar – Abrasive flow machining (AFM): An Overview Indian Institute of Technology, Kanpur, 2011 – 9p.

40. Junye Li, Zhibao Zhu, Jinglei Hu, Zengwei Zhou, Xingming Zhang, Weihong Zhao – Particle collision-based abrasive flow mechanisms in precision machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Vol. 110, 2020 pages 1819–1831

41. Xin-Chang Wang, Cheng-Chuan Wang, Chang-Ying Wang & Fang-Hong Sun Approach for Polishing Diamond Coated Complicated Cutting Tool: Abrasive Flow Machining (AFM) / X.-C. Wang et al. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 31, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s10033-018-0296-4> (дата звернення: 01.09.2023).

42. Wang R., Wang C. Effect of Micro Abrasive Slurry Jet Polishing on Properties of Coated Cemented Carbide Tools. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2023. Vol. 36, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s10033-023-00948-9> (дата звернення: 01.09.2023).

43. Matúš Molitoris, Ján Pitel', Alexander Hošovský, Mária Tóthová, Kamil Židek A Review of Research on Water Jet with Slurry Injection / M. Molitoris et al. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 149. P. 333–339. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.675> (дата звернення: 01.09.2023).

44. Beaucamp A. T. Micro Fluid Jet Polishing. *Micro/Nano Technologies*. Singapore, 2018. P. 333–369. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0098-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0098-1_10) (дата звернення: 01.09.2023).

45. Hardening. *LASERLINE*. URL: <https://www.laserline.com/en-int/laser-hardening/> (дата звернення: 01.09.2023).

46. Laser heat treatment. *Share & Discover Presentations / SlideShare*. URL: <https://www.slideshare.net/JKLasers/laser-heat-treatment> (дата звернення: 01.09.2023).

47. Laser hardening | TRUMPF. *TRUMPF SE + Co. KG / TRUMPF*. URL: [https://www.trumpf.com/en\\_CA/solutions/applications/surface-processing-with-the-laser/laser-hardening/](https://www.trumpf.com/en_CA/solutions/applications/surface-processing-with-the-laser/laser-hardening/) (дата звернення: 01.09.2023).

48. Laser hardening. *Your support for product development and manufacturing / Find suppliers, processes & material*. URL: <https://www.manufacturingguide.com/en/laser-hardening> (дата звернення: 01.09.2023).

49. Satish Kumar , Nitin K Khedkar, Bhushan Jagtap, T P Singh The Effects of Cryogenic Treatment on Cutting Tools / S. Kumar et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 225. P. 012104. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/225/1/012104> (дата звернення: 01.09.2023).

50. Kupczyk M. J., Józwik J. Effect of Laser Heating on the Life of Cutting Tools Coated with Single- and Multilayer Coatings Containing a TiN Layer. *Materials*. 2022. Vol. 15, no. 11. P. 4022. URL: <https://doi.org/10.3390/ma15114022> (дата звернення: 01.09.2023).

51. Akincioglu S., Gökkaaya H., Uygur İ. A review of cryogenic treatment on cutting tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015. Vol. 78, no. 9-12. P. 1609–1627. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6755-x> (дата звернення: 01.09.2023).

52. Contributors to Wikimedia projects. Cryogenic treatment - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cryogenic\\_treatment](https://en.wikipedia.org/wiki/Cryogenic_treatment) (дата звернення: 01.09.2023).

53. Contributors to Wikimedia projects. Pulsed field magnet - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed\\_field\\_magnet](https://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed_field_magnet) (дата звернення: 01.09.2023).

54. Y. Yang, Y. Yang, C. Liao, G. Yang, Y. Qin, Q. Li, M. Wu, Enhancing tribological performance of cemented carbide (WC-12Co) by pulsed magnetic field treatment and magnetofluid / Y. Yang et al. *Tribology International*. 2021. Vol. 161.

P. 107086. URL: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107086> (дата звернення: 01.09.2023).

55. J. Liu, C. Wei, G. Yang, L. Wang, L. Wang, X. Wu, K. Jiang, Y. Yang, A Novel Combined Electromagnetic Treatment on Cemented Carbides for Improved Milling and Mechanical Performances / J. Liu et al. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2018. Vol. 49, no. 10. P. 4798–4808. URL: <https://doi.org/10.1007/s11661-018-4740-y> (дата звернення: 01.09.2023).

56. Hao Qu, Lin Zhang, Zhe Chen, Lei Zhang, Kyle Jiang, Jian Liu Pulsed magnetic field treatment of TiAlSiN-coated milling tools for improved cutting performances / H. Qu et al. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09145-9> (дата звернення: 01.09.2023).

57. Yajie Li, Han Guo, Han Guo, Lin Zhang, Zhe Chen, Lanhui Liu, Jian Liu Pulsed Magnetic Treatment of Cobalt for Enhanced Microstructures and Mechanical Properties / Y. Li et al. *Metals*. 2022. Vol. 12, no. 11. P. 1775. URL: <https://doi.org/10.3390/met12111775> (дата звернення: 01.09.2023).

58. Y. M. Barona. Technology of structural materials: Textbook for universities / Ed. Y. M. Barona. - St. Petersburg: Peter, 2012. - 512 p.

59. Baron Y.M. The magnetic abrasive machining of workpieces and cutting tools. Machine building, Leningrad, 1986 – 176p.

60. Sakulevich F.Y., Fundamentals of magnetic abrasive machining. Science and Engineering, Minsk, 1981 – 327p.

61. Konovalov, E. G. Fundamentals of electroferromagnetic processing / E. G. Konovalov, F. Y. Sakulevich. – Minsk: Science and Technology, 1974. – 272 p.

62. L.M. Akulovich, L.E. Sergeev, V.Y. Lebedev, Fundamentals of magnetic-abrasive processing of metal surfaces *Minsk, BSATU, 2012. – 316p.*

63. Chunjin Wang, Yee Man Loh, Chi Fai Cheung, Shixiang Wang, Kaiwen Chen, Lai Ting Ho and Eric Cheng Magnetic field-assisted batch superfinishing on thin-walled components / C. Wang et al. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2022. Vol. 223. P. 107279. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107279> (дата звернення: 01.09.2023).

64. Wang, C.J., Cheung, C.F., Ho, L.T., Yung, K.L., & Kong, L.B. A novel magnetic field-assisted mass polishing of freeform surfaces / C. Wang et al. *Journal of Materials Processing Technology*. 2020. Vol. 279. P. 116552. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.116552> (дата звернення: 01.09.2023).

65. Rui Gao, Chunjin Wang, Yee Man Loh, Xiaoliang Liang, Chen Jiang, Chi Fai Cheung, Novel batch polishing method of ceramic cutting inserts for reducing tool wear 2023. – 22p. URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3130290/v1> (дата звернення: 01.09.2023).

66. Tikal Franz Schneidkantenpräparation — Ziele, Verfahren und Messmethoden/ F.Tikal, R.Bienemann, L.Heckmann: — Kassel universitypress GmbH, Kassel, 2009. — 193 S.

67. Wolfgang Thiel Schneidkantenpräparation an Mikrowerkzeugen Dr.rer.nat. Wolfgang Thiel Magnetfinish GmbH, Galgenried 18, CH-6370 Stans, 8p.

68. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь. дис. ... докт.техн.наук. – Київ, 2001. – 404 с.

69. Джулій Д.Ю. Підвищення якості багатограних непереточуваних твердосплавних пластин при магнітно-абразивному обробленні в кільцевій ванні : дис. ... канд. техн. наук. : 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / Д. Ю. Джулій. - К., 2014. – 174ст.

70. Бесарабець, С. Ю. Підвищення працездатності твердосплавних пластин магнітно-абразивним методом : магістерська дис. : 133 Галузеве машинобудування / Бесарабець Сергій Юрійович. – Київ, 2019. – 86 с.

71. Паспорт 6Б75ВФ1 Верстат фрезерний інструментальний широкоуніверсальний з цифровою індикацією (Одеса), Завод фрезерних станків ім. С.М. Кірова, 1978 – 180с.

72. Dormer Pramet. *Dormer Pramet*. URL: <https://www.dormerpramet.com/ua/en/> (дата звернення: 01.09.2023).

73. Іщик, Д. В. Підвищення якості свердел із швидкорізальної сталі при магнітно-абразивному обробленні : магістерська дис. : 133 Галузеве машинобудування / Іщик Дмитро Володимирович. – Київ, 2018. – 88 с.

74 Vereschaka, A.A. Influence of nanolayer thickness on the performance properties of multilayer composite nano-structured modified coatings for metal-cutting tools / A.A. Vereschaka, J.I., Bublikov, N.N., Sitnikov et al. // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 2018. – vol. 95. – pp. 2625–2640.

**ДОДАТОК А**  
**ПРОТОКОЛ ВИМІРЮВАНЬ**

**Таблиця А.1** – Результати вимірювання поверхневої твердості передньої поверхні

Магнітно-абразивний порошок	Позначення пластини	Стан різальної кромки	Довжина діагоналі відбитка пірамідки, мкм.	Середнє значення результатів, мкм.	Поверхнева твердість, ГПа
<b>вимірювання поверхневої твердості передньої поверхні</b>					
Вихідна	01		46, 42, 45, 43, 43	43,8	20,39
Феромап 315/200 мкм	11		39, 38, 41, 36, 42, 40, 40	39,4	26,28
	12		39, 36, 38, 38, 40, 41, 39; 37, 37, 37	38,7; 28,6	
Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм	21		43, 43, 43, 44, 46, 46	44,17	21,66
	22		38,42, 43, 41, 41	41	
ДЧК 630/400 мкм	31		47, 41, 40, 43, 41, 42	42,3	23,07
	32		40, 43, 39, 40, 37, 39, 43	40,14	
ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм	41	покриття було знято	42, 37, 43, 44, 42, 43	41,8	22,95
	42		42, 41, 38, 41, 42, 41	40,8	
<b>вимірювання поверхневої твердості задньої поверхні</b>					
	01		48, 53, 51, 56, 52, 49, 51, 52	51,5	14,75
Феромап 315/200 мкм	11		47, 44, 43, 46, 45	45	18,16
	12		51, 46, 51, 49, 46, 45	48	
Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм	21	покриття було знято	47, 47, 47, 47	47	19,19
	22		41, 41, 44, 45, 46, 44	43,5	
ДЧК 630/400 мкм	31		44, 45, 40, 43, 45, 49	44	20,21
	32		43, 47, 42, 44, 44	44	
ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм	41	покриття було знято	45, 43, 43, 46, 46, 46	44,8	17
	42		50, 54, 50, 55, 53, 54, 52	52,57	

**Таблиця А.2** – Величина радіусів округлення та стан РК твердосплавних пластин після МАО різними типами магнітно–абразивних порошоків

Магнітно-абразивний порошок	№ позначення пластини	Отримані результати вимірювання	Радіус округлення РК, мкм
Вихідна	01	43,8; 35,6; 34; 41,5	37,4
	02	36,8; 41,2; 34,3; 35	
Феромап 315/200 мкм	11	49,4; 54,9; 59,9; 50,2	47,08
	12	42,4; 35,7; 46,1; 39,5	
Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм	21	36,4; 34,9; 33,1; 38,1	35,97
	22	34,9; 38,9; 36,9; 34,6	
ДЧК 630/400 мкм	31	37,3; 39,4; 39,5; 38,6	39,32
	32	41,6; 35,5; 42,6; 39,5	
ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм	41	32; 38,5; 40,3; 37,4	39,27
	42	52,5; 42,7; 35,3; 41,4	

## ДОДАТОК Б

Теза конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем - 2023»



Матеріали XIII міжнародної  
 науково-практичної конференції  
**«КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
 ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
 ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»**

Том 1

25 - 26 травня 2023 р.  
 м. Чернігів

«КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ - 2023»

УДК 621.923

**Майборода В.С., докт. техн. наук, професор**

**Джудий Д.Ю., канд. техн. наук, доцент**

**Косянчук В.В., студент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

[dzhulii.dmytro@lil.kpi.ua](mailto:dzhulii.dmytro@lil.kpi.ua)

**ЗМІНА МІКРОТВЕРДОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ З  
ПОКРИТТЯМ ПРИ МАГНІТНО–АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ**

Магнітно–абразивне оброблення (МАО) – це спосіб комплексного фінішного оброблення деталей складної форми, в тому числі і різального інструменту. В сучасному виробництві з використанням верстатів з ЧПК великого розповсюдження набуло використання складеного різального інструменту з твердосплавними пластинами зі зносостійкими покриттями. Тому актуальною проблемою є покращення фізико–механічних властивостей поверхневих шарів таких елементів. Для цього було виконано експериментальне дослідження впливу складу магнітно–абразивного інструменту на мікротвердість поверхонь твердосплавних пластин PRAMET PNEA 110408EN з покриттям. Умови МАО: швидкість обертання пластин навколо власної осі – 500 об/хв, швидкість переміщення їх вздовж робочої зони – 2,5 м/с, магнітна індукція в робочому зазорі – 0,24 Тл, сумарний час оброблення – 360 с. Оброблення виконували наступними порошками: Феромап з зернистістю 315/200 мкм, Феромап 315/200 мкм з додаванням АСМ 3/2 мкм, ДЧК з зернистістю 630/400 мкм та ДЧК 630/400 мкм з додаванням АСМ 3/2 мкм.

Вимірювання мікротвердості поверхонь виконували на передній та задній поверхнях пластин, результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 □ Поверхнева твердість передньої та задньої поверхонь твердосплавних пластин після МАО різними типами магнітно–абразивних порошків

Магнітно–абразивний порошок	Мікротвердість на передній поверхні, ГПа	Мікротвердість на задній поверхні, ГПа
Вихідна	20,39	14,75
Феромап 315/200 мкм	26,28	18,16
Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм	21,66	19,19
ДЧК 630/400 мкм	23,07	20,21
ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм	22,95	17

Показано, що в процесі МАО досліджуваних пластин має місце стійке збільшення їх поверхневої твердості, яке обумовлене характером силової і контактної взаємодії магнітно–абразивного інструменту (МАІ), сформованого з фероабразивних порошків різних типів з різною морфологією поверхонь частинок. Встановлено, що більше підвищення твердості

відбувається саме для порошку без використання алмазної пасти, що може бути пояснено процесами пов'язаними з частковим видаленням покриття з поверхні – зменшенням його товщини при використанні МАІ з алмазною пастою. Найбільшу величину поверхневої твердості в досліджуваних умовах було отримано при використанні МАІ з порошку Феромап 315/200 мкм на передній поверхні – 26,28 ГПа і ДЧК 630/400 мкм на задній поверхні – 20,21 ГПа. В результаті виконаних досліджень показано, що з метою підвищення поверхневої твердості робочих поверхонь твёрдосплавних пластин з покриттям доцільним є проведення MAO в умовах великих магнітних зазорів.

## ДОДАТОК В

Теза конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку»

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ**



# **ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**МАТЕРІАЛИ**

**XXI МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**



**КРАМАТОРСЬК-ТЕРНОПІЛЬ 2023**

## ВПЛИВ МАГНІТНО–АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА РІЗАЛЬНІ КРОМКИ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ПЛАСТИН З ПОКРИТТЯМ

**Джулій Д.Ю., Плівак О.А., Майборода В.С., Косянчук В.В.**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна*

Одним з передових методів фінішного оброблення є магнітно–абразивне оброблення (МАО) в кільцевій ванні, він дозволяє виконувати комплексний вплив на параметри якості деталей різного типу. При виготовленні твердосплавного різального інструменту особливу увагу на фінішних етапах слід приділяти стану різальних кромки (РК). Тому актуальною задачею є вивчення впливу процесу МАО в умовах великих магнітних щілин на радіуси округлення та стан РК твердосплавного інструменту, а особливо зі зносостійким покриттям.

Експериментальні дослідження по впливу різного складу магнітно–абразивного порошку на РК виконано для твердосплавних пластин PRAMET PNEA 110408EN зі зносостійким покриттям. Основні умови оброблення: швидкість обертання пластин навколо власної осі – 500 об/хв, швидкість переміщення їх вздовж робочої зони – 2,5 м/с, магнітна індукція в робочому зазорі – 0,24 Тл, сумарний час оброблення – 360 с, використані магнітно–абразивні порошки наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Величина радіусів округлення та стан РК твердосплавних пластин після МАО різними типами магнітно–абразивних порошків

Магнітно–абразивний порошок	Радіус округлення РК, мкм	Зображення РК зі сторони передньої поверхні	Магнітно–абразивний порошок	Радіус округлення РК, мкм	Зображення РК зі сторони передньої поверхні
Вихідна	37,4				
Феромап 315/200 мкм	47,08		Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм	35,97	
ДЧК 630/400 мкм	39,32		ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм	39,27	

Експериментально встановлено, що при використанні порошків без додавання АСМ та для Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм не відбувається видалення покриття з поверхонь та РК, а для ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм на РК покриття видаляється, що зумовлено процесами, пов'язаними зі стиранням та більшими силами, що притискають порошок до оброблюваних поверхонь за рахунок більшої величини його намагніченості. Тому в зазначеному випадку доцільно зменшити час оброблення. В обох випадках використання порошків з додаванням алмазної пасти відбувається вигладжування шару покриття (табл. 1).

Значне зростання радіусів округлення РК на 10 мкм виявлено лише для порошку Феромап 315/200 мкм, але на кромках та поверхнях не відбувається помітного видалення покриття, це може бути пов'язано як з мікропластичним деформуванням і ущільненням приповерхневих шарів твердого сплаву разом з покриттям і частковим видаленням тонких розрихлених шарів покриття. Відзначимо, що при використанні зазначеного типу порошку відбулось і найбільше зростання поверхневої твердості на передній і задній поверхнях [1]. Для інших використаних порошків не виявлено зміни величини радіусів округлення РК, навіть не зважаючи на видалення зносостійкого покриття для порошку ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм.

Отже, MAO твердосплавних пластин з покриттями забезпечує вигладжування РК без зняття покриття з одночасним збільшенням мікротвердості передньої та задньої поверхонь, що має позитивно вплинути на їх роботоздатність і потребує експериментальної перевірки.

**Література: 1. Майборода В.С., Джулій Д.Ю., Косянчук В.В. Зміна мікротвердості твердосплавного інструменту з покриттям при магнітно-абразивному обробленні / Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем", Том 1, Чернігів, 2023. – С. 65.**

ДОДАТОК Г  
**ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДОПОВІДІ**

# ЗАХИСТ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ: МАГНІТНО-АБРАЗИВНЕ ОБРОБЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИМИ ПОКРИТТЯМИ

**Мета:** Підвищити параметри якості твердосплавних пластин зі зносостійкими покриттями за допомогою MAO в умовах великих магнітних щілин.

## **Задачі дослідження:**

- Здійснити літературний аналіз існуючих способів оброблення твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям
- Дослідити вплив процесу MAO на поверхневу мікротвердість та радіуси округлення РК, експериментальних зразків, при застосуванні різного складу MAI при MAO.
- Провести стійкісне дослідження оброблених процесом MAO твердосплавних пластин з покриттям при фрезеруванні сталі 40.

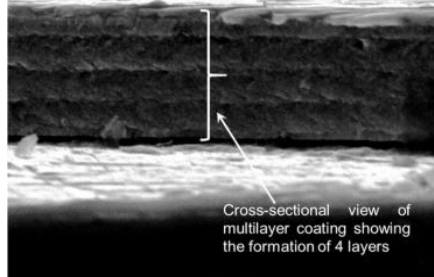
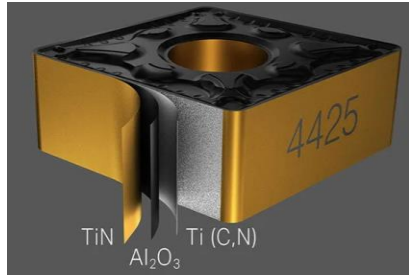
Студент : Косянчук В.В.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Майборода В.С.

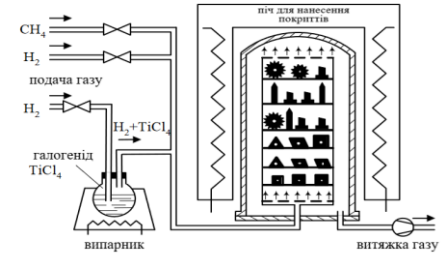
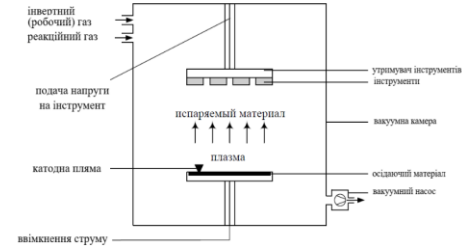


# Аналіз сучасного стану оброблення твердосплавного інструмента зі зносостійким покриттям

## Твердосплавний різальний інструмент зі зносостійким покриттям

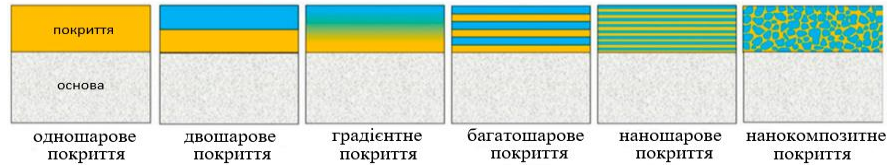


## Методи нанесення покриттів



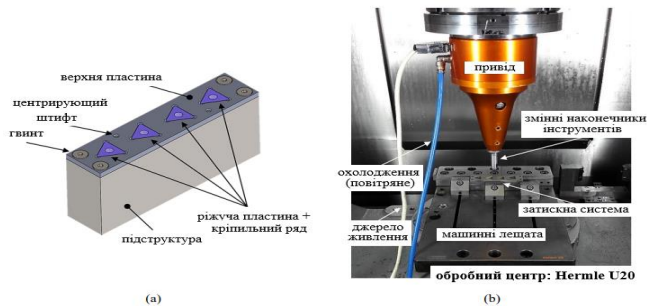
## Типи та матеріали покриттів

- TiN – нітрид титану;
- TiC – карбід титану;
- TiAlN – нітрид титану алюмінію;
- AlCrN – нітрид алюмінію хрому;
- ...



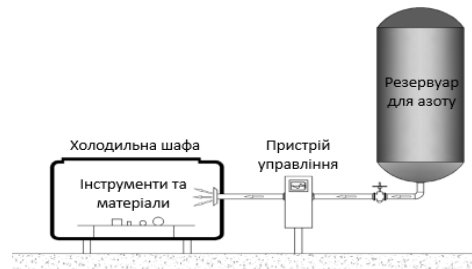
# Методи фінішного оброблення інструменту зі зносостійкими покриттями

## Контактні методи фінішного оброблення

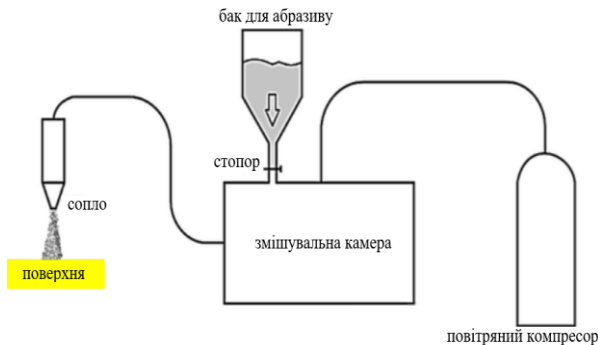


Машинно-молоткове оброблення

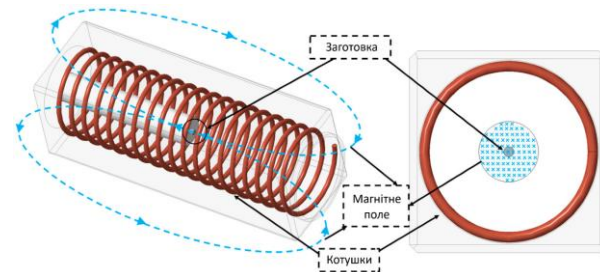
## Безконтактні методи фінішного оброблення



Кріогенне оброблення



Мікроструминне оброблення



Оброблення імпульсним магнітним полем



# Схеми MAO для твердосплавних пластин

## Основні поняття магнітно-абразивного оброблення

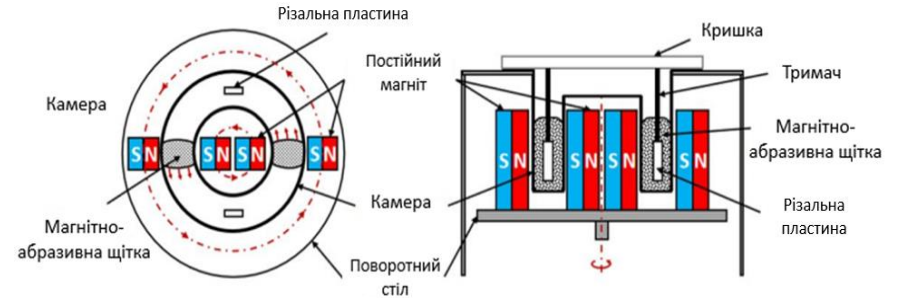


Схема пакетного полірування за допомогою магнітного поля

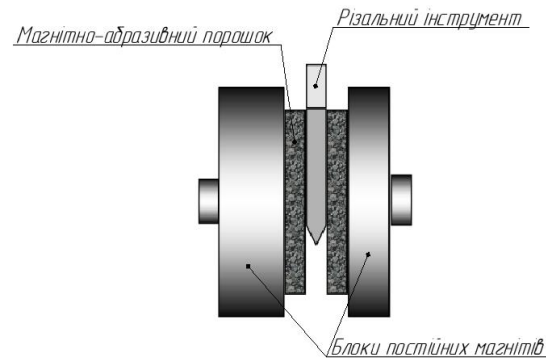
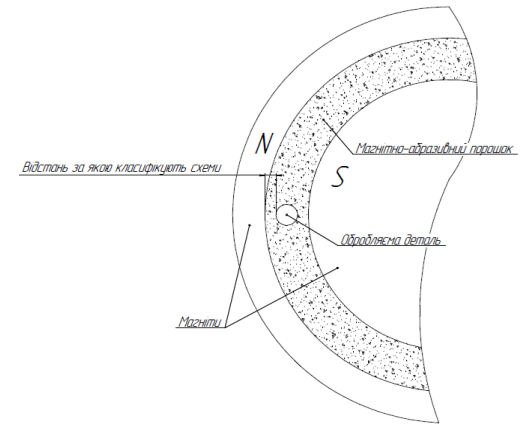


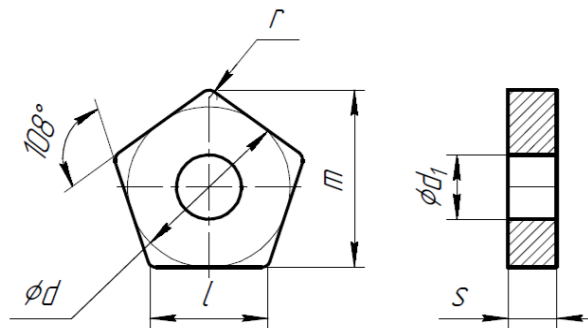
Схема типу конф-модуль



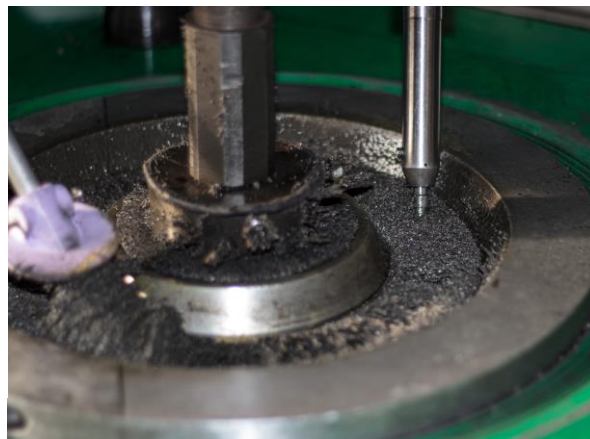
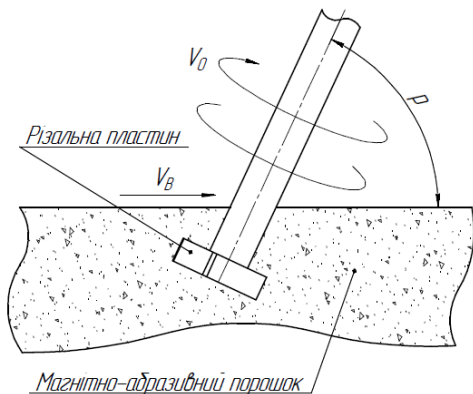
Схеми MAO з великою робочою щілиною



# Магнітно-абразивне оброблення твердосплавних пластин з покриттям



В якості експериментальних зразків були використані твердосплавні різальні пластини PRAMET PNEA 110408EN з нанесеним на них покриттям.



За допомогою магнітно-абразивного оброблення в кільцевій ванні було проведено підготовку пластин. Для формування МАІ були задіяні такі порошки як:

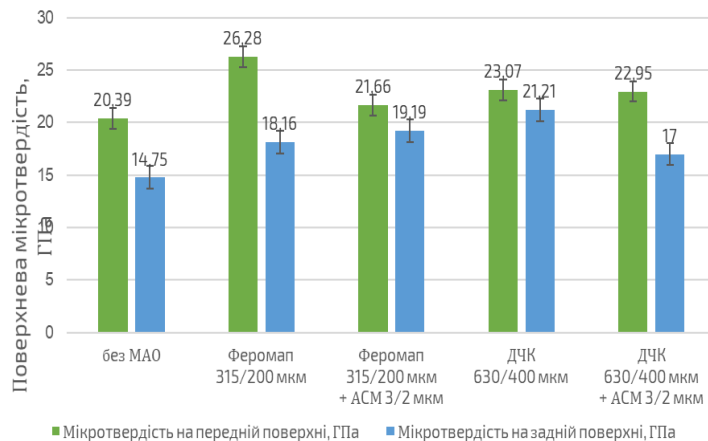
- Феромап – 315/200 мкм,
- Феромап – 315/200 мкм + АСМ 3/2,
- ДЧК – 630/400 мкм,
- ДЧК – 630/400 + АСМ 3/2 мкм.



# Вимірювання мікротвердості передньої та задньої поверхонь

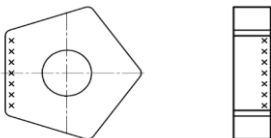


Для визначення мікротвердості поверхонь було проведено заміри за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3. Величина навантаження, яка була прикладена до індектора складала 1.96 Н. Результати вимірювання мікротвердості на передніх та задніх поверхнях наведені в таблиці

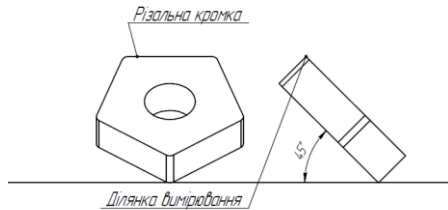
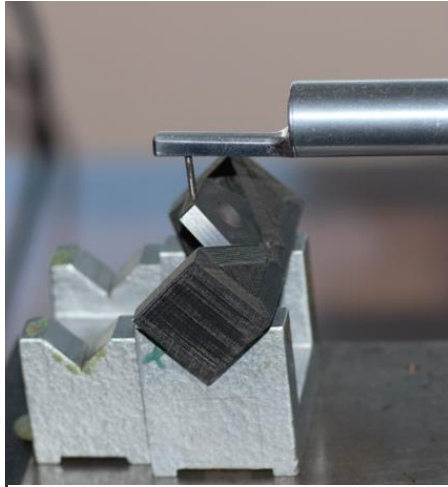


Магнітно-абразивний порошок	Передня поверхня, ГПа	Задня поверхня, ГПа
Вихідна	20,39	14,75
Феромап 315/200 мкм	26,28	18,16
Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм	21,66	19,19
ДЧК 630/400 мкм	23,07	20,21
ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм	22,95	17

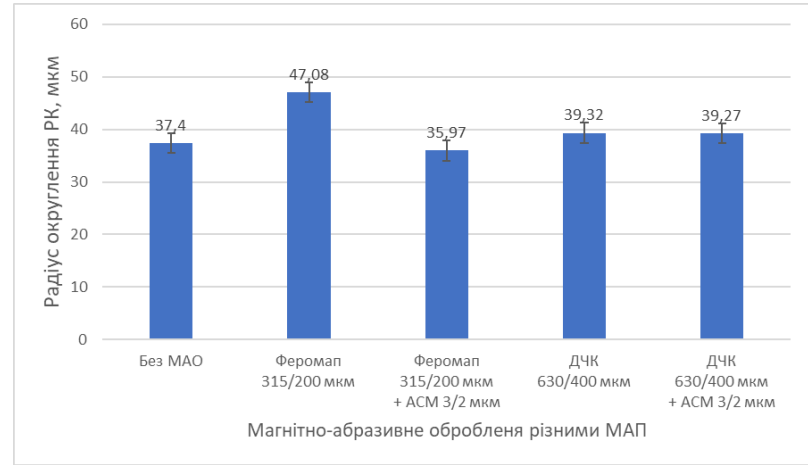
Вимірювання мікротвердості на:  
передній поверхні      задній поверхні



# Вимірювання радіусів округлення різальних кромки



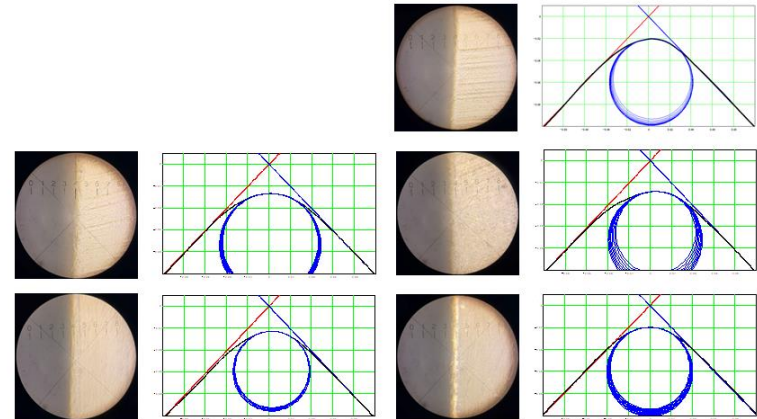
Магнітно-абразивний порошок	Позначення пластини	Радіус округлення РК, мкм
Вихідна	01	37,4
	02	
Феромап 315/200 мкм	11	47,08
	12	
Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм	21	35,97
	22	
ДЧК 630/400 мкм	31	39,32
	32	
ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм	41	39,27
	42	



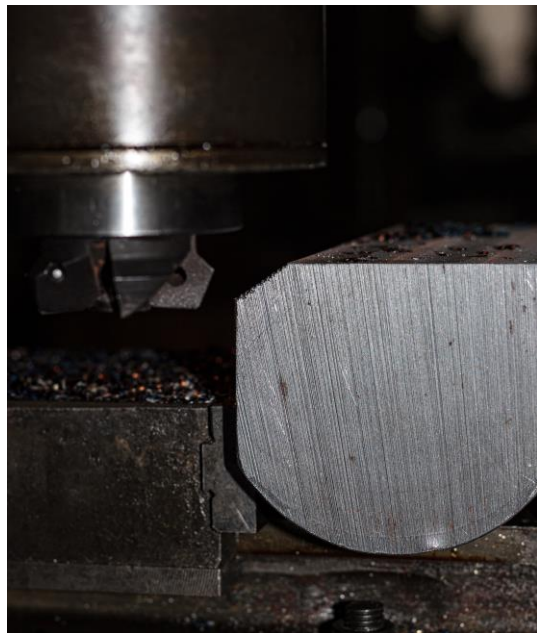
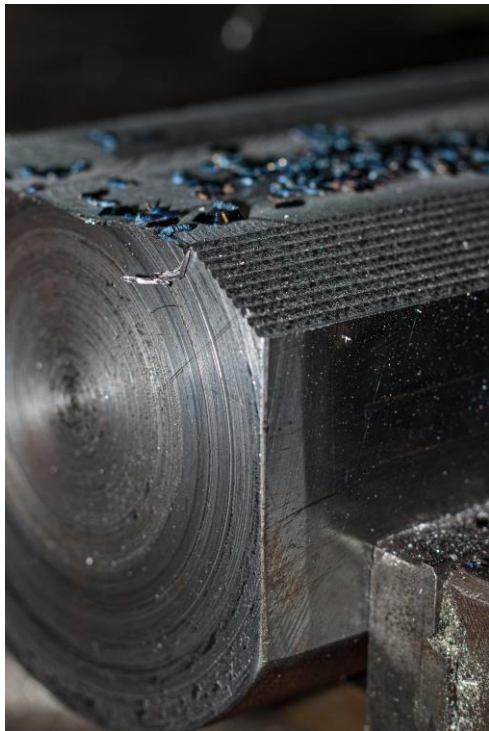
Вимірювання радіусів округлення різальних кромки було виконано з використанням спеціального модулю зібраного на основі профілометра мод. 296.



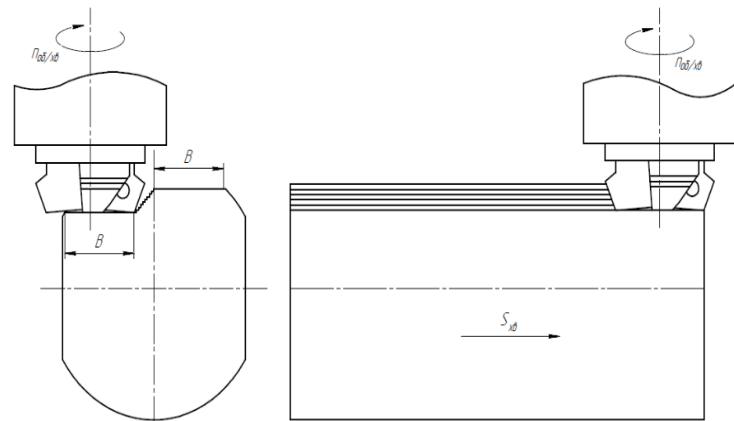
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»



# Стійкісні дослідження



В якості матеріалу оброблювальної заготовки для проведення подальшого дослідження було використано Сталь 40.



# Виконання стійкісного експерименту фрезеруванням



Режими різання:

$D = 40.5\text{мм}$

$B = 32\text{мм}$

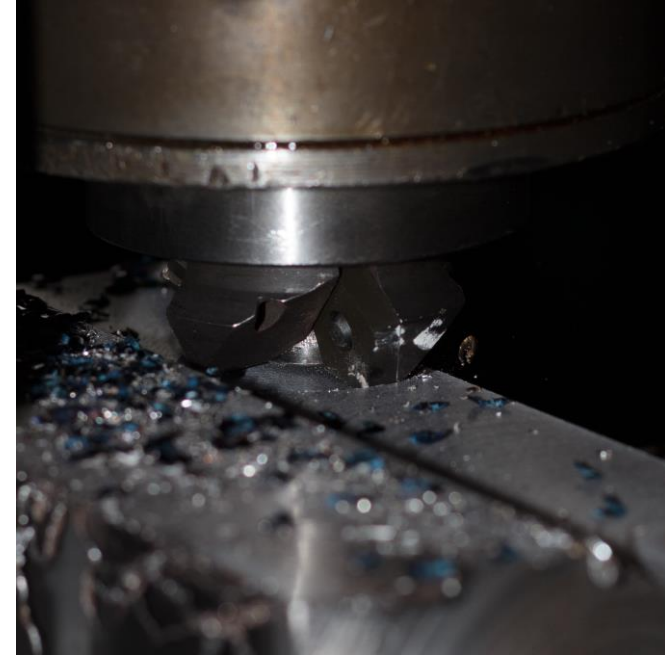
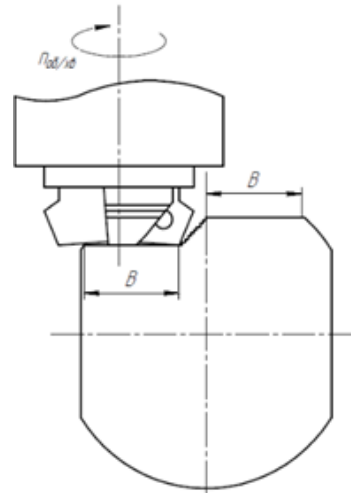
$t = 1\text{мм}$

$z = 1$

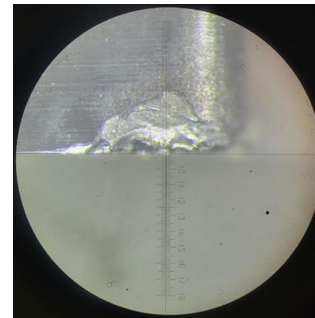
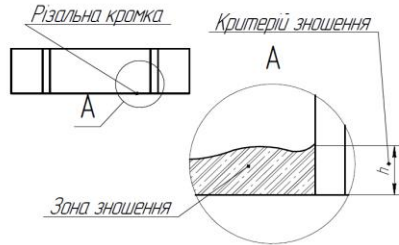
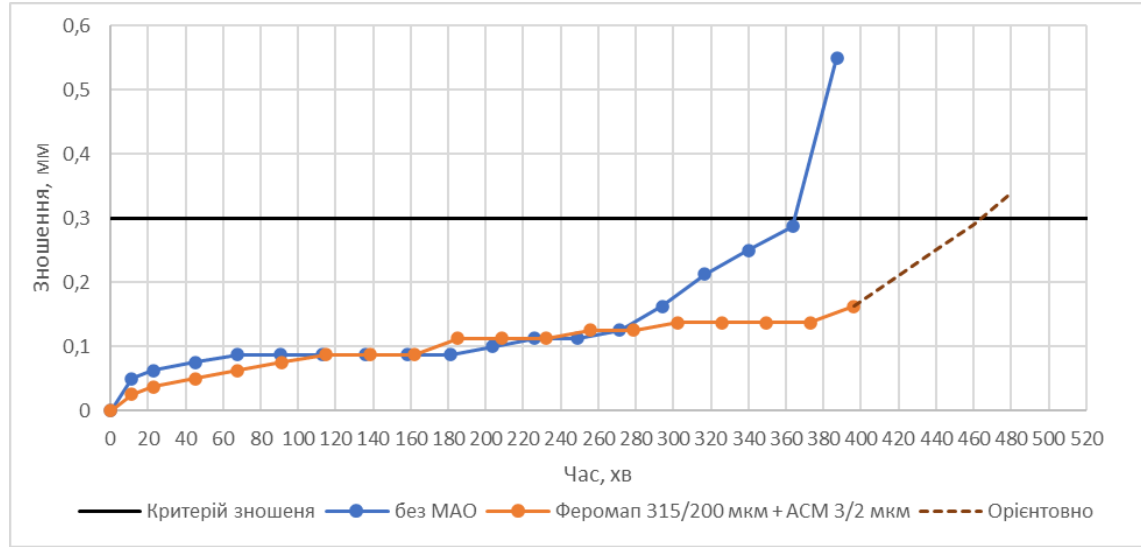
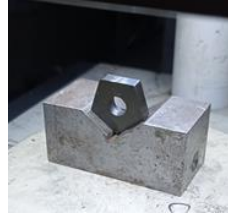
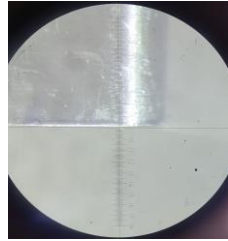
$n = 560\text{ об/хв}$

$V_c = 71,4\text{ м/хв}$

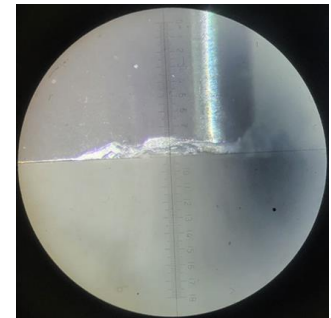
$S = 0,15\text{ мм/зуб}$



# Вимірювання зношення пластин та опрацювання результатів



130 проходів  
пластина без MAO



130 проходів  
МАП Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2



# Стартап проект

## Swop-аналіз

Внутрішні фактори	
Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<ul style="list-style-type: none"><li>- Позитивний процес формування цін у внутрішньому сегменті;</li><li>- Продуктивний технічний процес;</li><li>- Мінімальний час обробки;</li><li>- Довговічність інструменту після застосування процедури обробки;</li><li>- Зміцнення фінансової ефективності підприємства та підвищення задоволення клієнтів.;</li><li>- Розрив співпраці із країною, що є агресором, та державами, що активно надають їй підтримку.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Відсутність внутрішніх резервів сировини;</li><li>- Важкість освоєння нових ринкових сегментів;</li><li>- Негативні висновки експериментальних випробувань що можуть потребувати додаткових зусиль і ресурсів;</li><li>- Ймовірність технічних відмов чи поломок, що можуть призвести до зупинки робочих процесів і виникненню простою.</li></ul>
Зовнішні фактори	
Можливості:	Загрози:
<ul style="list-style-type: none"><li>- Розвиток ефективності наукових та технічних ресурсів;</li><li>- Постпродажний супровід та консультування клієнтів;</li><li>- Можливості для співпраці з виробниками ріжучих інструментів та промисловими підприємствами;</li><li>- Співпраця із визначальними світовими компаніями.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Неприятливі зовнішні умови, такі як зміни на ринку, економічні кризи, політична нестабільність;</li><li>- Економічні спади або коливання на ринку, які можуть призвести до зниження попиту;</li><li>- Поява конкурентів, які також використовують передові технології оброблення</li></ul>

## Висновок

Використання методу MAO проявляє гнучкість і забезпечує досягти властивості поверхні інструмента які є потрібними.

З метою реалізації ініціативи для виходу на ринок розглядається можливість залучення інвесторів для стимулювання динаміки проекту.

У перспективі проект обіцяє успіх беручи до уваги що можливі споживачі представлені у всіх сферах де проводиться фінішна обробка, здатність широкого застосування в будь-якій сфері машинобудування.



## **Висновки:**

- Було здійснено ознайомлення з основною сутністю сучасного стану оброблення твердосплавного інструмента зі зносостійким покриттям
- Проведення процесу МАО твердосплавних пластин зі зносостійким покриттям з подальшим вимірюванням поверхневої мікротвердості задніх та передніх поверхонь, вимірювання радіусів округлення різальних кромek
- Виконання стійкісного дослідження експериментальних зразків при фрезеруванні сталі 40.
- Створення стартап проекту



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!



Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

