

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Ю.М.Данильченко

«__» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-науковою програмою «Магістра»
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

на тему: «Магнітно-абразивне оброблення твердосплавних пластин»

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи Мi-11мп

Черненко Тетяна Дмитрівна _____

Науковий керівник:

Професор, доктор технічних наук,

Майборода Віктор Станіславович _____

Консультант:

Рецензент:

(прізвище та ініціали, науковий ступінь, вчене звання) _____

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-наукова програма «магістр»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Ю.М. Данильченко

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Черненко Тетяна Дмитрівна

1. Тема дисертації «Магнітно абразивне оброблення твердосплавних пластин», науковий керівник дисертації Майборода Віктор Станіславович, доктор технічних наук, Професор, затверджені наказом по університету від «__» _____ 2022 р. № _____
2. Термін _____ подання _____ студентом _____ дисертації _____
3. Об'єкт дослідження
Процес магнітно-абразивного оброблення твердосплавних пластин
4. Предмет дослідження
Покращення якості поверхні твердосплавних пластин
5. Перелік завдань, які потрібно розробити
 1. Провести аналіз літературних джерел
 2. Вибрати та обґрунтувати тип досліджуваних твердосплавних пластин для МАО.
 3. Визначити існуючі фінішні методи оброблення твердосплавних пластин

4. Проаналізувати умови оброблення твердосплавних пластин, які будуть використовуватись, та виділити задачі, які це оброблення вирішує.
 5. Попередньо визначити умови МАО для обраних пластин.
 6. Розробити пристосування для кріплення пластин на установці.
 7. Провести дослідження на вихідних зразках та дослідити умови МАО.
 8. Розробити рекомендації щодо використання МАО за схемою «кільцева ванна» для досліджуваних твердосплавних пластин.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 10-15 слайдів презентації
7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вибір і затвердження теми		виконано
2	Підбір і ознайомлення з літературою		виконано
3	Складання плану, розробка індивідуального завдання		виконано
4	Виконання експериментальних досліджень		виконано
5	Поглиблене вивчення літературних джерел і написання теоретичної частини		виконано
6	Збір і аналітична обробка статистичного матеріалу з теми дослідження		виконано
7	Написання дисертації та її оформлення		виконано
8	Подання роботи в ДЕК та її захист		виконано

Студент

Тетяна ЧЕРНЕНКО

Науковий керівник

Віктор МАЙБОРОДА

АНОТАЦІЯ

Черненко Т.Д. Магнітно-абразивне оброблення твердосплавних пластин

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 131 – Прикладна механіка. – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". – Київ, 2022.

Виконано аналіз існуючих літературних джерел в області досліджень магнітно-абразивного оброблення твердосплавних пластин. Розглянуто існуючі схеми магнітно-абразивного оброблення твердосплавних пластин, класифікацію існуючих схем МАО, порошки які використовуються при МАО. Розглянуто вплив МАО на механічні властивості поверхні.

Розроблена методика, за якою було проведено визначення параметрів в зразках після МАО твердосплавних пластин.

Проаналізовано тенденції зміни величин шорсткості поверхні, сколювання, радіусу заокруглення та параметри зносу після МАО в залежності від величини технологічних параметрів процесу.

Досліджено вплив магнітно-абразивного оброблення на фізико-механічні характеристики твердосплавних пластин.

Ключові слова: магнітно-абразивне оброблення, магнітно-абразивне оброблення твердосплавних пластин, багатогранні непереточувані пластини, шороховатість, робочий зуб.

SUMMARY

Chernenko.T.D. Magnetic abrasive finishing of carbide inserts

An analysis of existing literary sources in the field of magnetic abrasive machining of hard alloy plates was carried out. The existing schemes of magnetic-abrasive processing of hard alloy plates, the classification of existing schemes of MAO, powders used in MAO are considered. The influence of MAO on the mechanical properties of the surface is considered.

A technique was developed, according to which parameters were determined in samples after MAO of hard alloy plates.

The trends of changes in surface roughness, chipping, radius of rounding and wear parameters after MAO depending on the technological parameters of the process were analyzed.

The effect of magnetic abrasive treatment on the physical and mechanical characteristics of hard alloy plates was investigated.

Key words: magnetic-abrasive processing, magnetic-abrasive processing of carbide plates, multifaceted unturned plates, roughness, working battlements.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ / ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ ВІДОМОСТЕЙ ПРО МАГНІТНО – АБРАЗИВНЕ ОБРОБЛЕННЯ	10
1.1 Загальні положення магнітно-абразивного оброблення	10
1.1.1 Історія розвитку технології МАО	10
1.1.3 Класифікація існуючих схем МАО	12
1.1.4 Магнітно-абразивні порошки, що використовуються при МАО..	18
1.1.5 Застосування мастильно-охолоджуючих технологічних засобів при манітно-абразивному оброблені	20
1.1.6 Фізико-хімічні явища при МАО	20
1.2 Твердосплавні багатогранні непереточувані пластини	24
1.2.1 Класифікація БНТП та система їх позначень	25
1.2.2 Шліфування ТБНТП	29
1.3 Вплив кінематики та динаміки процесу МАО на якість БНТП	31
1.4 Висновки	37
2. Вибір типу твердосплавних пластин, розробка пристосування для їх кріплення та умови мао	39
2.1 Вибір типу твердосплавних пластин	39
2.2 Фінішні методи оброблення твердосплавних пластин	41
2.2.1 Мікроструминне оброблення	41
2.2.2 Оброблення щітками	42
2.3 Попереднє визначення умов МАО для обраних пластин	44
2.4 Розробка пристосування для кріплення пластин на установці	47

2.5	Висновки	48
3.	обладнання, пристрої та методика дослідження	49
3.1	Визначення якості поверхні	49
3.2	Визначення радіуса різальної кромки	51
3.3	Випробування на знос	53
3.4	Висновки	58
4.	результати експериментальних досліджень	59
4.1	Обробка поверхні інструменту	59
4.2	Мікрогеометрія різальної кромки.....	61
4.3	Фізико-механічні властивості оброблюваної поверхні	64
4.4	Висновки	66
5.	СТАРТАП ПРОЕКТ	67
5.1	Опис стартап-проекту.....	67
5.2	Технологічний аудит ідеї проекту.....	70
5.3	Аналіз ринкових можливостей для старт-проекту	71
5.4	Розробка ринкової стратегії проекту.....	76
5.5	Розробка маркетингової програми стартап-проекту	77
5.6	Висновки	78
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	79
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ / ПОЗНАЧЕНЬ

1. Скорочення

БНТП	багатогранні непереточувані пластини;
МОТС	мастильно-оходжуюче технологічне середовище;
МАІ	магнітно-абразивний інструмент;
МАО	магнітно-абразивне оброблення;
МАП	магнітно-абразивний порошок;
МС	механічна суміш;
ПАР	поверхнево-активна речовина;
РІ	різальний інструмент;
РК	різальна кромка;
ТП	твердосплавні пластини;
ФАП	фероабразивний порошок.
ЧПК	числове програмне керування;

2. Умовні позначення

V	швидкість обертання зразків навколо осі кільцевої ванни;
λ_c	гранична довжина хвилі встановленого фільтра
R_t	глибина профілю
R_a	середнє арифметичне значення шорсткості

ВСТУП

Якість поверхні є одним із головних параметрів які впливають на роботу деталей машин. До параметрів якості поверхні належать: шорсткість поверхні, твердість та фізико-механічні властивості поверхневого шару, тому що в більшості випадків процес руйнування виробів при експлуатації починається з поверхні.

При розробленні технологічного процесу виготовлення реальних деталей, значну увагу приділяють фінішним операціям, під час яких в значній мірі формуються необхідні параметри якості. В сучасному машинобудуванні на заключних стадіях виготовлення виробів, як правило, використовують різноманітні методи полірувально-зміцнювального оброблення з використанням фізичних, хімічних, теплових та інших методів впливу на деталі.

Одним із методів який комплексно покращує якість поверхні є магнітно-абразивне оброблення. Цей метод здатен одночасно забезпечити доцільні параметри шорсткості, мікрогеометрії, фізико-механічних властивостей поверхневих шарів деталей різної геометричної форми та з різних матеріалів.

Таке оброблення відбувається в результаті взаємного переміщення заготовки та абразивних зерен, що утримуються магнітним полем в робочому стані, формуючи особливий абразивний інструмент з керованою жорсткістю, абразивною і полірувальною здатністю.

1. АНАЛІЗ ВІДОМОСТЕЙ ПРО МАГНІТНО – АБРАЗИВНЕ ОБРОБЛЕННЯ

1.1 Загальні положення магнітно-абразивного оброблення

1.1.1 Історія розвитку технології МАО

Ідея використання енергії магнітного поля для механічної обробки деталей належить Н. І. Каргалову, який у 1938 р. запропонував спосіб обробки внутрішніх поверхонь труб абразивним порошком, що володіє феромагнітними властивостями та отримав авторське свідоцтво про спосіб полірування деталей машин із використанням енергії магнітного поля.

У 1956-1959 рр. було зареєстровано низку патентів у США, Франції та інших країнах на способи та пристрої для магнітно-абразивної обробки вільним абразивним порошком у змінному, циклічно змінному полярному магнітному полі.

Після цих подій, у 1960-1961 р.р. в СРСР дві групи дослідників під керівництвом В. А. Шальнова та В. Н. Вerezуба запропонували способи абразивної обробки в полі електромагніту на постійному струмі плоских поверхонь із немагнітного матеріалу. У 1962 р. Р. С. Шульєв запропонував обробляти в полі постійного електромагніту порошками, що володіють магнітними та абразивними властивостями, зовнішні циліндричні поверхні на деталях типу тіл обертання. Перші експериментальні дослідження магнітно-абразивної обробки було виконано у СРСР 1960—1965 гг. В. Н. Вerezубом, В. А. Шалєвим, Є. Г. Коноваловим.

Саме у роботах Є. Г. Коновалова, Г. С. Шульєва, А. М. Штейнберга, Ю. М. Барона виконаних у 1960-1970 рр. вперше отримали опис загальні теоретичні положення, фізичні основи та технологічні особливості технології МАО при обробці деталей різного типу.

З 1980-х років технологія набуває неабиякої популярності та дослідженнями в галузі магнітно-абразивної обробки починають займатися і в

інших країнах, таких як, наприклад, Японія, Болгарія та інші.

В цей час у СРСР 1980-х — початку 90-х років дослідженнями у сфері магнітно-абразивної обробки займаються переважно наукові колективи Мінська

У 1990-х роках магнітно-абразивною обробкою займаються колективи наукових підрозділів Фізико-технічного інституту НАН Білорусі, БНТУ, науково-інженерного підприємства "Полімаг" (Білорусь). В той же час було розроблено та реалізовано теоретичні та практичні завдання полірування у магнітному полі циліндричних та сферичних поверхонь виробів, що працюють переважно у вузлах тертя машин та механізмів. Пошукові дослідження показали перспективність застосування магнітно-абразивної обробки для підготовки поверхонь виробів перед операціями зварювання та нанесення покриттів.

В останні роки проводяться дослідження з магнітно-абразивної обробки поверхонь прецизійних деталей електроніки, оптики та лазерної техніки (УП "Полімаг").

Отже, технологія магнітно-абразивної обробки наразі набула розвитку в багатьох країнах світу. Дослідженнями в цій галузі займаються наукові колективи різних університетів та компаній.

1.1.2 Сутність та особливості методу МАО

Магнітно-абразивна обробка (МАО) - абразивна обробка, що здійснюється при русі заготовки та абразивних зерен відносно один одного в магнітному полі.

Сутність магнітно-абразивної обробки полягає в тому, що порошкова абразивна феромагнітна маса, ущільнена енергією магнітного поля, здійснює абразивний вплив на оброблювану деталь.

Магнітно-абразивним способом можна успішно обробляти безліч поверхонь, таких як: циліндричні зовнішні та внутрішні, плоскі, поверхні тіл обертання з криволінійною утворюючою, гвинтові та ін.

Найбільш поширеною сферою застосування магнітно-абразивної обробки є зниження шорсткості на оброблюваних поверхнях з одночасним підвищенням якісних характеристик поверхневого шару.

Особливостями МАО є зниження циклічних навантажень на технологічну систему, що сприяє підвищенню точності геометричних розмірів та форми оброблюваної поверхні через безперервний контакт абразиву з поверхнею виробу; забезпечення стабільності фізико-механічних показників якості поверхневого шару деталі через відсутність жорсткого кріплення абразивного зерна у зв'язці; усунення в зоні різання критичних тисків і температур, що збільшує стійкість зерна та сприяє мимовільному нівелюванню ріжучого інструменту щодо топографії оброблюваної поверхні; управління жорсткістю абразивного інструменту в осьовому та поздовжньому напрямках шляхом регулювання величини магнітної індукції, що дозволяє змінювати величину знімання металу з оброблюваної поверхні виробу; суміщення чорнової, чистової та фінішної обробки без зміни технологічних баз та позиціонування деталі; здійснення розмірної та безрозмірної обробки, що забезпечує знімання металу 0,002...0,5 мм за 10...120 с.

1.1.3 Класифікація існуючих схем МАО

Схеми МАО класифікують за трьома ознаками:

1) За функціональним призначенням схеми МАО поділяють на:

I — магнітне поле формує з порошкової абразивної феромагнітної маси різальний інструмент з керованою жорсткістю і створює сили різання;

II - магнітне поле формує з порошкової феромагнітної абразивної маси різальний інструмент з керованою жорсткістю, створює сили різання та задає різучому інструменту руху різання;

III - магнітне поле задає сили та рухи різання несформованій масі феромагнітного абразивного порошку;

IV - магнітне поле задає необхідні для різання рухи безпосередньо заготовці або абразивному інструменту;

V - магнітне поле в зоні обробки інтенсифікує чи покращує якісні характеристики існуючих абразивних способів обробки.

2) За формою оброблюваних поверхонь:

А - схеми обробки зовнішніх поверхонь обертання;

Б - схеми обробки внутрішніх поверхонь обертання;

В - схеми обробки площин і лінійних фасонних поверхонь;

Г - схеми обробки тривимірних фасонних поверхонь.

3) За типом використовуваного магнітного індуктора:

1 - схеми з електромагнітними індукторами постійного струму;

2 - схеми з електромагнітними індукторами змінного струму;

3 - схеми з електромагнітними індукторами трьохфазного струму;

4 – схеми з індукторами на постійних магнітах.

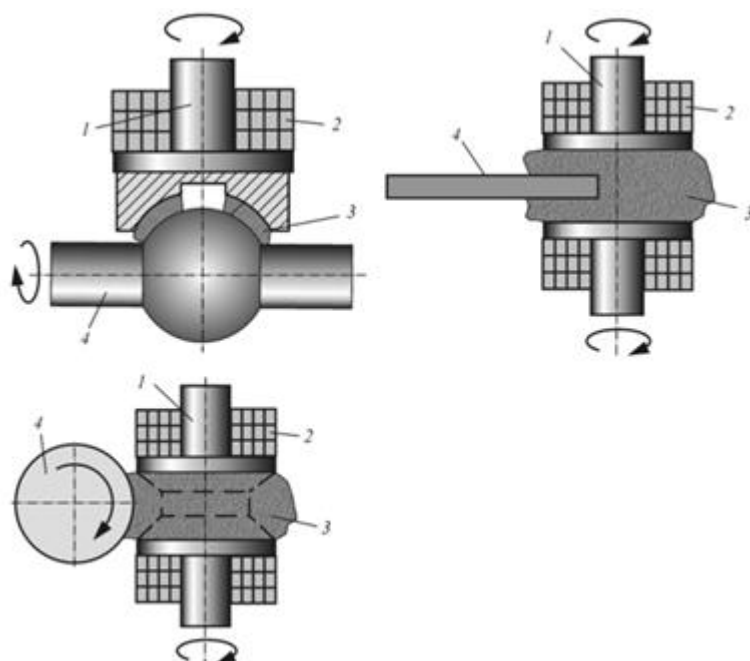


Рис.1.1.1. Схеми МАО, які застосовують для обробки різноманітних поверхонь: 1 – сердечник електромагніту; 2 – катушка електромагніту; 3 – магнітно-абразивне середовище; 4 – оброблювана заготовка.

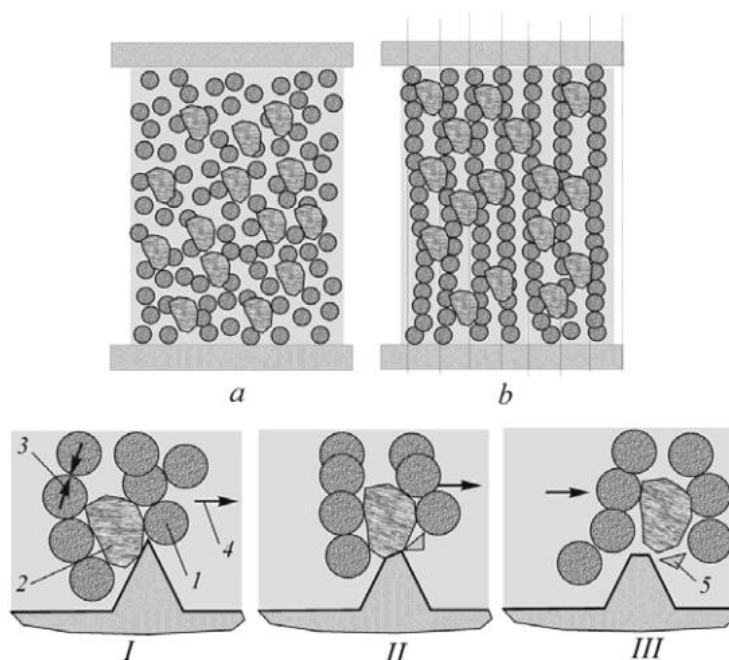


Рис.1.1.2. «Вистроювання» магнітних часточок при накладанні магнітного поля і стадії видалення нерівності при використанні магнітно-абразивних суспензій: 1 – магнітні часточки; 2 – абразивні часточки; 3 – взаємодія між частинками; 4 – напрямлення руху частинок; 5 – видалений матеріал.

Класифікація МАО представлена у таблиці 1.

Таблиця 1

По функціональному призначенню профіля	По формні оброблюваних поверхонь	По типу використовуваного магнітного індуктора
I – магнітне поле формує з порошкової феромагнітної абразивної маси різальний інструмент з керованої жорсткістю та створює сили різання II – магнітне поле формує з порошкової феромагнітної абразивної маси різальний інструмент з керованої жорсткістю, створює сили різання та повідомляє ріжучому інструменту руху різання III – магнітне поле повідомляє сили та руху різання несформованій масі феромагнітного абразивного порошку IV – магнітне поле повідомляє необхідні для різання руху безпосередньо заготівлі або абразивному інструменту	A – схеми обробки зовнішніх поверхонь обертання; Б – схеми обробки внутрішніх поверхонь обертання; В – схеми обробки площин та лінійних фасонних поверхонь;	1 – схеми з електромагнітними індукторами постійного струму 2 – схеми з електромагнітними індукторами змінного струму 3 – схеми з електромагнітними індукторами трифазного струму 4 – схеми з індукторами на постійних магнітах

V – магнітне поле у зоні обробки інтенсифікує або покращує якісні характеристики існуючих абразивних способів обробки		
Кожній схемі МАО присвоюється шифр згідно з вищевказаною класифікацією, наприклад: I-A-1.		

Принципова схема МАО, вид та дисперсність абразивного середовища призначаються в залежності від конкретних умов обробки та вимог до стану поверхневого шару, а вибір типу магнітного індуктора не настільки очевидний, оскільки кожен з них має свої переваги та недоліки (табл. 2).

Таблиця 2

	Схеми з електромагнітними індукторами постійного струму	Схеми з електромагнітними індукторами змінного струму	Схеми з електромагнітним і індукторами трьохфазного струму	Схеми з індукторами на постійних магнітах
Переваги	Можливість регулювання напруженості магнітного поля	Можливість регулювання напруженості магнітного поля	Можливість формування магнітного поля що обертається для переміщення магнітно-абразивного середовища	Стабільність магнітного поля. Немає потреби в електроживленні (енергоефективність)
Недоліки	Додаткові елементи для перетворення постійного струму в змінний	Спеціальні конструкції індукторів з демпфуючими витками для запобігання вібрацій	Складність та висока вартість реалізації схеми	необхідність у дорогих профільованих магнітах (альніко, самарійкобальтові ферити та ін). Складність видалення абразиву з поверхонь магніту

1.1.4 Магнітно-абразивні порошки, що використовуються при МАО

Дуже велику кількість матеріалів з різними фізичними та спеціальними властивостями застосовують в якості фєроабразивних порошків (ФАП). Існує декілька класифікацій ФАП. Найпоширеніша класифікація базується на структурі частинок порошку та методі їх виробництва. З цих методів можна вибрати магнітно-абразивний інструмент, який складається з механічної суміші (МС) магнітних і абразивних компонентів. В якості магнітних компонентів найчастіше використовуються звичайні порошки заліза або порошки легованого заліза, і, особливо при роботі в змінних магнітних полях, використовуються порошки магнітно-твердих сплавів (Fe-Ni-Al, Fe-Ni-Al-Co, феритів). Абразивна складова в МС може включати практично всі відомі абразивні матеріали (алмаз, ельбор, корунд, карбід кремнію, карбід інструменту) . В результаті можливо створити ФАП практично будь-якої конфігурації з потенціалом контролю загальної твердості.

Дослідження порошкових матеріалів показує, що ефект обробки значною мірою залежить від форми зерен ФАП. При МАО не тільки порошковий матеріал, але й стан різальної кромки зерен ФАП мають великий вплив на ефективність обробки.

Основними геометричними параметрами, які визначають здатність різання фєроабразивного зерна, є форма зерен, кількість вершин (різальних кромок), кути при вершинах і радіуси округлення вершин. Частинки ФАП часто не мають правильної геометрії.

. Серед них є зерна, схожі на октаєдр, трикутну трапецію, ромбічний тетраєдр, трикутну призму, сферичний багатогранник тощо. Деякі зерна також можуть бути подовженими, мечоподібними, пластинчастими та голкоподібними. Форма частинок ФАП залежить від матеріалу магнітних і абразивних складових, технології їх виробництва, зернистості і інших

факторів. Можна виділити три типові форми зерен, залежно від способу їх виготовлення: - осколкові зерна, отримані в результаті подрібнення гранульованих розплавлених матеріалів, які практично мають непористу структуру. До порошків з такою структурою можна віднести ПОЛІМАМ-Т; ФЕРОМАП; порошки на основі аморфного заліза; - округлі зерна, отримані в результаті плавлення, без подальшого подрібнення. Прикладами таких порошків є: порошок на основі Р6М5, ЦАРАМАМ, ПОЛІМАМ-М; - зерна-конгломерати, отримані шляхом запікання і подальшого подрібнення брикетів. ФАП з такою формою зерен мають незначну механічну силу зчеплення абразивної і феромагнітної складової, а також високу пористість.

До порошків з такою структурою можна вінести порошки, отримані за керметною технологією. Зерна ФАП мають різну геометричну форму. Відмінності у формі частинок порошків однакового складу або походження визначаються такими факторами, як методи їх виробництва, додаткова обробка та методи класифікації. Необхідно отримати повну інформацію про характерний розмір частинок порошку, який використовується при обробці. Це пояснюється тим, що порошкові матеріали, які використовуються в МАО, мають досить широкий діапазон складу: від 20 до 800 мікрон. Більшість фероабразивних зерен мають кілька вершин, утворених тупими кутами, які мають певний радіус скруглення. Кількість вершин на абразивних зернах, а також їх кути і радіуси округлення залежать від марки ФАП і розміру його частинок. Як правило феро-абразивні зерна, мають кілька граней, які утворюють в перетинах кути при вершинах. У більшості зерен є кілька вершин, кожна з яких характеризується певним кутом і радіусом округлення.

1.1.5 Застосування мастильно-охолоджуючих технологічних засобів при манітно-абразивному обробленні

При магнітно-абразивній обробці слід розрізняти наступні температури: локальну, контактну та загальну сталу. Основними факторами, що впливають на потужність теплового джерела являються сили різання.

Ці сили визначаються інтенсивністю деформації і тертям при контакті поверхонь ферабразивної щітки з деталлю в локальній зоні. Один із шляхів зменшення теплової напруженості, що веде до мінімізації дефектів процесу МАО, являється застосування мастильно-охолоджуючих технологічних засобів. (МОТС). Їх дія відображається за наступними напрямками:

1. МОТС впливають на зміну сил різання.
2. МОТС здатні істотно змінювати інтенсивність затуплення зерен.
3. МОТС при МАО сталей і сплавів впливають на інтенсивність теплоутворення, розподіл тепла та на температуру в зоні контакту.

1.1.6 Фізико-хімічні явища при МАО

Якщо при фінішних методах обробки істотна роль у досягненні кінцевих результатів належить обробному матеріалу, який безпосередньо контактує з оброблюваною поверхнею і формує її властивості, то при МАО важливу роль займає ріжучий інструмент, оскільки його феромагнітними властивостями значною мірою визначаються нормальні сили впливу на оброблювану поверхню:

$$\overline{F_H} = \frac{1}{\mu_0} V B \Delta \overline{B}, \quad (1.1.1)$$

де F_H - пондеромоторна сила, з якою абразивне зерно впливає на оброблювану поверхню;

μ_0 – магнітна стала, яка дорівнює 1,256 мкГн/м;

V – об'єм феромагнітної частини;

B – величина магнітної індукції в частинках;

ΔB – градієнт (питомий приріст) магнітної індукції.

Величина F_n становить для феромагнітних абразивних гранул (1,0... 1,2) 10-3 Н і залежить від розмірів та форми зерен, а також від їх становища у робочій зоні (1.2.1). Ці умови забезпечують власну глибину подряпин-рисок на поверхні МАО, що формується, величиною 0,18...0,5 мкм. Для порівняння: при шліфуванні одиничним зерном нормального електрокорунду класу зернистості 125...80 мкм глибині шліфування 10...40 мкм відповідають нормальні сили в межах 2,75...11,8 Н.

Абразивні частки електрокорунду класу 40...28 мкм, що застосовуються при МАО мають радіус округлення вершин не більше 6... 12 мкм. Доведено, що у умовах МАО макрорізання такими частками неможливо. В цьому випадку процес зняття стружки визначається мікрогеометричними характеристиками абразивних частинок, а чи не їх макрогеометрією.

Диспергування та пластичне деформування поверхневого шару при абразивній обробці посилюється хімічними та адсорбційними процесами, що відбуваються на поверхні деталі у присутності хімічних чи поверхнево-активних речовин.

Процес мікрорізання при МАО супроводжується руйнуванням і видаленням хімічних плівок, що безперервно утворюються на оброблюваній поверхні, переважно оксидних, міцність яких нижче міцності основного металу. Крім того, у зоні обробки має місце явище окрихчування приповерхневого шару. Воно викликане перенаклепом металу в мікрооб'ємах у процесі утворення мікроподряпин - слідів мікрорізання. Під дією сил різання, тертя і адгезії в цих мікрооб'ємах металу створюються напруги, що розтягують, і розвиваються мікротріщини, створюються сприятливі умови для міграції у них активних молекул. Ювенільний стан поверхні металу після зрізу

і наявність мікротріщин у приповерхневому шарі при порівняно невеликих швидкостях здійснення процесу фінішної обробки сприяють розвитку адсорбуючого ефекту - зниженню міцності металу у присутності поверхнево-активних речовин-компонентів МОТС. Дія адсорбції проявляється в тому, що ПАР знижує поверхневу енергію металу, сприяє зародженню пластичних зрушень та розвитку дефектів структури твердого тіла, що безперервно розвиваються в процесі пружної та пластичної деформації.

Встановлено, що процес МАО при контакті двох матеріалів, зерна ферабразивного порошку та деталі, що різко відрізняються за твердістю, абсорбційно-пластифікований шар зосереджується у м'якшому матеріалі деталі. Отже, застосування МОТС з активними компонентами дозволяє керувати граничними умовами, акцентуючи зсувні деформації в тонкому шарі металу, що видаляється без їх проникнення вглиб оброблюваного виробу. В результаті крихкування тонкого поверхневого шару знижуються витрати енергії на пластичне деформування та диспергування металу в процесі обробки.

Збільшенню пластичності поверхневого шару та інтенсифікації знімання металу при МАО сталей сприяють також прояви магнетопластичного та електропластичного ефектів. Для протікання обох процесів створюються необхідні умови: під час механічного та магнітного впливу зерен порошку на оброблювану поверхню матеріал деталі зазнає циклічне перемагнічування з циклічними переміщеннями доменних стінок, що сприяють руху дислокацій і тем самим здійсненням елементарних пластичних зрушень. При переміщенні оброблюваної деталі в магнітному полі в ній індукуються електричні струми, які також ініціюють переміщення дислокацій, які мають власний електричний заряд. Очевидно, що ці процеси накачування енергії в поверхневий шар видаляється металу підсилюють викликані змінним магнітним полем магнітострикційні циклічні деформації. Крім цього, інтенсифікації процесу знімання металу при МАО сприяють електрохімічні явища, викликані

циклічною появою та взаємодією електричних зарядів на поверхні, що переміщається в магнітному полі оброблюваної деталі.

Сукупність фізико-хімічних явищ, викликаних особливостями здійснення процесу МАО, сприяє інтенсифікації процесів диспергування поверхневого шару металу та полірування поверхні деталі.

1.2 Твердосплавні багатогранні непереточувані пластини

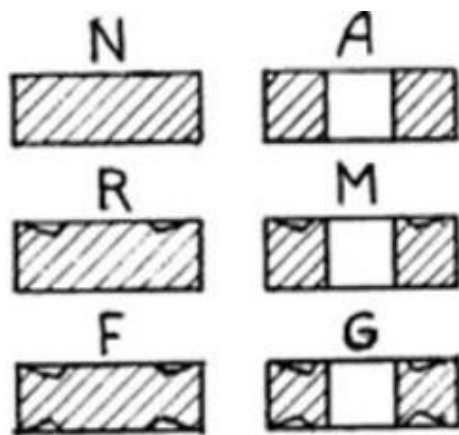
Тверді сплави, різальна кераміка та надтверді інструментальні матеріали є основними матеріалами, що використовуються для оснащення різальної частини інструментів в автоматизованому виробництві, у тому числі на верстатах з ЧПУ та ГПС. На універсальному обладнанні в даний час широко використовуються різці з робочою частиною напою, або повністю виготовлені з інструментального матеріалу. Для автоматизованого обладнання застосування напайного інструменту нерационально через великі втрати часу з його заміни.

Новий підхід, характерний для організації інструментального забезпечення сучасного металообробного обладнання, полягає у застосуванні багатогранних непереточуваних пластин, що механічно закріплюються на корпусах різальних інструментів. Створення БНТП дозволило зробити якісний стрибок у розвитку інструменту. По-перше, інструменти з механічним кріпленням БНТП не вимагають заточування, так як геометрія інструменту забезпечується формою пластинки та її відповідною установкою в корпусі, а після затуплення пластина повертається новою ріжучою кромкою. Виключення переточування зменшує час заміни інструменту, підвищує якість інструменту, оскільки зменшується можливість появи тріщин. По-друге, з'являється можливість багаторазового використання державки інструменту, що дозволяє підвищити якість та точність виготовлення державок, застосовувати термообробку, антикорозійні та декоративні покриття, удосконалювати конструкції державок та корпусів. По-третє, відсутність паяння виключає можливість появи напруги і мікротріщин, що підвищує термін служби пластин. Також, скорочуються втрати вольфраму, танталу, титану та кобальту за рахунок вторинного використання твердосплавних пластин. З'являється можливість ефективного застосування для інструментів різальних матеріалів, які погано піддаються пайці (тверді безвольфрамові сплави і різальна кераміка).

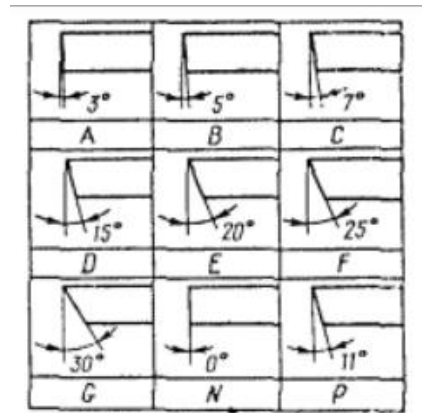
1.2.1 Класифікація БНТП та система їх позначень

Багатогранні твердосплавні пластини поділяються на ріжучі, опорні та стружколоми.

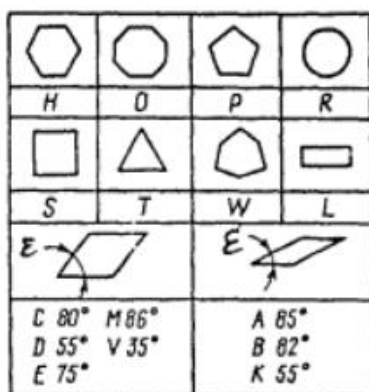
Перша група безпосередньо бере участь у процесі різання матеріалу, що обробляється, друга служить опорою для пластин першої групи, забезпечує їх більш точне базування і збільшує загальний термін служби державки. Стружколоми дозволяють подрібнювати стружку, коли це неможливо зробити іншими способами.



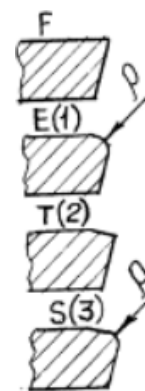
а)



б)



в)



г)

Рис.1.2.1 Багатогранні непереточувані пластини: а - тип пластин; б - значення заднього кута; в-форма пластин; г - види різальної кромки

Різальні пластини розрізняють по конструкції, точності виготовлення та розмірами. За першою ознакою розрізняють тип пластини, форму, вид різальної кромки. Основні типи пластин показано на рис. 1.2.1 а. Вони поділяються за такими конструктивними ознаками:

- за кількістю робочих граней - односторонні (R, M) та двосторонні (N, A, F, G);
- за формою передньої поверхні - з плоскою гранню (N, A) та стружколомаючими канавками (R, M, F, G);
- по наявності отвору - без отвору (M, R, F) та з отвором (A, M, G);
- за наявності заднього кута - пластини із заднім кутом, рівним нулю (N), та з кутом більше нуля (рис. 1.2.1 б).

За формою (рис. 1.2.1 в) пластини поділяються на рівносторонні та рівнокутні (H, P, O, R, S, T); рівносторонні та нерівнокутні (C, D, E, M, V, W); нерівносторонні та нерівнокутні (A, B, K, F). Кожному літерному позначенню відповідає кут при вершині. (Табл. 3).

Таблиця 3

Позначення пластин	A	B	C	D	E	F	K	M	V	W
Значення кута при вершині, °	85	82	80	55	75	84	55	86	35	80

По виду різальної кромки (рис. 1.2.1 г) пластини діляться на гострі F, заокруглені E, з фаскою T, з фаскою і заокруглені S. Після літери вказують радіус у сотих частках міліметра.

Пластини класифікують за розмірами: довжина різальної кромки; товщина пластини; радіус при вершині. Для кожної форми пластин встановлена довжина різальної кромки, що визначається теоретично без урахування заокруглення вершини. Для пластин форми T встановлені такі розміри (мм): 11; 16,5; 22; 27,5 для пластин форми S -9,525; 12,7; 15,875 і т.д. Регламентовані: товщина пластини (3,18; 4,76; 6,35; 7,93), радіус при вершині (0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4). Встановлено п'ять класів точності виготовлення пластин: C, E, G, M, U (Табл. 4).

Таблиця 4

Розміри пластин	Клас точності			
C	E	G	M	U
m	0,013	0,025	0,08...0,180	0,13...0,38
S	0,025	0,130		
d	0,025	0,05...0,130	0,08...0,250	

Розрізняють три типи пластин у напрямку різання: R - тільки правого; Z – тільки лівого; N - правого та лівого.

Для позначення БНТП застосовують 13-розрядний індекс, причому 10 розрядів є обов'язковими (рис. 1.2.2). Перші чотири розряди позначають: 1 – форму; 2 – задній кут; 3 – точність пластин; 4 – тип. Далі через дефіс слідує шість цифрових розрядів: довжина різальної кромки (5,6); товщина пластини (7,8); радіус при вершині (9,10). Розміри вказують у міліметрах, дрібна частина при цьому опускається. Якщо розмір виражається однією цифрою, то

старшому розряду ставиться нуль. При позначенні радіуса при вершині вказується число десятих часток міліметра. 11-й розряд вказує вид різальної кромки; 12-й - напрямок різання; 13-й – позначення заводу-виробника. Наприклад, квадратна пластина із заднім кутом $\alpha=50$ класу точності G без отвору та стружколомаючих канавок, що має розміри $l=12,7$; $S=4,6$; $r=0.4$, гострі ріжучі кромки, правого та лівого напрямку різання, позначається у буквеному коді: SBCN - 120404 FN (рис. 1.2.2). Опорні пластини позначаються буквою O, стружколоми – буквою C (OSN – чотиригранна опорна пластина без заднього кута; СТ – трикутний стружколом).

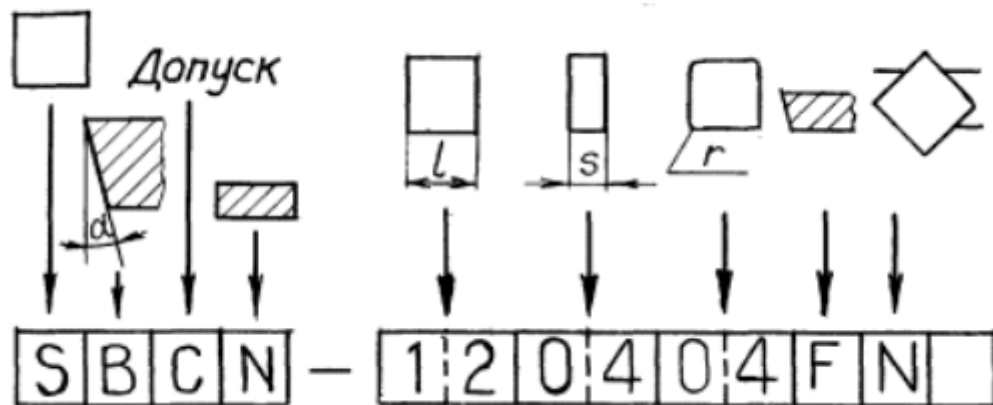


Рис.1.2.2. Позначення різальних пластин

Удосконалення конструкцій БНТП йде у трьох напрямках: підвищення точності їх лінійних розмірів, забезпечення надійного ламання та завивання стружки у широкому діапазоні режимів різання, розширення діапазону можливих технологічних операцій.

В таблиці 5 наведено позначення пластин відповідно до їх форми, діаметру, площі, довжини, радіусу та кута при вершині.

Таблиця 5

Обозначение	Форма пластины	D , мм	$S_{\text{тор}}$, мм	L , мм	R , мм	α , град
RNMN RBMN RCMN RPMN		4,76 5,56 6,35 7,00 9,52 12,70 15,80 19,05 25,40	2,38 3,18 3,18 3,97; 7,97 4,76 7,97 5,56	—	—	0 5 7 11
SNMN SBMN SCMN SPMN		3,97 4,76 5,56 6,35 7,00 9,52 12,70 15,80	2,38 3,18 3,18 3,18; 3,97 4,76 5,56	$L = D$	0,4 0,8 1,2 1,6 0,4–3,6	0 5 7 11
TNMN TBMN TCMN TPMN		3,97 4,76 5,56 6,35	2,38 3,18	6,88 8,24 9,23 11,00	0,4 0,8 1,2 1,6	0 5 7 11
CNMN CBMN CCMN CPMN		3,97 4,76 5,56 6,35 7,00	2,38 3,18	4,03 4,83 5,64 6,44 8,13	0,4 0,8 1,2 1,6	0 5 7 11
RBMH RCMH RPMH		4,76 5,56 6,35 7,00 9,52 12,70	3,18 3,97	—	—	5 7 11

1.2.2 Шліфування ТБНТП

Багатогранні пластини, що не переточуються, виготовляють нормальної точності і прецизійні. Биття головних різальних кромки у фрез з шістьма-, п'ятьма - і чотиригранними пластинками на двох суміжних зубцях повинно бути не більше 0,12 мм, а на всій фрезі - не більше 0,2 мм, торцеве биття допускається не більше 0,2 мм. Граничне відхилення положення зачисних фасок щодо бічних поверхонь пластин підвищеної точності $\pm 0,01$ та

прецизійних пластин $\pm 0,003$ мм. Багатогранні платівки з биття головних різальних кромок сортують за групами.

По площині пластини піддаються доведенню або шліфуванню. Доведення виконують на дисковому довідковому напівавтоматі ЗБ816І круглими чавунними притирами з абразивною або алмазною суспензією. Однак, більш продуктивною є обробка пластин шліфуванням. Широко застосовують при шліфуванні твердосплавних пластин верстат 33731 з прямокутним столом та вертикальним шпинделем, що працює за принципом електрохімічного шліфування.

Для алмазного шліфування багатогранних твердосплавних непереточуваних пластин випускають спеціальні автоматизовані верстати.

1.3 Вплив кінематики та динаміки процесу МАО на якість БНТП

Існують експериментальні дослідження, виконані на верстатах трьох типів, на яких забезпечується різна кінематика та динаміка процесу переміщення оброблюваних деталей робочих зонах при обробці:

- на магнітно-абразивному роторному верстаті МАРС-4 з вертикальним розташуванням шпинделів, у яких на оправках закріплюють БНТП (рис. 1.3.1), які здійснюють повільне рух уздовж робочої зони і обертаються з великою швидкістю навколо своєї осі;

- на установці типу кільцева ванна з шестишпиндельним. модулем, який забезпечує зміну співвідношення лінійної швидкості руху вздовж кільцевої ванни до лінійної швидкості руху вздовж осі деталей у діапазоні від 1:20 до 1:2. Для пластин доцільно використати співвідношення 1:10 (рис. 1.3.2);

- на експериментальній установці, аналогічній кільцевій ванні зі спеціально розробленою технологічною налагодкою, що забезпечує: можливість позиціонування та подальшого переміщення оброблюваних виробів під різними кутами в кільцевій робочій зони; можливість обертання деталей навколо осі оправок, що використовуються для кріплення БНТП; у різних напрямках з регульованою кутовою швидкістю; можливість керованого обертання головки верстата з технологічним налагодженням навколо осі кільцева ванна. Ця установка є розвитком і удосконаленням схеми роторної обробки, реалізованої в попередні два випадки (рис. 1.3.3).



Рис. 1.3.1. Робоча зона станку МАРС

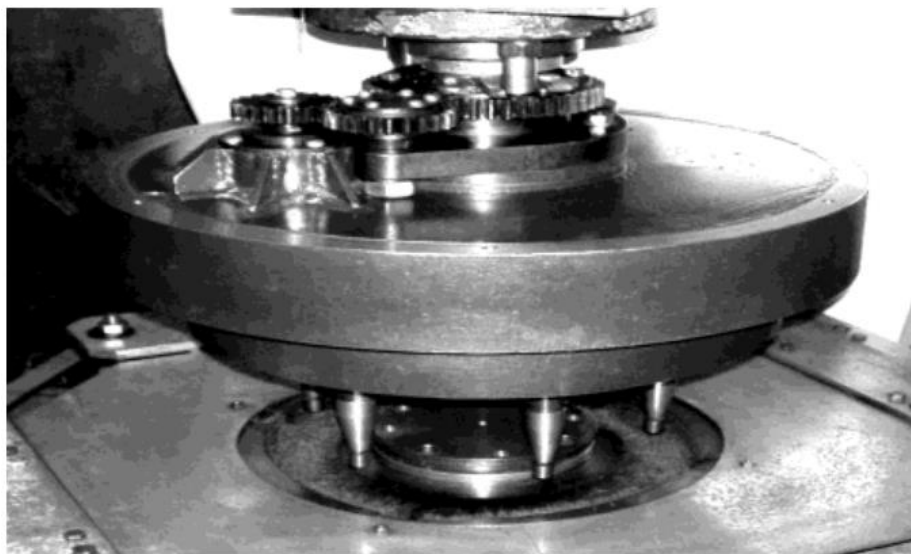


Рис. 1.3.2. Шестишпиндельний робочий модуль установки типу кільцева
ванна з вертикальним розташуванням оправок з БНТП

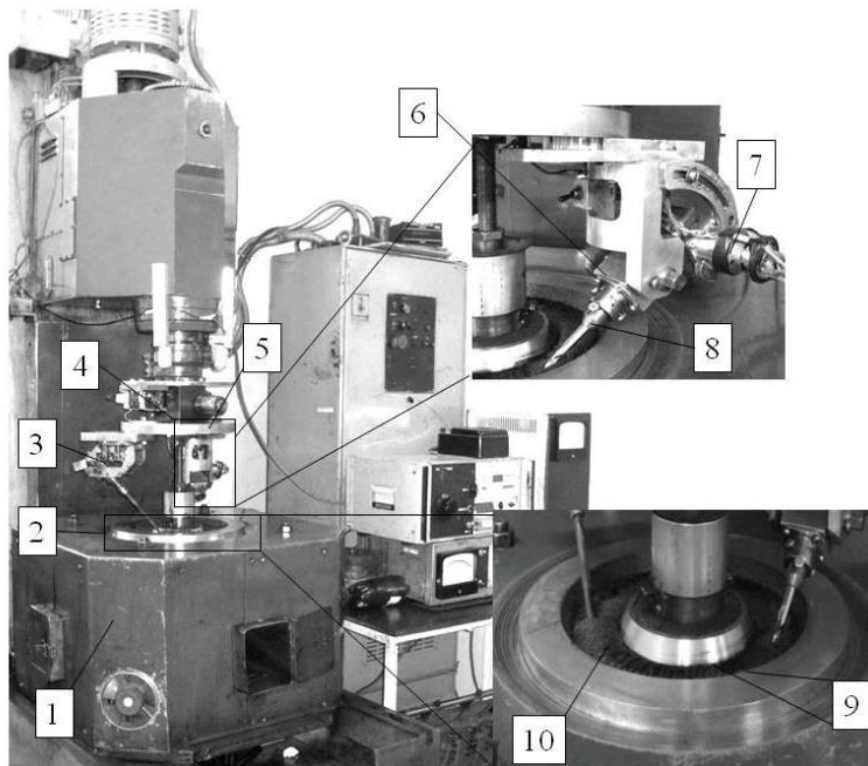


Рис.1.3.3. Експериментальний стенд для МАО з кільцевим розташування робочої зони: 1 – магнітна система; 2 – кільцева робоча зона; 3 – другий змінний шпиндель; 4 – універсальна головка; 5 – базова плита; 6 – пристрій з мінішпинделем; 7 – двигун постійного току; 8 – оправка з деталлю; 9 – полюсний наконечник; 10 – магнітно-абразивний інструмент.

Дослідження проводили на чотиригранних пластинах типу CNMG 120412, SNMG 12040822 та SNUM 120408, виготовлених з двох та трьохкарбідних твердих сплавів типу T15K6 та TT10K8 фірмами KENAMETAL, MITSUBISHI та BAT «Кіровоградський завод твердих сплавів». У вихідному стані шорсткість робочих поверхонь необроблених пластин фірм KENAMETAL та MITSUBISHI становила 0,7 - 0,9 мкм, радіуси округлення різальних кромek (РК) склали 30 - 38 мкм, на них не було мікросколів. Шорсткість робочих поверхонь кіровоградських пластин становила 0,8 – 0,9 мкм, опорної поверхні – 0,33 – 0,35 мкм, радіус заокруглення РК 35 – 45 мкм, на окремих пластинах присутні мікросколи та неправильна форма радіусу.

Перша група пластин оброблялася на роторному верстаті МАРС-4 за швидкості обертання вертикально розташованих шпинделів із закріпленими у них на оправках БНТП (рис. 1.3.1) 2,8 м/с і швидкості переміщення деталей, що обертаються через робочу зону верстата 0,006 м/с. Час МАО складав 120 с. Обробку виконували з реверсивним обертанням. Розмір магнітної індукції у робочих зонах (без МАП) становила 0,28 Тл. Для обробки використовували порошок Ферромап з розміром зерен 200/100 мкм і додаванням 5% алмазної пасти АСМ 3/2 мкм.

Друга група пластин оброблялася на установці типу кільцева ванна з шестишпиндельним модулем. МАО виконували порошком Ферромап з розміром зерен 630/400 мкм та 200/100 мкм з додаванням 5% алмазної пасти АСМ 3/2 мкм при величині магнітної індукції 0,3 Тл, швидкості обробки 2 та 3 м/с, час обробки 120 с. З них 60 с обробка виконувалась при обертанні шпиндельного модуля за годинниковою стрілкою та 60 с – проти годинникової стрілки.

Третя група пластин оброблялася на експериментальній магнітно-абразивній установці типу кільцева ванна при швидкості МАО, яка варіювалася в діапазоні 2 – 2,5 м/с, час обробки становив 120 і 360 с з реверсивним обертанням, магнітна індукція у робочій зоні 0,25 Тл. Кут нахилу оправок, на яких встановлювали БНТП щодо осі кільцевої ванни змінювався в діапазоні від 0 ° до 45 °. Обертання оправки навколо власної осі здійснювалося при кутових швидкостях 200, 500 та 600 об/хв. Причому напрямки обертання або збігалися, або були протилежними напрямку обертання навколо осі кільцевої ванни.

Досліджували вплив кутів базування БНТП у робочих зонах, режимів МАО на зміну величини шорсткості на задній, передній та опорних поверхнях,

характер зміни величини радіусів округлення РК при вершині та на гранях пластин, характер зміни величини опорної поверхні мікропрофілю.

На першому етапі дослідження виконано порівняння кінематики процесу МАО, що реалізується на різних верстатах при вертикальному розташуванні шпиндельних оправок з встановленими у них БНТП, виготовлених кіровоградським заводом твердих металів. Встановлено, що величина R_a як на задній, так і на передній поверхні пластин за час обробки 120 с реверсом обертання досягає величини 0,6 – 0,63 мкм на передній та задній поверхні і практично не залежить від складу застосовуваного порошкового МАІ. При цьому слід зазначити, що при обробці на верстаті МАРС отримано найгірші результати. Шорсткість опорних поверхонь після МАО досягла величини 02 - 022 мкм. Залежність зміни величини опорної поверхні від відносної висоти мікронерівностей необроблених і оброблених БНТП різних установках представлено на рис. 1.3.4.

Така низька ефективність МАО пояснюється вихідною якістю пластин. Аналіз зміни величини опорної поверхні мікропрофілю в залежності від величини рівня мікронерівності (рис. 1.3.4.) показав, що при МАО на верстаті МАРС має місце деяке зниження висоти мікровиступів в області вершин на передній поверхні МНТП, що може бути пояснено переважанням при обробці тангенційних складових сил різання при МАО та дуже незначними нормальними складовими сил. На задній поверхні переважно обробляється зона у вершин пластини, що пов'язано з особливостями кінематики процесу МАО, тобто проявляється нерівномірне оброблення деталей.

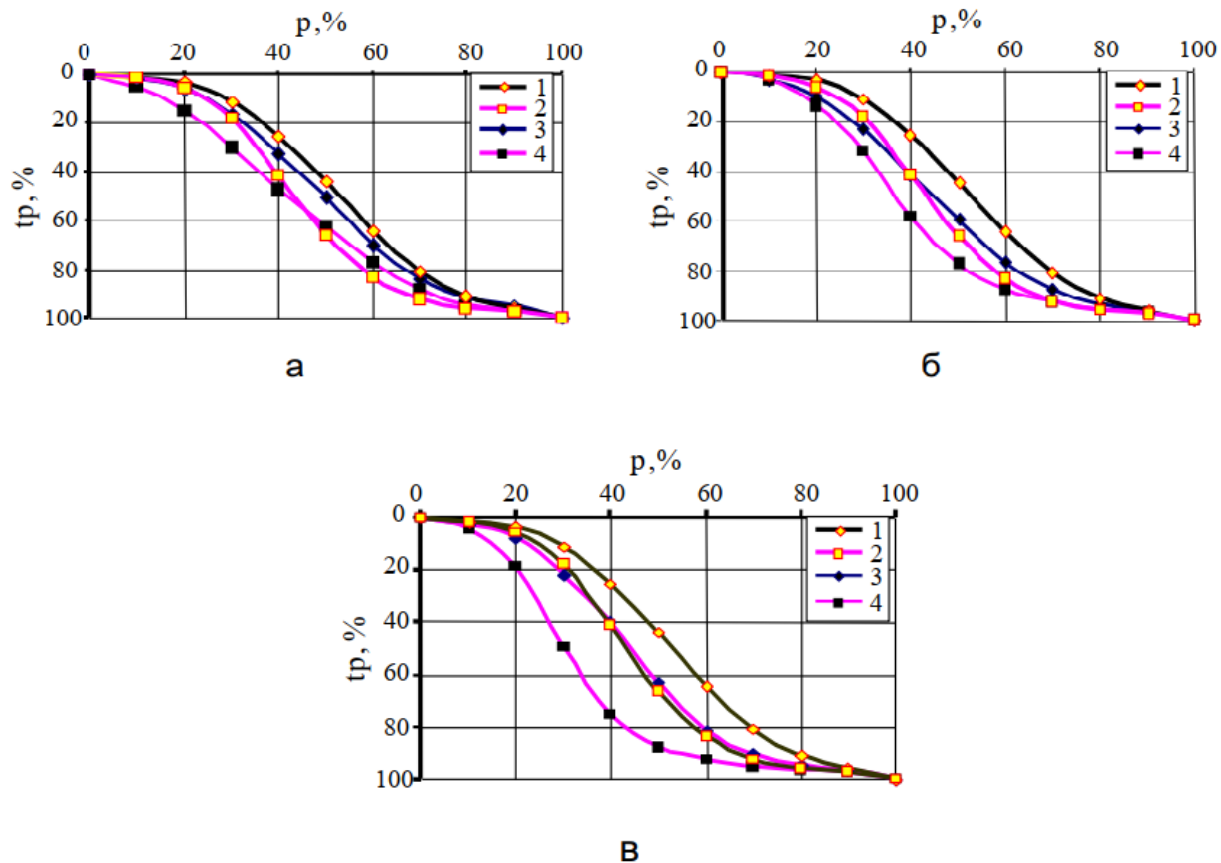


Рис. 1.3.4. Залежності зміни величини опорної поверхні від відносної висоти мікронерівностей необроблених – 1, 2 і оброблених – 3, 4, на задній – 1,3 і на передній поверхнях – 2,4 БНТП;

а – після МАО на установці МАРС; б – на шестишпиндельній установці; в – на експериментальній установці.

1.4 Висновки

У першому розділі було розглянуто сутність та особливості методу МАО, наведено класифікацію його схем. Наведено порошки, які використовуються при МАО, а також описано сутність застосування мастильно-охолоджуючих технологічних засобів при магнітно – абразивному обробленні.

1. На результати шорсткості значний вплив чинять параметри МАО, а саме: величина робочого зазору, частота обертання та величина подачі.
2. На механічні властивості поверхні чинить вплив багато чинників, а саме: розмір і форма частинок МАП, швидкість обробки, наявність чи відсутність МОР, час обробки.

Детально ознайомлено з поняттям твердосплавних багатогранних непереточуваних пластин, розглянуто їх класифікацію, а також, розібрано систему їм позначень.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження впливу умов МАО на властивості обраних твердосплавних пластин, а саме робочих зубів з черв'ячної фрези.

Для досягнення поставленої задачі необхідно виконати наступні завдання:

1. Провести аналіз існуючих методів дослідження впливу МАО на твердосплавні пластини.
2. Вибрати та обґрунтувати тип досліджуваних твердосплавних пластин для МАО.
3. Визначити існуючі фінішні методи оброблення твердосплавних пластин

4. Проаналізувати умови оброблення твердосплавних пластин, які будуть використовуватись, та виділити задачі, які це оброблення вирішує.
5. Попередньо визначити умови МАО для обраних пластин.
6. Розробити пристосування для кріплення пластин на установці.
7. Провести дослідження на вихідних зразках та дослідити умови МАО.
8. Розробити рекомендації щодо використання МАО за схемою «кільцева ванна» для досліджуваних твердосплавних пластин.

Об'єкт дослідження – твердосплавні пластини в умовах магнітно-абразивного оброблення за схемою «кільцева ванна».

Предмет дослідження – характеристика впливу МАО на ТП.

2. ВИБІР ТИПУ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ПЛАСТИН, РОЗРОБКА ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЇХ КРІПЛЕННЯ ТА УМОВИ МАО

2.1 Вибір типу твердосплавних пластин

Для випробувань та досліджень буде використовуватись робочий зуб з черв'ячної фрези. Зуб складається з бокових граней та самої вершини цього зуба.

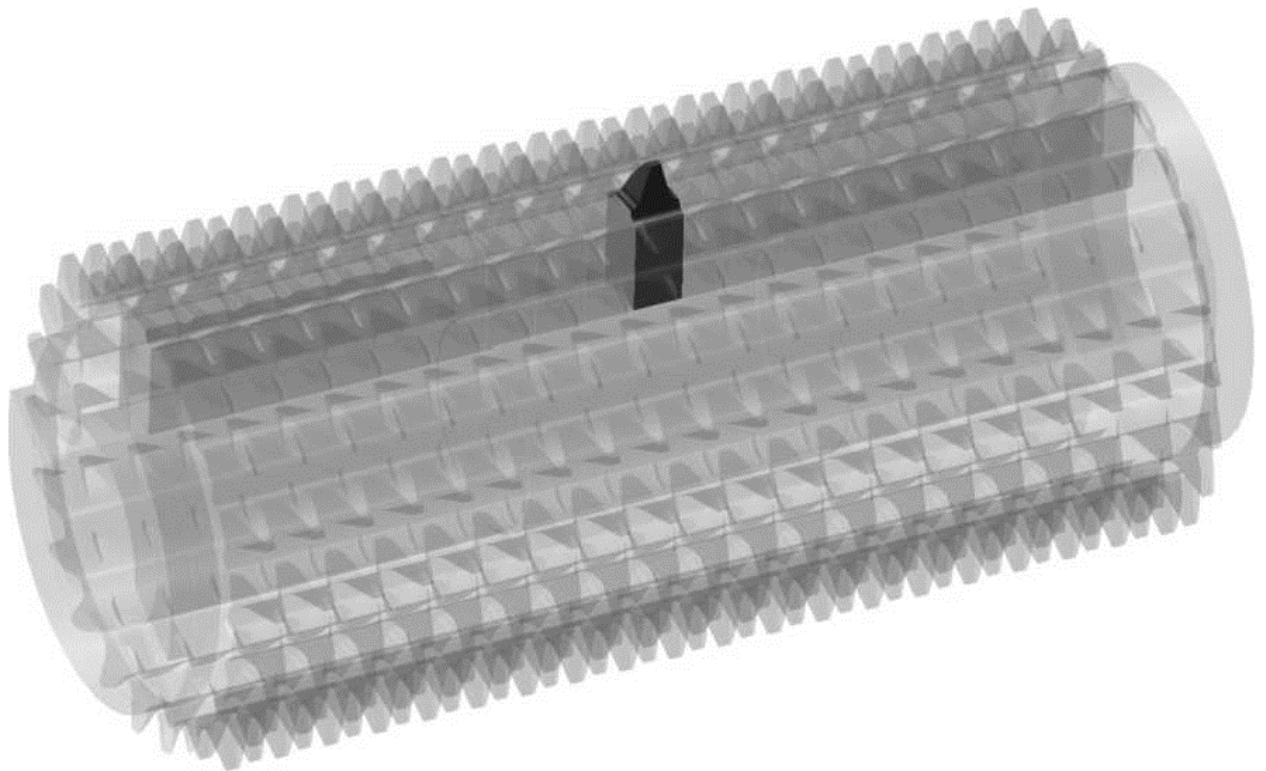


Рис. 2.1.1. Розташування робочого зуба на черв'ячній фрезі

Сама фреза була виготовлена з твердого сплаву марки HB30F (табл. 6).
Всі робочі зубці були покриті високоефективним шаром AlCrN. Відповідні геометричні розміри використовуваних зубців наведені в таблиці 7.

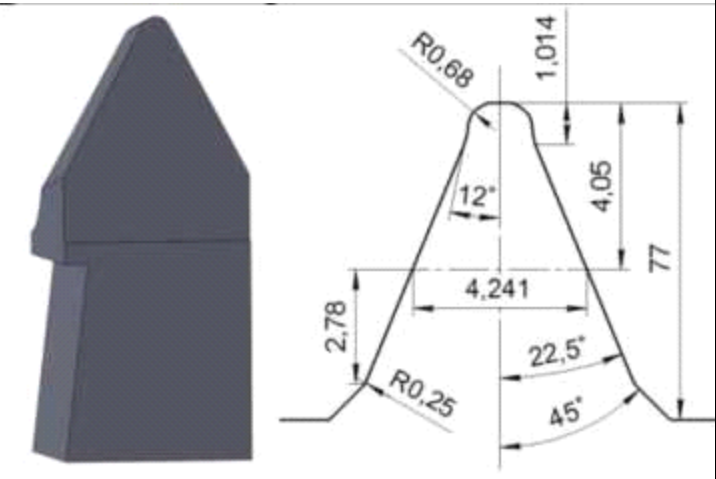
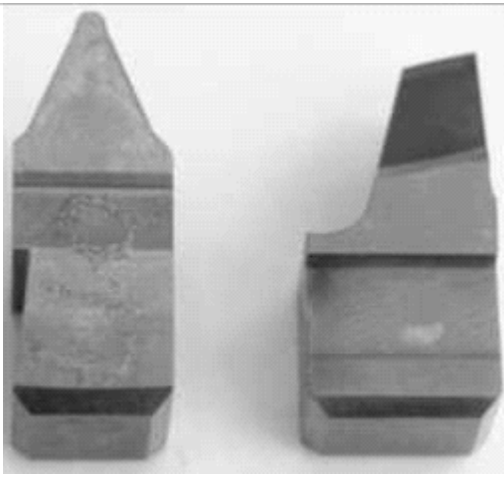
Таблиця 6

Хімічний склад інструменту

Марка твердого сплаву	Область застосування	Хімічний склад, %	
		WC	Co
HB30F	Виготовлення інструментів	90	10

Таблиця 7

Геометричні розміри зуба

Тип	HB30F
Модуль m , мм	2,7
Кут профілю αz , °	22,5
Діаметр фрези d_{wz} , мм	100
Кількість передач z_0	2
Кількість зубців	22
Покриття	AlCrN
	

2.2 Фінішні методи оброблення твердосплавних пластин

В сучасному виробництві широко застосовуються такі методи фінішної обробки інструменту, як струминні, у вільному абразиві, обробка щітками та інші.

Потенціал продуктивності відрізних твердосплавних пластин залежить не лише від технології їх виготовлення, але і від наступних етапів виробництва, таких як покриття та підготовка різальної кромки. Щоб зменшити вплив від механічного та термічного навантаження під час різання, наносять покриття, яке збалансовує це навантаження. Твердий шар матеріалу захищає поверхню пластини від інтенсивного зносу. Адгезія шару залежить від характеру поверхні. З метою підвищення адгезії шару в сучасному виробничому процесі застосовують такі додаткові процеси механічної підготовки, як мікроструминне оброблення, чистка, шліфування та магнітноабразивне оброблення.

2.2.1 Мікроструминне оброблення

Мікроструминне оброблення твердими речовинами протягом багатьох років було одним із методів очищення поверхні та підготовки країв. В інструментальному виробництві цей процес дуже цікавий.

При такому методі потоково-механічного оброблення використовуються піскоструйні середовища, такі як скло, корунд (Al_2O_3), карбід кремнію, тощо. Потік за допомогою стисненого повітря з високою швидкістю направляється на поверхню заготовки, що обробляється. Завдяки своїй гнучкості метод має широкий спектр застосування в інструментальному виробництві. Залежно від кута подачі, властивостей піскоструйного середовища (твердість, зернистість, форма зерна) і швидкості оброблення може бути або ефект зміцнення крайової поверхні, або видалення матеріалу з поверхні. Використання сталевих або скляних кульок у мікроструминному обробленні, призводить до усунення залишкової напруги на розтяг в крайовій

зоні поверхні. Крім того, на поверхні що обробляється, може виникати залишкова напруга від стиску в діапазоні $\sigma = 650 \div -1200$ МПа.

Окрім позитивного впливу мікроструминної обробки на стан поверхні, як наприклад видалення оксидного шару, видалення іржі, знежирення, видалення задирок, цей процес також має недоліки. Вони полягають у тому, що рівномірна обробка всіх поверхонь фактично неможлива. Це особливо важливо при роботі з пластинами зі складною геометрією. Існує також велика імовірність пошкодження оброблюваної поверхні через неправильне керування процесом (наприклад, невелика відстань від поверхні заготовки або надмірний відцентровий тиск). Це призводить до неконтрольованого створення мікротріщин.

2.2.2 Оброблення щітками

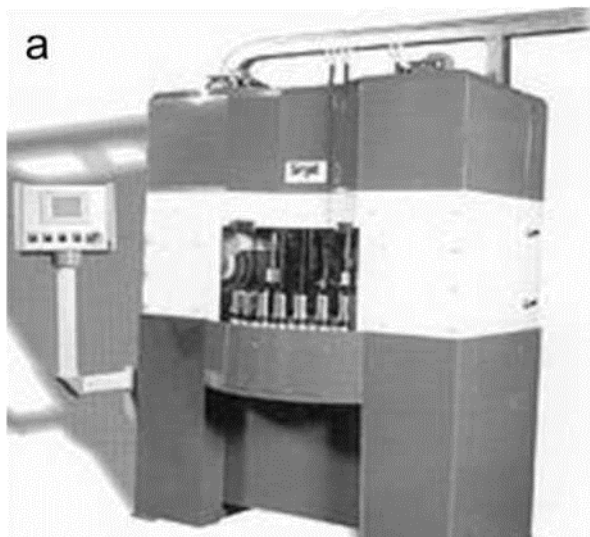
Процес оброблення щітками це процес фінішної обробки, який використовується для підготовки країв пластини. Найчастіше для таких щіток використовують нитки з нейлону або натурального ворсу. Такі щітки, контактуючи з ріжучою кромкою пластини, видаляють зайвий матеріал з поверхні. В якості абразивних середовищ використовують пасту або гелі на основі корунду, алмазу або карбіду кремнію. За типом ці щітки можуть бути різноманітні, від чашоподібних до периферичних.

Фактори, які найбільше впливають на якість оброблення поверхні це: час обробки, положення щітки, швидкість, кут чищення та тип використовуваного абразиву.

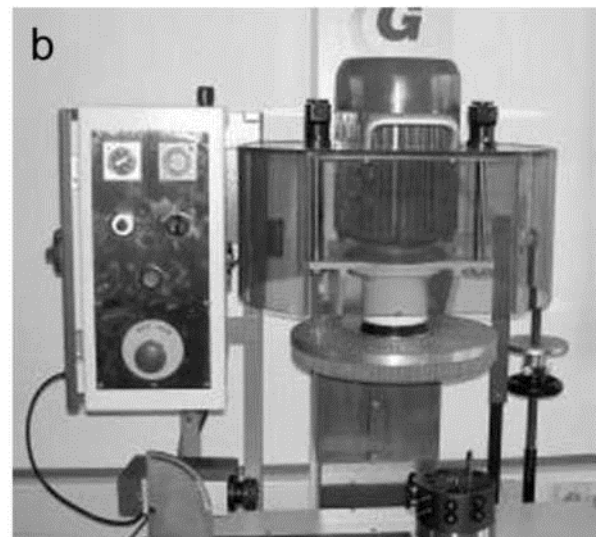
Оброблення щіткою добре зарекомендувало себе для створення заокруглених різальних кромки $R > 20$ μm . Одним з основних недоліків оброблення щіткою є її швидкий знос, який при цьому важко контролювати.

Найчастіше для оброблення кромки щітками використовують спеціальні розроблені для цього щіткові машини (рис.2.2.1). Наприклад щітку згладити крії різальної кромки можна за допомогою машини OSBORN International

GmbH. 28 точно регульованих тримачів заготовок розташовані на поворотному столі, вбудованому в машину. Різальна пластина розміщується на перехідній частині тримача. Машина автоматично вимірює діаметр щітки, щоб компенсувати зношення щітки, шляхом такого автоматичного регулювання. В кожній щітці є індивідуальний привід від встановлених валів, тому стає можливим одночасно контролювати різні швидкості або положення щіток.



OSBORN International GmbH



MAW Werkzeugmaschinen

Рис. 2.2.1. Приклади сучасних щіткових машин для оброблення різальної кромки (а – щіткова машина для закруглення кромки типу EX-28; б – універсальна щіткова машина типу BP - Smart)

2.3 Попереднє визначення умов МАО для обраних пластин

При виборі параметрів оброблення було важливо, щоб шар твердого матеріалу не видалявся занадто сильно. В іншому випадку МАО призвело б до повного видалення покриття.

Принцип МАО наведено на рис. 2.3.1 В процесі використовуються вільні феромагнітні зерна, які розташовані в робочому зазорі, утвореному між магнітними полюсами та заготовкою. Частіше використовують електромагніти, оскільки постійні магніти неможливо регулювати та вони мають обмежену напруженість поля.

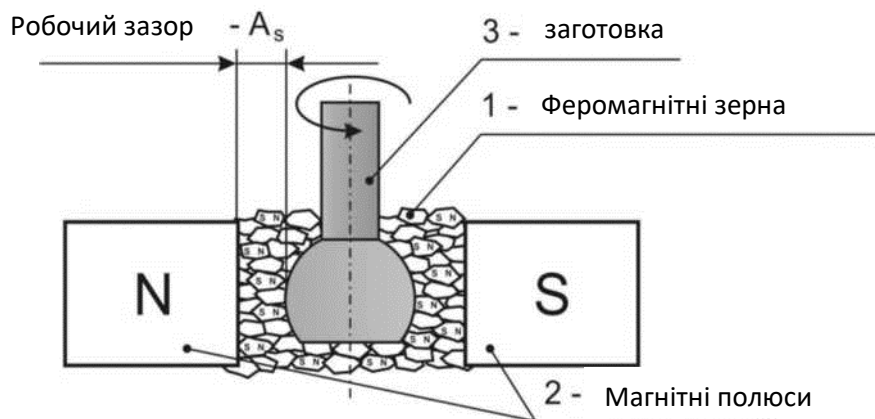


Рис. 2.3.1. Схема МАО для обертально-симетричної заготовки

Конструкція системи, яка показана на рис. 2.3.2 має велику перевагу при зовнішній обробці заготовок складної форми. Ця конструкція складається з «кільцевої ванни» та магнітної системи, а саме магнітопроводу, який оснащений двома полюсними наконечниками, розташованими на протилежних сторонах «кільцевої ванни». Магнітне поле між полюсними наконечниками перетворюється на магнітно-абразивний інструмент, який адаптує свою форму та рух під форму заготовки, що обробляється. Котушка дозволяє керувати напруженістю магнітного поля, тим самим дозволяючи створити оптимальні властивості та форму феромагнітного інструменту. Це гарантує рівномірний розподіл сили, яка прикладається абразивними зернами до кожної окремої частини поверхні заготовки, що обробляється. Оброблення

може здійснюватися в нанометровому діапазоні, тому на розмір заготовки це ніяк не впливає.

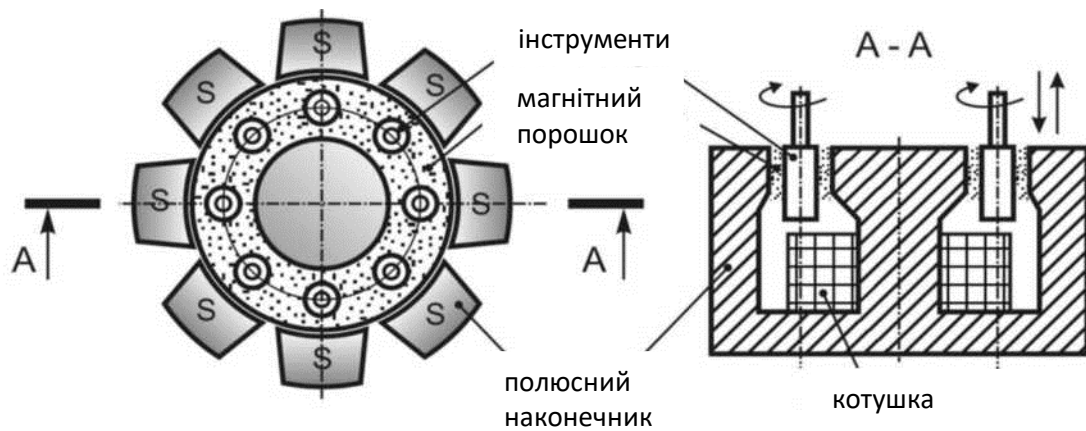


Рис. 2.3.2. Схема МАО в «кільцевій ванні»

Отже, при МАО за схемою «кільцева ванна», заготовка, що обробляється, рухається в порошковому середовищі робочого зазору і утворює перед ним стиснуту зону феромагнітних часточок. (рис. 2.3.3). На цю зону впливають розмір і форма зерна, коефіцієнт тертя між порошком та заготовкою, геометричні розміри робочого зазору, траєкторія руху заготовки тощо.

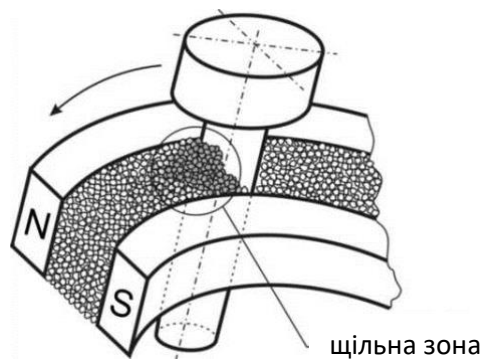


Рис. 2.3.3. Зона концентрації феромагнітних часточок при МАО

Параметри процесу МАО наведено в таблиці 8.

Таблиці 8

Оброблюваний інструмент		Робочий зуб
Час обробки	ZR	3x30
	DR	3x30
Тип порошку		Полімам-Т
Швидкість обертання навколо осі «кільцевої ванни», v_1 (м/с)		2
Частота обертання навколо осі «кільцевої ванни», n_1 (мін ⁻¹)		200
Швидкість обертання навколо осі «кільцевої ванни», v_2 (м/с)		0,3
Частота обертання навколо осі «кільцевої ванни», n_2 (мін ⁻¹)		250
Магнітна індукція, В (Т)		0,25
Кут установки, p (°)		60
Кут установки, q (°)		70
Допоміжні елементи		Порошковий кондиціонер

2.4 Розробка пристосування для кріплення пластин на установці

Було розроблено пристосування для кріплення робочого зуба на міні-шпинделі при МАО (рис. 2.4.1). Виконано це було таким чином, щоб було можливе обертання заготовки як в «кільцевій ванні» так і навколо осі розробленого затискного пристрою.

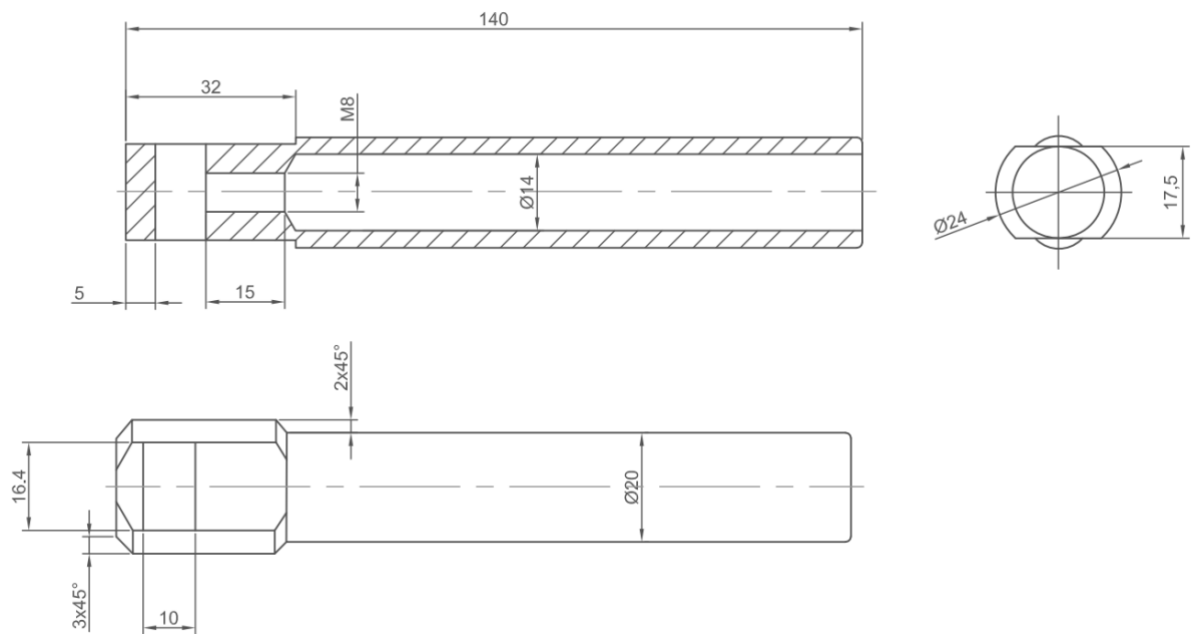


Рис. 2.4.1. Креслення затискного пристрою для фіксації робочого зуба при МАО.

2.5 Висновки

Проаналізувавши існуючі типи твердосплавних пластин були обрані ті, які найбільше підходять властивостями та параметрами до запланованих експериментальних досліджень. Також було розроблено креслення затискного пристрою.

Було розглянуто та проаналізовано існуючі методи фінішного оброблення твердосплавних пластин, а саме: струминне оброблення, оброблення щітками та оброблення у вільному абразиві. Наведено їх переваги та недоліки, детально описано сутність кожного з цих видів фінішного оброблення.

Попередньо визначено умови МАО. Найважливішим аспектом було те, щоб МАО не призвело до повного видалення покриття на заготовці. Також було запропоновано конструкцію системи для зовнішньої обробки заготовок складної форми, яка складається з «кільцевої ванни» та магнітної системи, а саме магнітопроводу, який оснащений двома полюсними наконечниками, розташованими на протилежних сторонах «кільцевої ванни».

Представлено пристосування для кріплення робочого зуба. Основною метою була можливість обертання заготовки як в «кільцевій ванні» так і навколо осі цього затискного пристрою.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИСТРОЇ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Визначення якості поверхні

Для визначення стану поверхні інструменту використовувався стаціонарний профілюючий пристрій Taylor Hobson FORM TALYSURF 120 PC (рис. 3.1.1). Довжина окремих ділянок вимірювання відповідає граничній довжині хвилі встановленого фільтра і становить $\lambda_c = 2$ мм. Було проведено три вимірювання на передній поверхні та два вимірювання на боковій, по одному на кожному боці (рис. 3.1.2).

Шорсткість різальних кромки визначалась на вимірювальному приладі Hommelwerke типу T8000 (рис. 3.1.3). Для кожної різальної кромки проводилось по одному випробуванню.

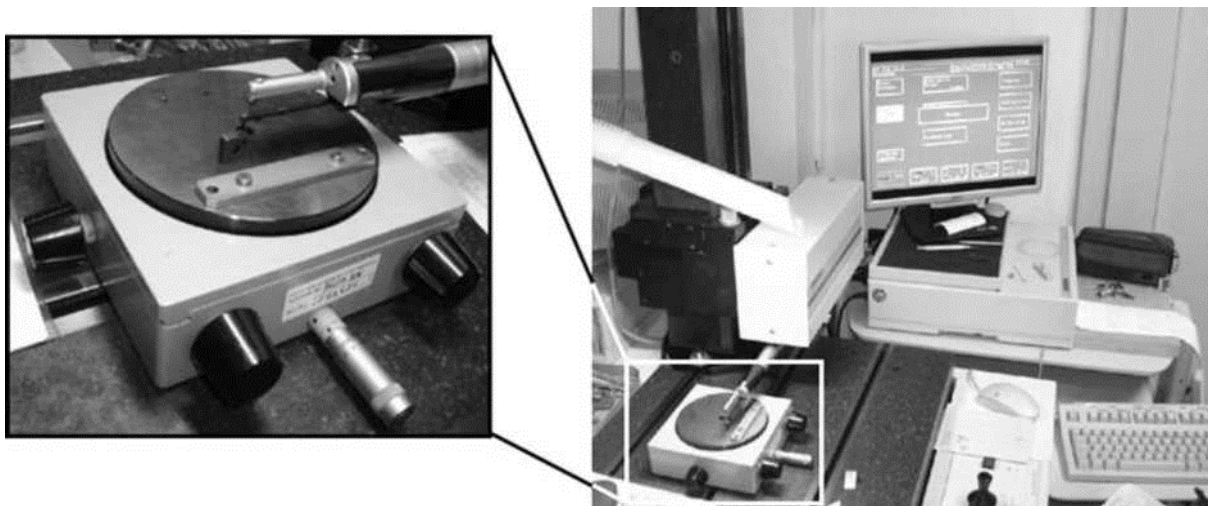


Рис. 3.1.1. Вимірювальний пристрій для визначення якості поверхні та різальної кромки

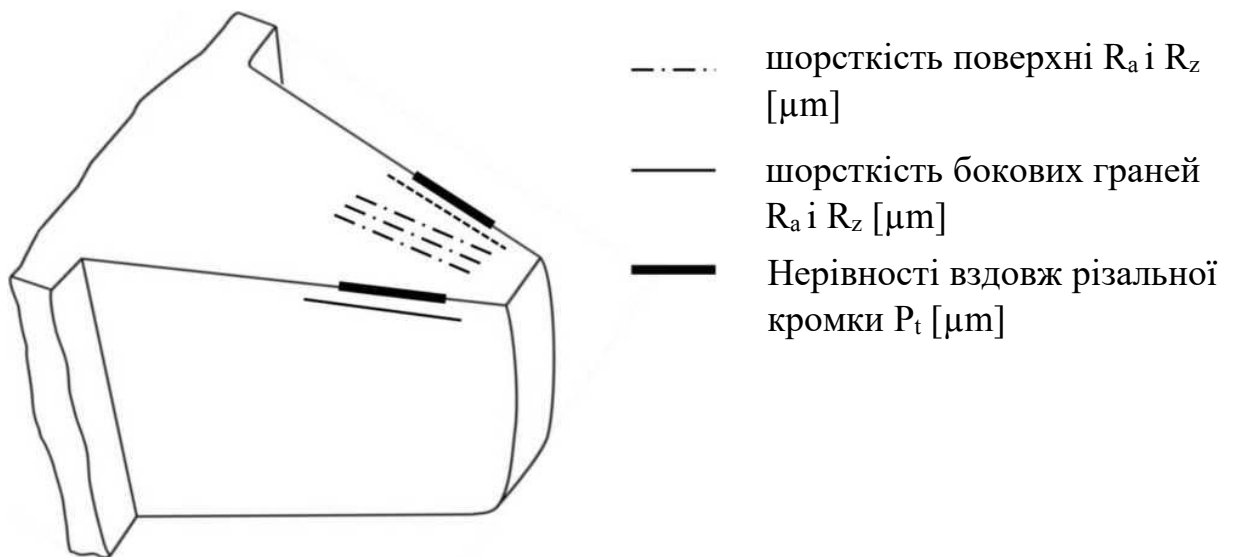


Рис. 3.1.2. Схема точок вимірювання для визначення властивостей поверхні



Рис. 3.1.3. Вимірювальний пристрій типу T8000 від Hommelwerke

3.2 Визначення радіуса різальної кромки

За допомогою 3D вимірювального пристрою MicroCAD фірми GfMesstechnik GmbH (рис. 3.2.1), який має окреме програмне забезпечення для визначення радіусу, було виміряно радіус заокруглення різальної кромки. Було проведено п'ять вимірювань по всій довжині різальної кромки. (рис. 3.2.2). Щоб визначити радіус кромки f , на різальній кромці створюють десять ліній різання в межах довжини вимірювання 0,6 мм. Крім того, розмір радіуса автоматично оцінюється в кожному окремому розрізі, лиш після чого виводиться середній радіус кромки та обчислюється стандартне відхилення.

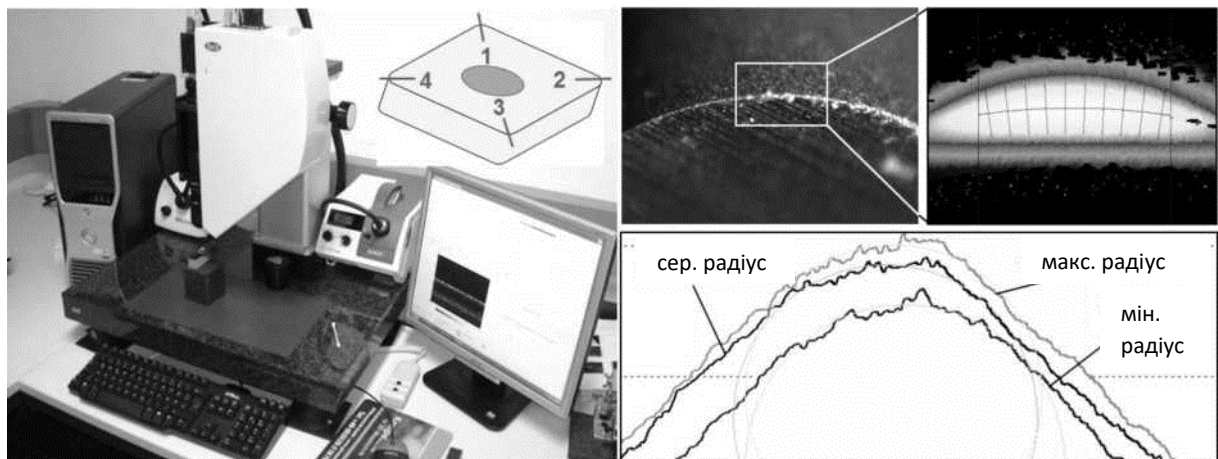


Рис. 3.2.1. 3D пристрій для вимірювання радіусу заокруглення поверхні, принцип збору даних та схема точок вимірювання заокруглення на різальній кромці.

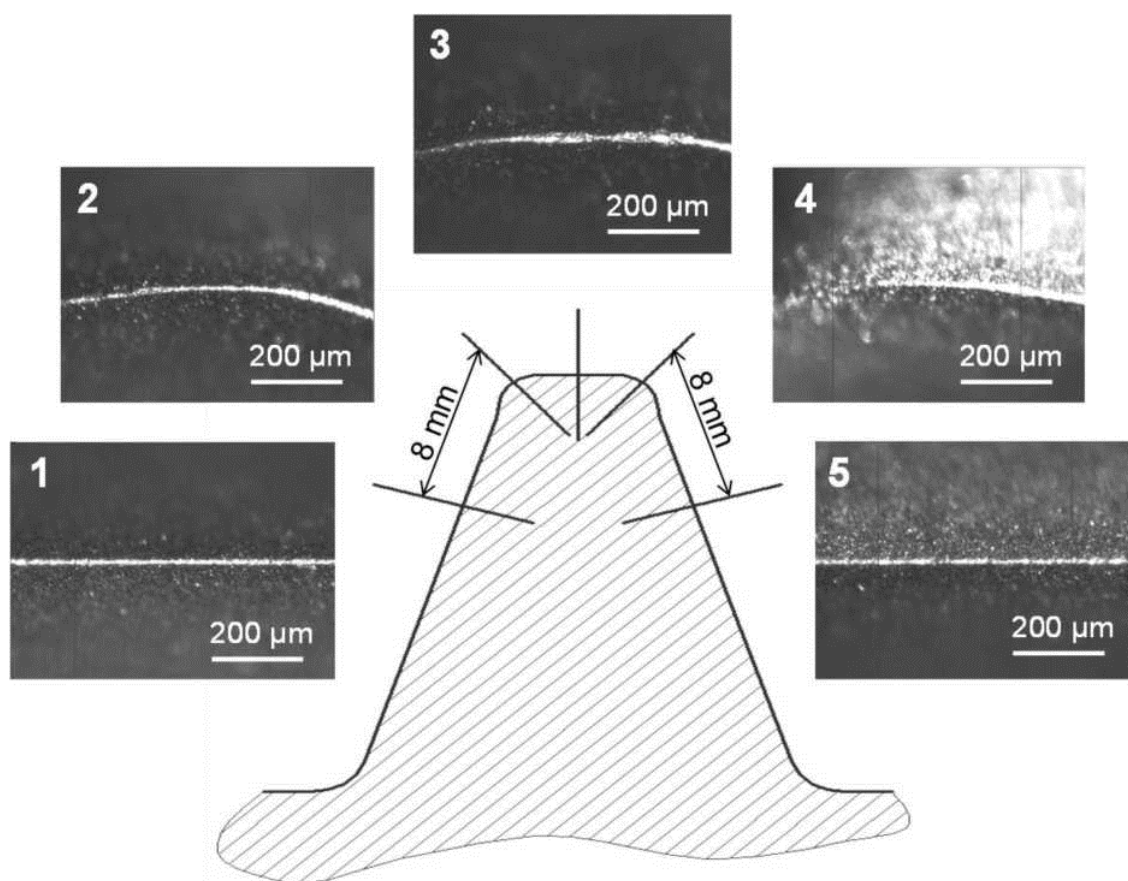


Рис. 3.2.2. Схема точок вимірювання для визначення радіусу різальної кромки

3.3 Випробування на знос

Щоб визначити здатність МАО при фрезеруванні випробування на знос проводилось на торцевому фрезерному станку LIEBHERR типу LC 180 (табл. 9). В якості заготовки використовувались зубчасті колеса діаметром $\varnothing 130$ мм, виготовлені з 20MnCr5. Параметри зачеплення зубчастого колеса наведено в таблиці 11. Інформацію про хімічний склад матеріалу заготовки наведено в таблиці 10.

Таблиця 9

	Макс. діаметр заготовки	180 мм
	Макс. швидкість столу	800 об/хв
	Потужність приводу	23 кВт
	Макс. швидкість шпинделя	6000 об/хв
	Осьовий хід	300 мм
	Макс. крутний момент	129 Н·м

Таблиця 10

Матеріал заготовки	Хімічний склад, %				
	C	Si	Mn	Cr	S

Діаметр зубчастого колеса d_z [мм]	130
Модуль m [мм]	2,7
Кут спіралі β_0 [°]	24,5
Число зубів шестерні z_2	41
Ширина зуба b_z [мм]	29
	

Умови робочого зуба наведено на рисунку 3.3.1 (а), де:

- f_a – осьова подача;
- f_t – тангенціальна подача.

На рис. 3.3.1 (с) наведено умови всередині зубофрезерного верстата.

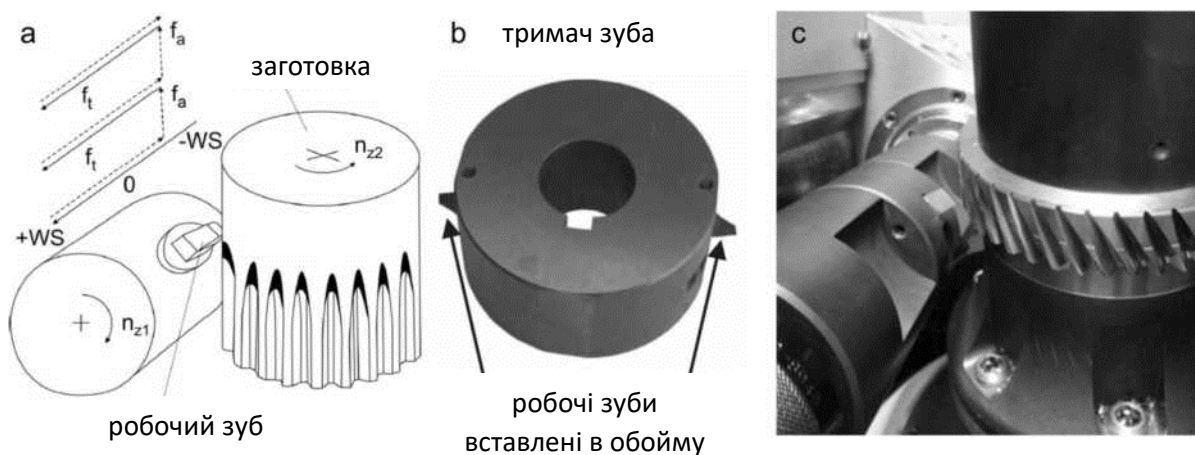


Рис. 3.3.1. Випробувальна установка для визначення робочого зносу зубів. а – кінематика випробувань на удар; б – тримач зуба; с – експериментальна установка.

Після підготовки експериментальної установки, були визначені параметри різання, які наведено в таблиці 12. Для робочих зубів виготовлених з твердого сплаву була обрана швидкість різання $v_c = 500$ м/хв (промисловий стандарт 350 м/хв). Максимальна товщина стружки головки розраховується для кожного зуба окремо за формулою:

$$h_{cu,max} = 4,9 \cdot m \cdot z_2^{(9,25 \cdot 10^{-3} \cdot \beta_0 - 0,524)} \cdot e^{-0,015\beta_0} \cdot e^{-0,015x_p} \cdot \left(\frac{r_1}{m}\right)^{(-8,25 \cdot 10^{-3} \cdot \beta_0 - 0,225)} \cdot i^{-0,877} \cdot \left(\frac{f_a}{m}\right)^{(0,511)} \cdot \left(\frac{a}{m}\right)^{(0,319)}, \text{ де} \quad (3.1)$$

- $h_{cu,max}$ - максимальна товщина стружки головки, мм;
- m - модуль, мм;
- z_2 - число зубів шестерні;
- β_0 - кут спіралі, °;
- r_1 - радіус окружності наконечника труби, мм;
- i - кількість шипів;
- f_a - осьова подача;
- a - глибина занурення, мм.

Таблиця 12

Параметри різання	ТП
Швидкість різання	500
Максимальна товщина	0,18
Осьова подача	3
Глибина занурення	7,45
Напрямок фрезерування	сталій
Охолоджувальне мастило	-

За допомогою звичайного мікроскопу можна було зафіксувати знос робочого зуба в трьох точках. А саме, передня грань, кінчик зуба та задня грань. (рис. 3.3.2).

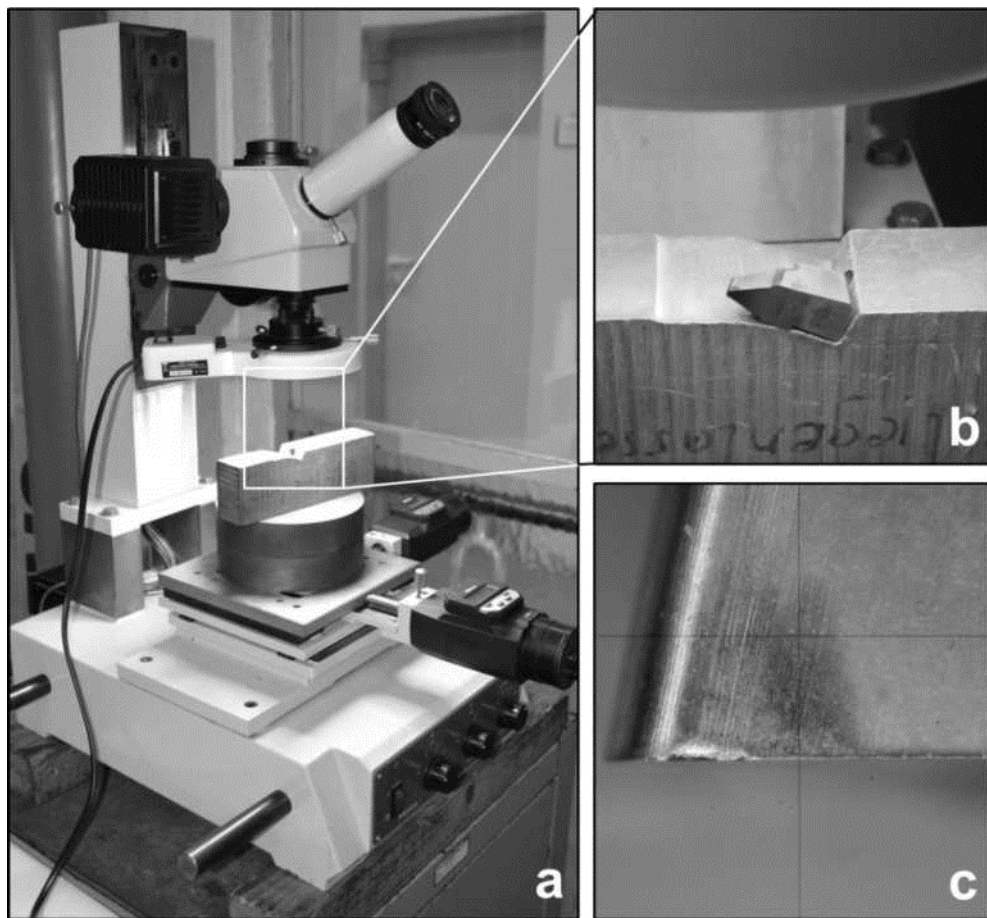


Рис. 3.3.2. Вимірювання зносу робочого зуба: а – світловий мікроскоп; б – положення робочого зуба під час вимірювання; с – поверхня робочого зуба під мікроскопом.

Максимальна ширина сліду зносу ($VB_{\max}$) становила 130 мкм. Випробування на знос проводились двічі. Хід зносу представлено графічно, як шлях різання на робочому зубі (L_z). Розрахунок проводився за формулою:

$$L_z = \frac{b_z \cdot z_2}{\cos \beta_0 \cdot 1000} \quad (3.2)$$

Після досягнення позначки допустимого зносу можна було визначити наявний кратерний знос на різальній поверхні. Принцип вимірювання зносу показано на рисунку 3.3.3.

Світлові промені проектується на поверхню деталі під кутом φ_{st} . Відбиті світлові промені, зміщені на величину V_{st} захоплювались та оцінювались за допомогою цифрової камери (V_{st} - відстань між точкою, в якій світло би відбилося, якби поверхня була без подряпин). Глибину T_{st} можна розрахувати за формулою:

$$T_{st} = \frac{V_{st}}{\cot \varphi_{st}} \quad (3.3)$$

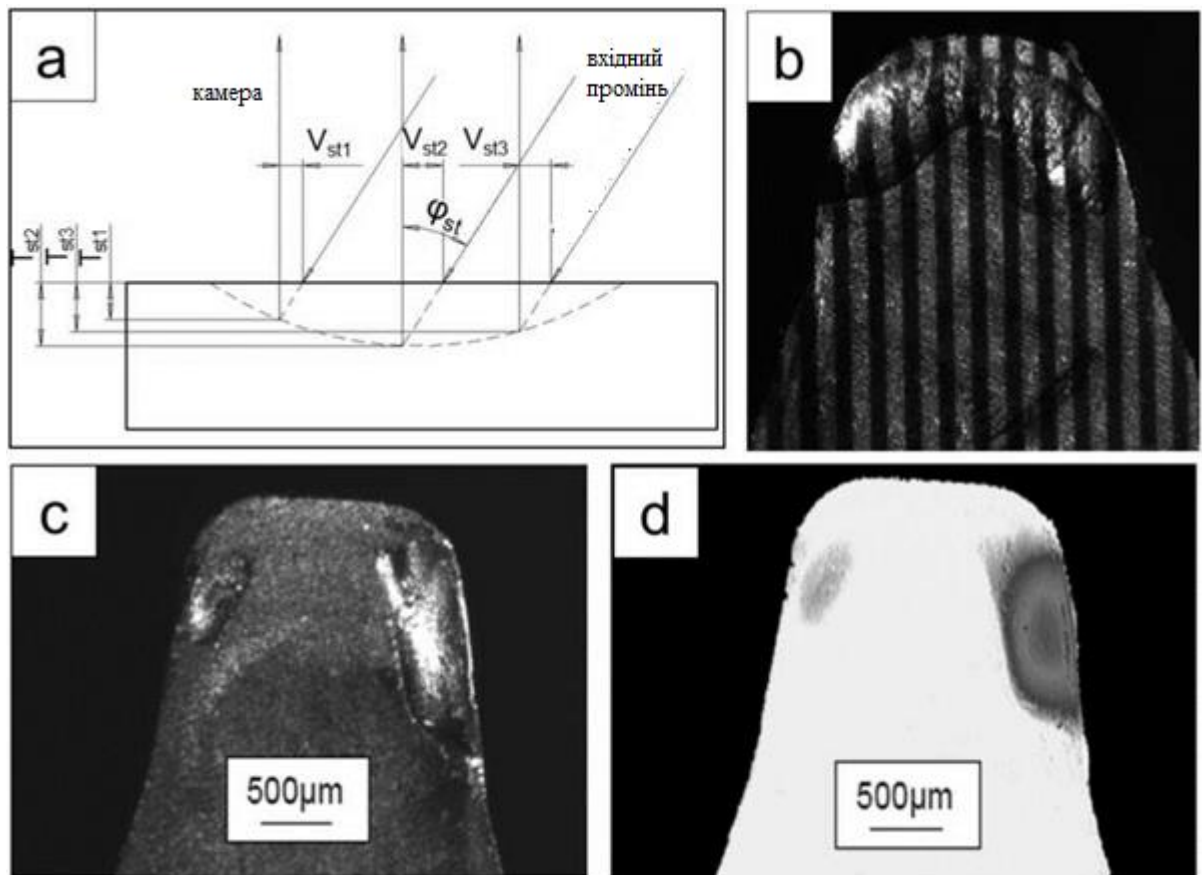


Рис. 3.3.3. Принцип вимірювання зносу за допомогою світлової проекції: а – схема вимірювання; б – зображення зі світловими смугами; в – зображення вимірюваної деталі; д – кольорове зображення зносу.

3.4 Висновки

Для визначення стану поверхні інструменту використовувався стаціонарний профілюючий пристрій Taylor Hobson FORM TALYSURF 120 PC.

Шорсткість різальних кромок визначалась на вимірювальному приладі Hommelwerke типу T8000. Для кожної різальної кромки проводилось по одному випробуванню.

Щоб визначити здатність МАО при фрезеруванні випробування на знос проводилось на торцевому фрезерному станку LIEBHERR типу LC 180.

За допомогою звичайного мікроскопу вдалося зафіксувати знос робочого зуба в трьох точках. А саме, передня грань, кінчик зуба та задня грань.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Обробка поверхні інструменту

Як ми знаємо МАО – це процес оброблення, який дозволяє видалити шар матеріалу у мікрометричному діапазоні. Параметри процесу механічного оброблення впливають на ступінь цього видалення. Після препарування робочих зубів жодних змін у стані поверхонь оптично виявити не вдалося (рис. 4.1.1). Однак, після подальших вимірювань шорсткості вдалося помітити ефект полірування після МАО. Після трьох хвилин МАО в «кільцевій ванні» зі зміною напрямку обертання параметри шорсткості значно зменшились (рис. 4.1.2 та 4.1.3).

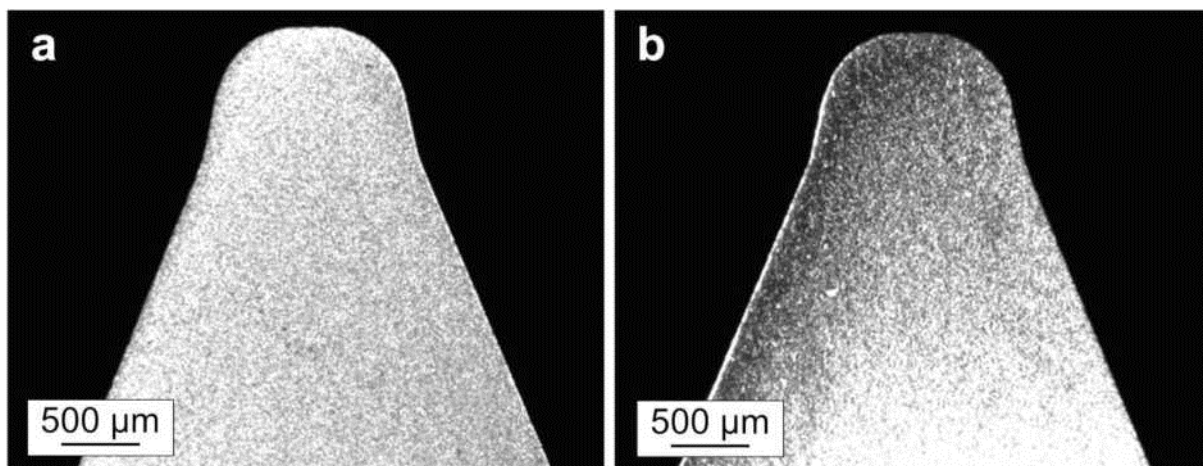


Рис. 4.1.1. Стан передньої поверхні зуба до і після МАО у «кільцевій ванні»

Вимірювання шорсткості на передній поверхні показує, що значення шорсткості R_z зменшується вдвічі. Середня шорсткість поверхні R_z зменшується з 2 мкм до 1 мкм (рис. 4.1.2). Еквівалентно, середнє арифметичне значення шорсткості R_a зменшилось (з $R_a = 0,19$ мкм до $0,11$ мкм).

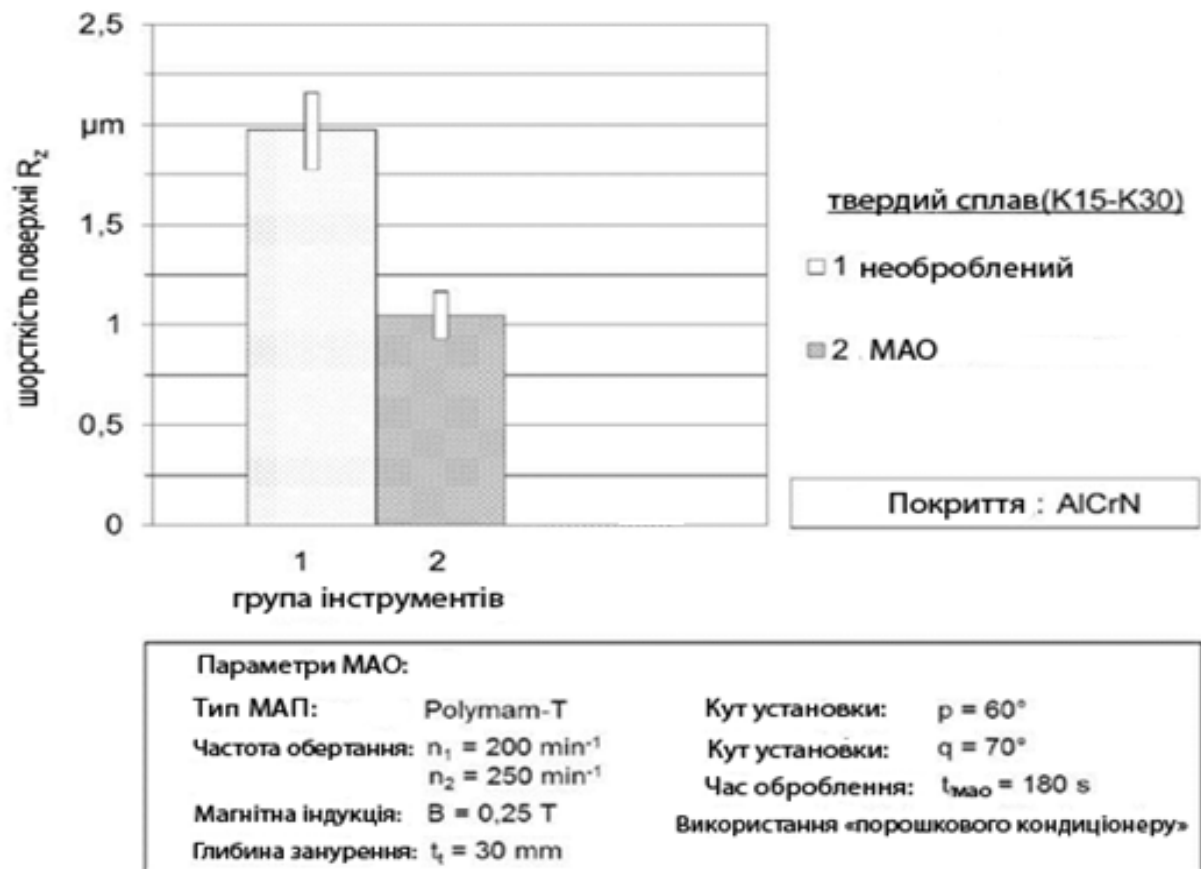


Рис. 4.1.2. Шорсткість різальної поверхні робочих зубів, покритих AlCrN

Результати вимірювання задньої поверхні робочих зубів також показали значні зменшення шорсткості після MAO (рис. 4.1.3). Отже, можна зробити висновок, що MAO має ефект згладжування зубів фрези. Обидві площини були оброблені дуже рівномірно.

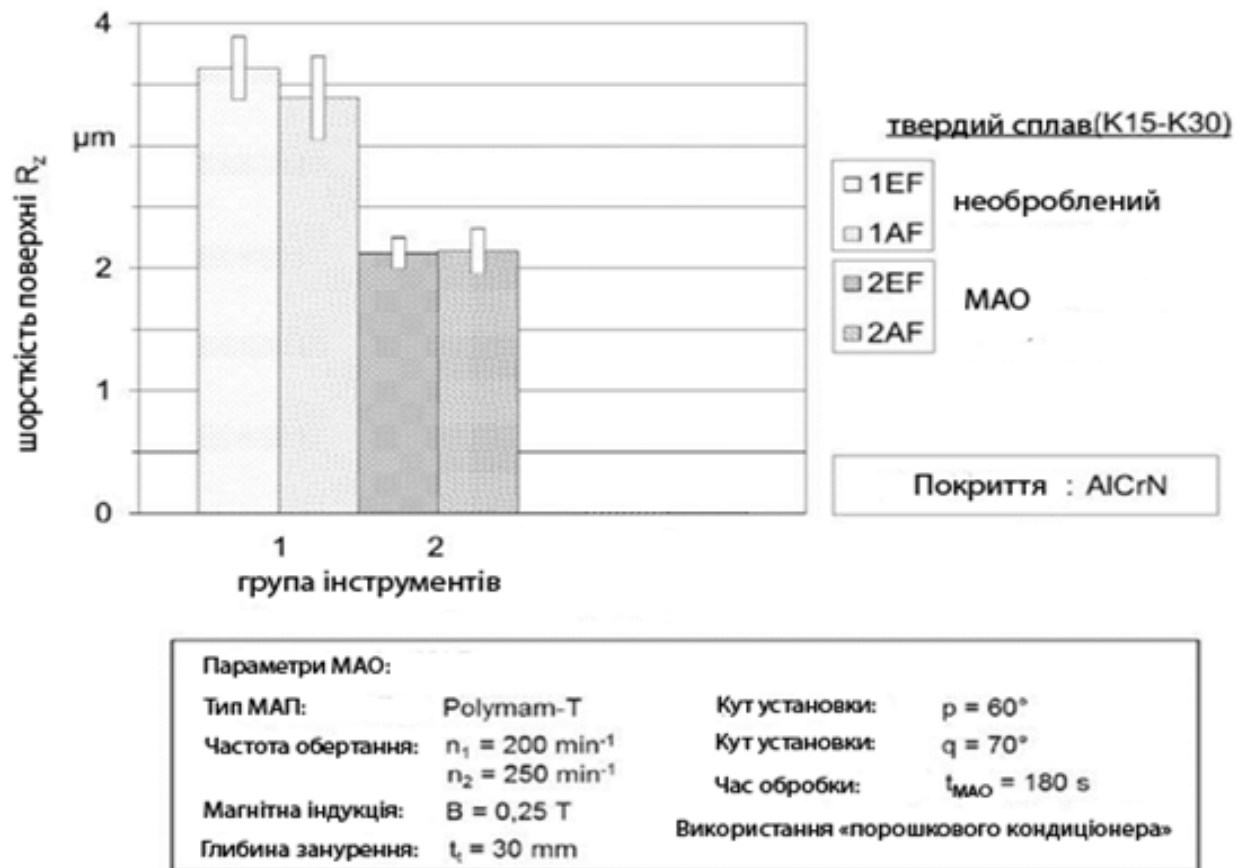


Рис. 4.1.3. Шорсткість задньої поверхні робочих зубів, покритих AlCrN

4.2 Мікрогеометрія різальної кромки

Після визначення шорсткості поверхонь досліджувався стан різальної кромки. Виявилось, що сколювання після MAO на передній кромці більше, ніж на задній (рис. 4.2.1). Одна з причин цього – збільшення кількості впадин на передній кромці. Оскільки після MAO не вдалося видалити ці впадини на передній кромці, глибина профілю P_t залишилась високою ($P_t = 4,7 \text{ мкм}$). Однак, на задній кромці після MAO P_t зменшилась до 2 мкм .

Не дивлячись на неоднорідність результатів вдалося побачити заокруглення різальної кромки після MAO. (рис. 4.2.2).

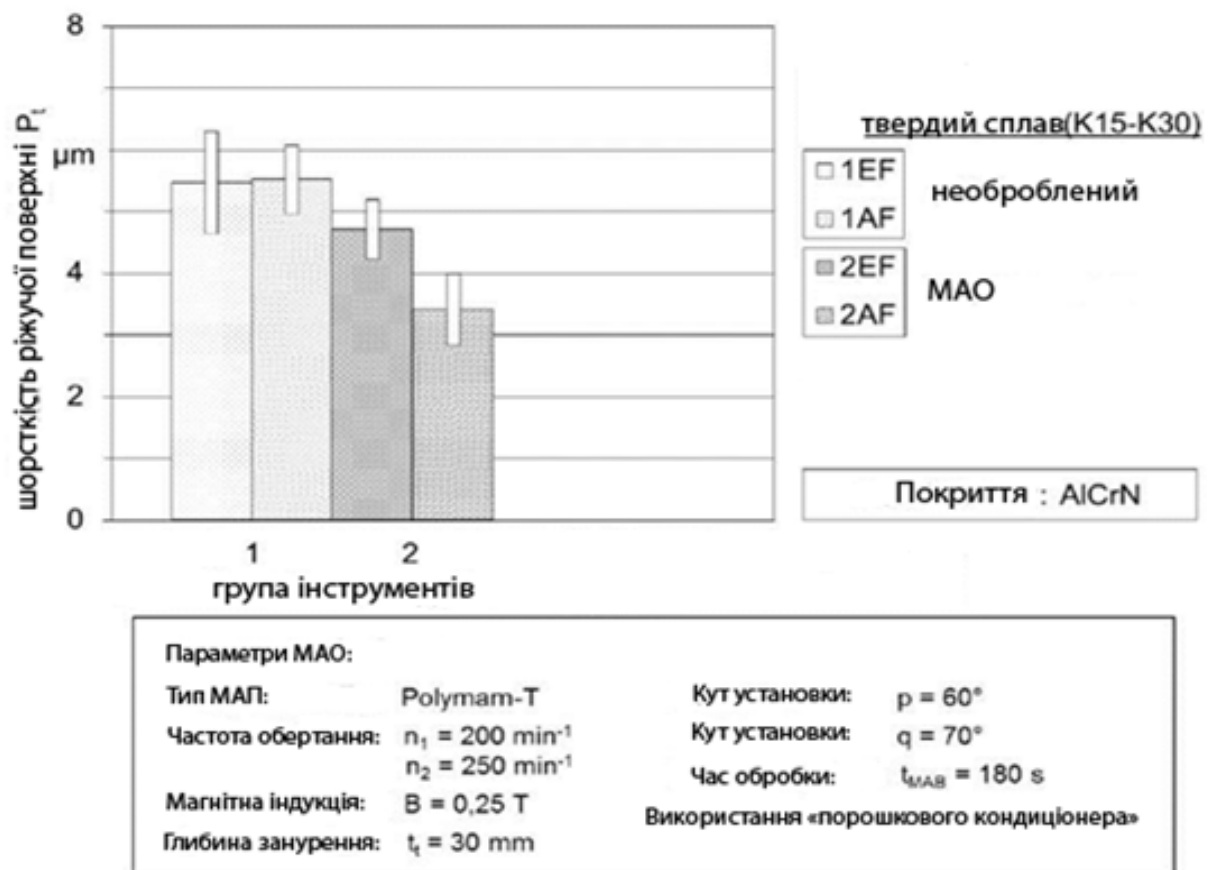


Рис. 4.2.1. Сколювання робочих зубів

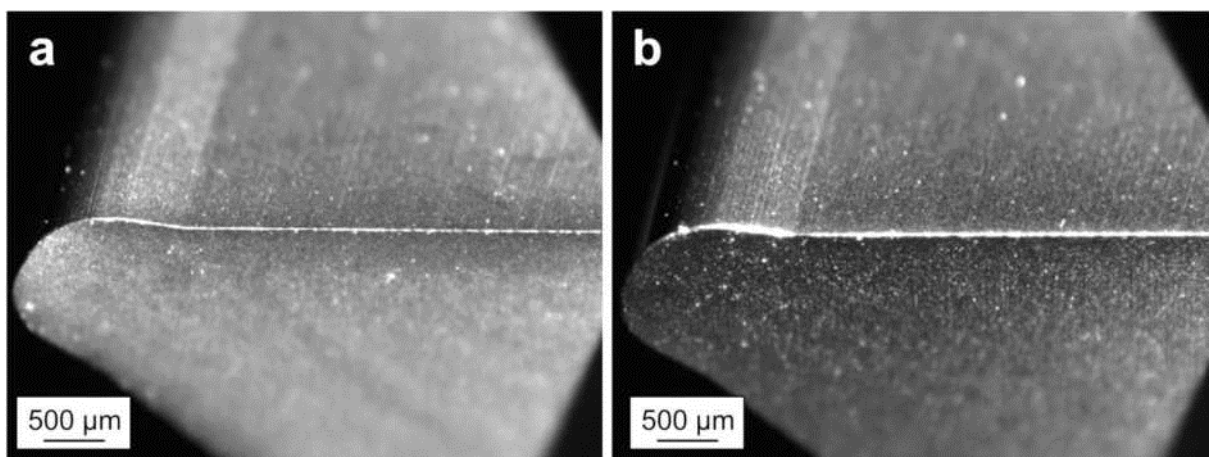


Рис. 4.2.2. Стан різальної кромки робочих зубів з покриттям AlCrN до (а) та після MAO (б)

Середній вимірний радіус різальної кромки з твёрдосплавного металу збільшився з 15 до 20 мкм. (рис. 4.2.3).

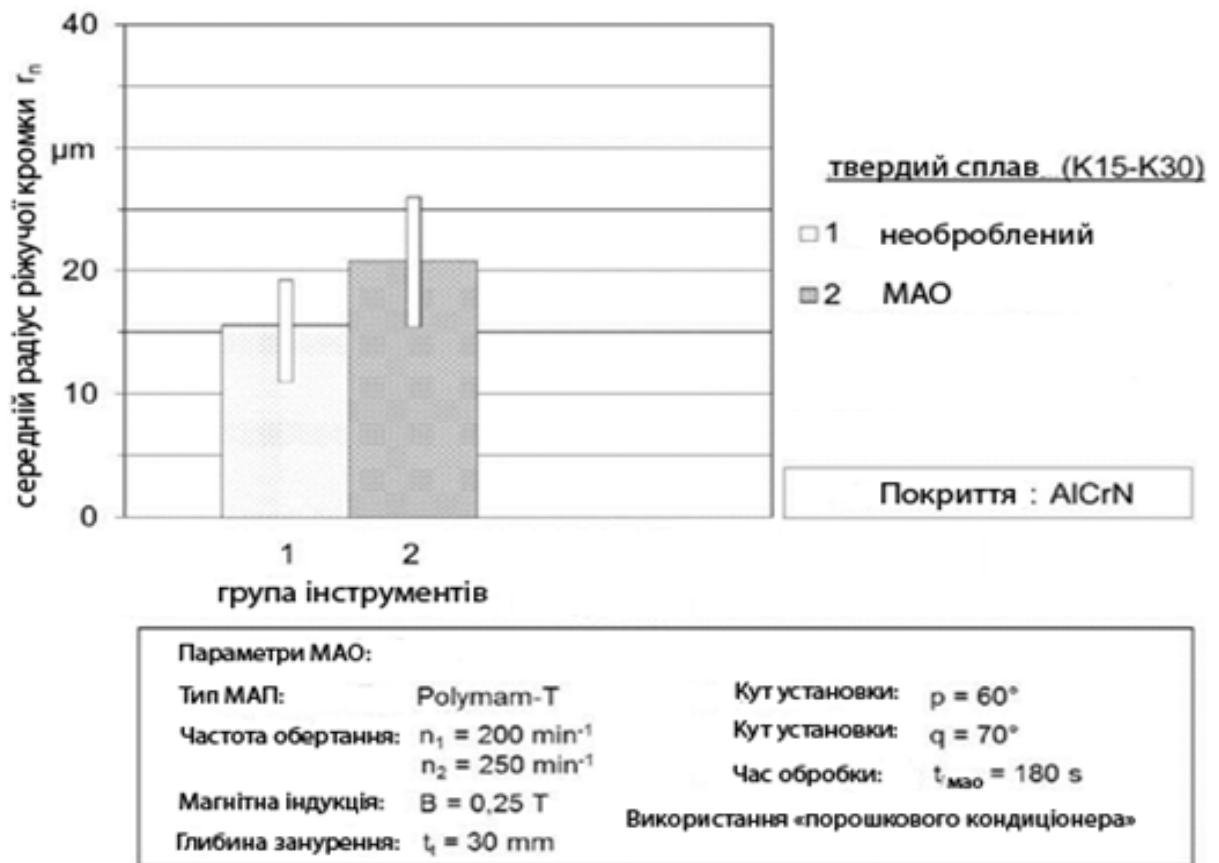


Рис. 4.2.3. Радіус різальної кромки робочих зубів з покриттям AlCrN

Рисунок 4.2.4 ілюструє розподіл значень r_n по всій різальній кромці зуба. Пріоритет в обробці надавався зонам, найбільш віддаленим від пристрою.

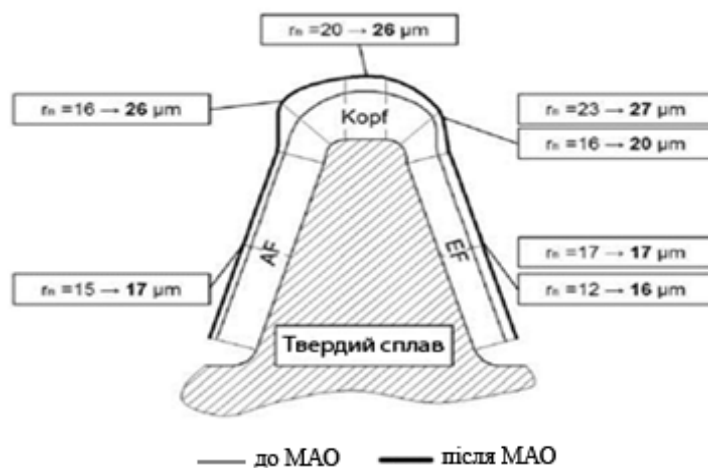


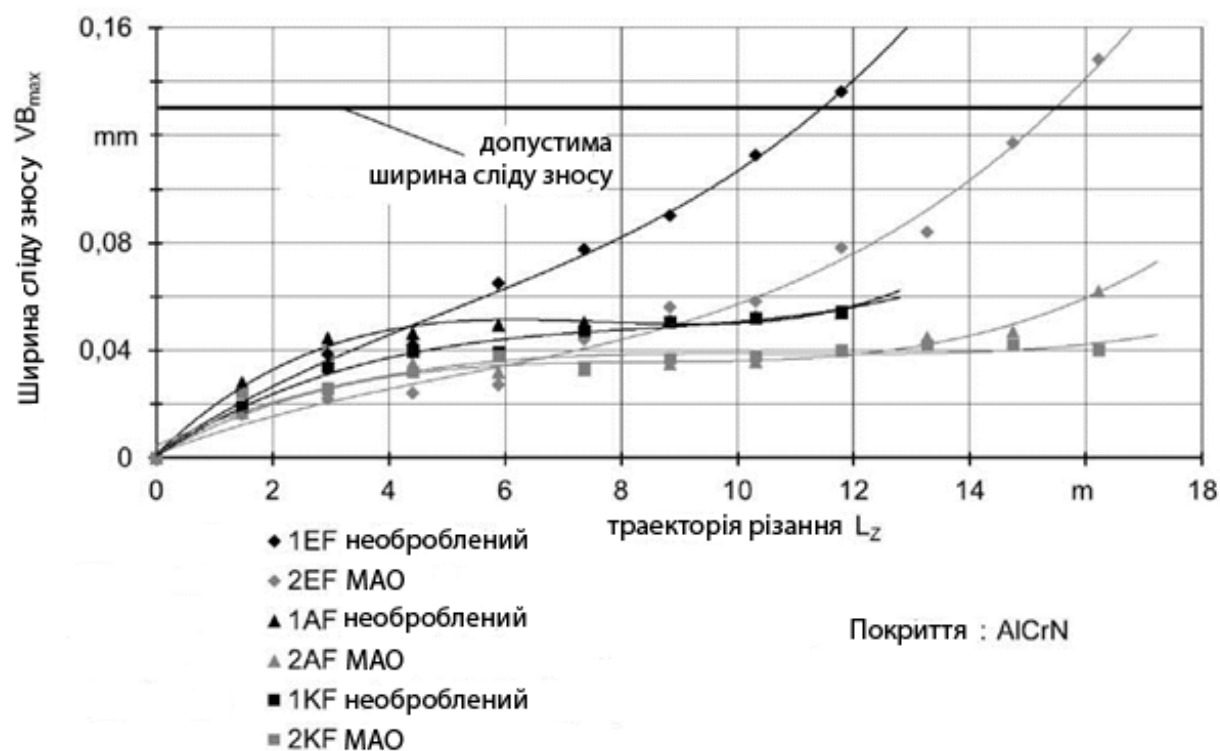
Рис. 4.2.4. Розподіл значень заокруглення вздовж різальної кромки

4.3 Фізико-механічні властивості оброблюваної поверхні

За допомогою випробувань різанням вдалось продемонструвати, що МАО не тільки покращує поверхню та структуру різальної кромки, а також позитивно впливає на поведінку оброблюваних деталей під час зношування. Випробування на довговічність твердосплавного робочого зуба продемонстрували позитивний ефект підготовки різальної кромки (рис. 4.3.1). Загальний термін служби оброблюваного зуба після МАО збільшився на 30%.

Після закінчення терміну служби зуба було досягнуто допустимої ширини сліду зносу на вході, яка становила 16 м. Без використання МАО ширина сліду зносу становила 12 м. Такий самий ефект спостерігається і в точках які найменше піддаються зносу.

Дослідження різальної кромки під світловим мікроскопом показали, що переривчасте різання під час фрезерування призводить до утворення впадин на твердосплавній різальній кромці (рис. 4.3.2). Вдалось визначити, що різальна кромка погано витримує не стабільні навантаження. Заокруглена різальна кромка на відміну має підвищену стійкість. Це призвело не тільки до підвищення терміну служби шару твердого матеріалу, а й в загальному підвищило зносостійкість інструменту.



Параметри MAO:		Умови різання:	
Тип МАП:	Polymam-T	Образець:	
Частота обертання:	$n_1 = 200 \text{ min}^{-1}$ $n_2 = 250 \text{ min}^{-1}$	Ударний зуб :	твердий сплав (K15-K30)
Магнітна індукція:	$B = 0,25 \text{ T}$	$m = 2,7 \text{ mm}$	
Глибина занурення:	$t_c = 30 \text{ mm}$	$d_{\text{аз}} = 100 \text{ mm}$	
Кут установки:	$\rho = 60^\circ$	$i = 22$	
Кут установки:	$q = 70^\circ$	Заготовка:	20MnCr5
Час обробки:	$t_{\text{MAO}} = 180 \text{ s}$	Значення різання:	
		$v_c = 500 \text{ m/min}$	
		$f_s = 3 \text{ mm/U}$	
		$h_{\text{cu,max}} = 0,18 \text{ mm}$	

Рис. 4.3.1. Дослідження зносу робочих зубів

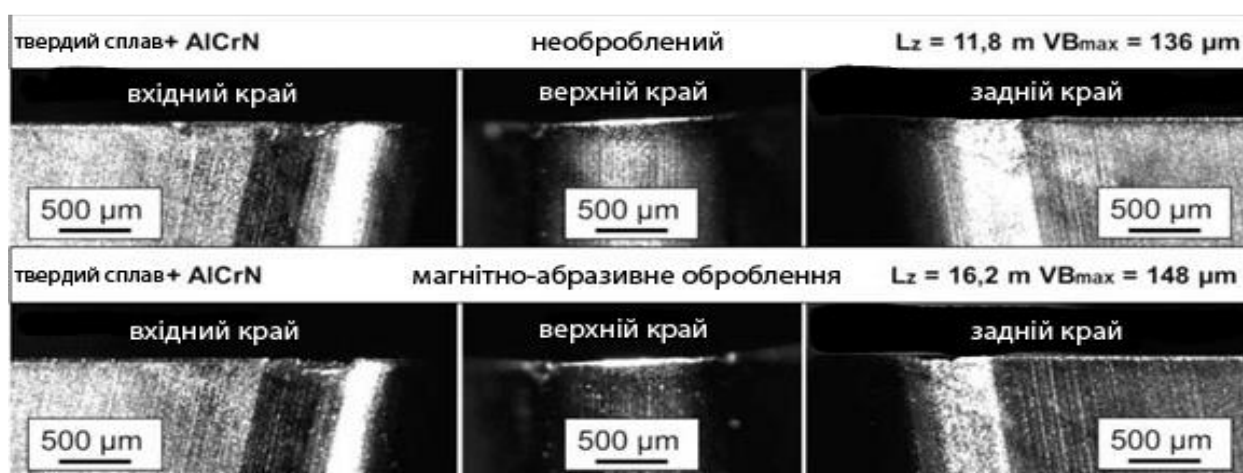


Рис. 4.3.2. Робочий зуб після досягнення критичного зносу

4.4 Висновки

Проведено дослідження на вихідних зразках, та проведено експериментальні дослідження умов МАО. Вимірювання шорсткості на передній поверхні показало, що значення шорсткості R_z зменшується вдвічі. Середня шорсткість поверхні R_z зменшується з 2 мкм до 1 мкм. Еквівалентно, середнє арифметичне значення шорсткості R_a зменшилось (з $R_a = 0,19$ мкм до 0,11 мкм).

Після дослідження стану різальної кромки вдалося побачити заокруглення цієї кромки після МАО. Середній вимірний радіус різальної кромки збільшився з 15 до 20 мкм.

За допомогою випробувань різанням вдалось продемонструвати, що МАО не тільки покращує поверхню та структуру різальної кромки, а також позитивно впливає на поведінку оброблюваних деталей під час зношування. Загальний термін служби оброблюваного зуба після МАО збільшився на 30%.

5. СТАРТАП ПРОЕКТ

5.1 Опис стартап-проекту

Багатообіцяючим методом фінішного оброблення є магнітно-абразивне оброблення (МАО). Цей метод здатен одночасно забезпечити доцільні параметри шорсткості, мікрогеометрії, фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталей різної геометричної форми. Саме тому, більшість передових виробництв, таких як машинобудування, авіабудування, автомобілебудування, приладобудування доволі часто, в якості фінішного оброблення, застосовують МАО.

В останні роки інтерес до твердосплавних пластин різко зріс, про що свідчать наступні фактори:

- Один із шляхів удосконалення найпоширеніших токарних різців є перехід до збірних конструкцій з механічним кріпленням твердосплавних пластин.
- Створення прогресивних збірних відрізних різців та пластин до них ускладнено потребою мінімізації ширини прорізу, тому ідеальних конструкцій поки що не знайдено. Рішення даної проблеми є актуальним та важливим, тому що потреба у високоефективних, технологічних у виготовленні та експлуатації твердосплавних пластин та відрізних різців постійно зростає, що обумовлено їх широким поширенням та умовами застосування у токарній обробці та на пруткових напіваавтоматах, де альтернативи їм нема.

Тому ідея дослідження впливу МАО на поверхневі характеристики твердосплавних пластин залишається досі актуальною.

Для початку створимо стислий опис ідеї проекту (таблиця 13).

Таблиця 13

Зміст ідеї проекту	Напрямки застосування	Користь для користувача
Основна ідея дослідження процесу МАО твердосплавних пластин для отримання потрібних фізико-механічних властивостей деталі.	Для адитивного виробництва металевих деталей	Покращення якості поверхні
	При виробництві різального інструменту	Підвищення зносостійкості інструменту за рахунок покращення якості поверхні та підвищення міцності
	При фінішній обробці твердосплавних пластин	Зменшення кількості необхідного обладнання, можливість зменшити витрати на експлуатацію обладнання

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення попереднього кола конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та провести збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

- аналіз показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 14).

Таблиця 14

№ п/ п	Техніко- економічні характеристи- ки ідеї	(потенційні) товари /концепції конкурентів				W	N	S
		Магнітно- абразивне оброблення	Струменево- абразивне оброблення	Тягове шліфування	Оброблення абразивними щітками			
1	Собівартість процесу	S	N	W	W	2	1	1
2	Вартість устаткування	W	S	N	N	1	2	1
3	Витрати на оплату праці	N	N	N	N		4	
4	Продуктив- ність процесу	S	N	N	N		3	1
5	Якості	S	N	W	S	1	2	2
6	Змінні витрати	N	W	N	W	2	2	
7	Доступ до ресурсів	N	S	S	W	1	1	2
8	Стійкість	S	W	W	W	3		1

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару). Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 15):

- за якою схемою буде реалізовано ідею проекту?
- чи існують такі методики, чи їх потрібно розробити/доробити?
- чи доступне обладнання для досягнення цілей авторам проекту?

Таблиця 15

№	Ідея проекту	Технологія реалізації	Наявність технологій	Доступність технології
1	Здійснити максимальне покращення фізико-механічних властивостей твердосплавних пластин за допомогою МАО	1. Підбір оптимальних умов проведення експерименту спираючись на попередні дослідження	Наявна	Технологія доступна, має низькі показники точності
2		2. Експериментальні дослідження	Наявна	Доступна і довготривала
3		3. Аналітичне визначення з урахуванням попередніх табличних значень	Наявна	Доступна. Має високу точність та надійність результатів.
Обрана технологія експериментальних досліджень				

5.3 Аналіз ринкових можливостей для старт-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 16).

Таблиця 16

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	6
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	300000/10700
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Висока конкуренція з великими гравцями на ринку. Спосіб не всім відомий потрібна реклама.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандартні процедури та вимоги зазначені в діючих ГОСТ , ДСТУ та ISO.
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Рентабельність може досягати 20-30% .

За попереднім оцінюванням ринку робимо висновок, що ринок є привабливим для входження хоч і має перепони у вигляді високої конкуренції та маловідомого методу.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 17).

Таблиця 17

	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Висока якість поверхні та отримання необхідних фізико механічних властивостей	Загальне машинобудування, виготовлення різального інструменту, адитивне виробництво	Акцент на збільшення зносостійкості виробів	Зменшення витрат на виробництво
2	Зменшення видатків на організацію виробництва	Дрібні машинобудівні фірми	Акцент уніфікації обладнання	Можливість виконання фінішного оброблення з меншим використанням обладнання

Проведемо аналіз ринкового середовища, а саме аналіз факторів загроз та можливостей що можуть сприяти або заважати ринковому впровадженню проекту (таблиці 18 та 19).

Таблиця 18

Фактори	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Процес МАО	Необхідність відмови від вже існуючої технології виробництва	Техніко-економічне обґрунтування переваг МАО
Некоректно підібрані режими	Неправильно підібрані режими можуть призвести до погіршення якості продукції	Консультації щодо оптимальних режимів з врахуванням вимог до виробу
Залежність від постачальників	Обмежена кількість виробників порошків для МАО	Проведення досліджень з новими порошками для пошуку аналогів
Створення нового устаткування або технології	Поява більш ефективного устаткування або технології фінішного оброблення	Проведення досліджень з можливих удосконалень технології МАО, режимів МАО.

Таблиця 19

Фактори	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Організація нових виробництв в державі	Створення нового виробництва дозволяє зменшити видатки шляхом збільшення уніфікації обладнання	Активна рекламна компанія з акцентом на переваги виконання фінішної обробки МАО в кільцевій ванні
Вихід на нові ринки	Збільшення об'єму продажів за рахунок виходу на ринки країн що розвиваються	Активна рекламна компанія в країнах що розвиваються з акцентом на переваги виконання фінішної обробки МАО в кільцевій ванні
Відкриття нових явищ при МАО	Відкриття нових явищ може дати можливість більшої конкуренції з іншими методами фінішного оброблення	Активне проведення досліджень

Далі проведемо аналіз пропозицій ринку та виділимо загальні риси конкуренції (таблиця 20).

Таблиця 20

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Можливі дії компанії, щоб бути конкуренто-спроможною
Тип конкуренції - монополістична	На ринку існує достатня кількість компаній які конкурують між собою за рахунок різномірної диференційованої продукції	Концентрація на конкретній ніші, фінішне оброблення
За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Компанії виробники представлені в різних країнах світу	Розвиток логістики компанії
За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Компанії, в основному, конкурують шляхом зменшення видатків на виробництво за рахунок впровадження інновацій та нових технологій	Використання перспективності процесу МАО
Конкуренція за видами товарів:- товарно-родова	На ринку представлені різні технології фінішного оброблення	Проведення перспективних досліджень МАО, які можуть надати перевагу над іншими технологіями

За характером конкурентних переваг - цінова/нецінова	На ринку представлені як споживачі які потребують певних якостей, так і споживачі для яких ціна переважає інші чинники	Використання гнучкості процесу MAO
--	--	------------------------------------

На основі аналізу конкуренції проведеному в таблиці 20, а також вимог споживачів до товару (Таблиця 17) та факторів маркетингового середовища (таблиці 18 та 19) визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності (Таблиця 21).

Таблиця 21

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
Універсальність використання	За допомогою зміни режимів можливо досягати необхідних результатів оброблення
Простота впровадження	Можливість використання звичайного обладнання

З огляду на конкурентну ситуації вихід ідеї на ринок можливий проте слід розраховувати на подальші перспективні дослідження процесу MAO.

Далі виконаємо фінальний етап ринкового аналізу можливостей впровадження проекту, а саме складання SWOT-аналізу матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін. (таблиця 22).

Таблиця 22

Сильні сторони: • універсальність методу, • простота конструкції • простота впровадження у виробництво	Слабкі сторони: • недостатній рівень визначеності процесу MAO • складність виходу на нові ринки
Можливості: • конкуренція у різних галузях • вихід на нові ринки	Загрози: • загальний спад точного виробництва • можливість появи нових перспективних технологій

На основі виконаного SWOT-аналізу розробимо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. (таблиця 23).

Таблиця 23

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Створення порошків та сумішей порошків для МАО	Відсутність значної конкуренції та знання необхідних властивостей порошків дозволяє ефективно освоїти новий ринок	3-5 років
Вихід на нові ринки збуту(міжнародні)	Можливо за умов розвитку об'ємів виробництва та маркетингу.	5-10 років

5.4 Розробка ринкової стратегії проекту

Для початку визначимо стратегію охоплення ринку, а саме проведемо опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 24).

Таблиця 24

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Виробники деталей створених за допомогою металевого адитивного виробництва	Більша частина готова прийняти технологію	Середній	Висока	Доступно
Виробники різальних інструментів		Дуже високий	Середня	Доступно
Автомобілебудування		Високий	Висока	Доступно
Цільові групи, які обрано: виробники деталей створених за допомогою металевого адитивного виробництва та виробники різальних інструментів.				

Необхідно сформувати базову стратегію розвитку для роботи в обраних сегментах ринку (таблиця 25).

Таблиця 25

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
Подальші дослідження процесу МАО твердосплавних пластин	Швидке досягнення керуючої позиції	Орієнтованість на потреби замовника	Стратегія диференціації

Наступним кроком буде вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 26).

Таблиця 26

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Так	Переважає орієнтація на нових споживачів	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

5.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Найперше необхідно визначити маркетингові концепції товару, який отримає споживач (таблиця 27).

Таблиця 27

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Отримання необхідних показників якості поверхні	Можливість за допомогою зміни режимів/порошку отримувати необхідні показники якості поверхні	Гнучкість процесу МАО
Уніфікація виробництва	Можливість використання звичайного обладнання для фінішної обробки	Простота використання індукторів на постійних магнітах

Наступним кроком визначимо оптимальну систему збуту (таблиця 28).

Таблиця 28

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Надають перевагу постачальникам з якісною підтримкою та супроводженням товару	Забезпечення необхідних об'ємів товарів та послуг. Якісна підтримка після покупки.	В межах регіону, країни	Власна система збуту

5.6 Висновки

Start-Up проект являється доцільним, оскільки:

- Метод МАО є гнучким у використанні, а також дозволяє отримати необхідні характеристики поверхневого шару деталей.
- Вже існують сфери виробництва де магнітно-абразивне оброблення має значний попит (інструментальне виробництво), однак також є перспективні сфери (пост-оброблення друкованих деталей).
- МАО за схемою «кільцева ванна» є достатньо простим методом у впровадженні та використанні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основною метою магістерської дисертації було дослідження впливу МАО за схемою «кільцева ванна» на поверхневі властивості твердосплавних пластин, а саме робочих зубків з черв'ячної фрези.

У ході роботи було проаналізовано сучасний стан методів фінішного оброблення, а саме магнітно-абразивне оброблення. Було визначено умови та параметри процесу МАО досліджуваних пластин. Дослідження проводились на установці типу «кільцева ванна». Для аналізу отриманої в ході експериментальної частини інформації використовувалось наступне допоміжне обладнання: стаціонарний профілюючий пристрій Taylor Hobson FORM TALYSURF 120 PC, вимірювальний прилад Hommelwerke типу T8000. Щоб визначити здатність МАО при фрезеруванні випробування на знос проводилось на торцевому фрезерному станку LIEBHERR типу LC 180.

Велику увагу було приділено розробці пристосування для кріплення пластин на установці. Основною його метою була можливість обертання заготовки як в «кільцевій ванні» так і навколо осі самого затискного пристрою.

В результаті проведених експериментальних досліджень вдалося встановити, що процес МАО позитивно впливає на якість поверхні твердосплавних пластин, а саме дозволяє підвищити міцність поверхні деталі.

Вимірювання шорсткості на передній поверхні робочого зубка показало, що значення шорсткості R_z зменшується вдвічі. Середня шорсткість поверхні R_z зменшується з 2 мкм до 1 мкм. Еквівалентно, середнє арифметичне значення шорсткості R_a зменшилось (з $R_a = 0,19$ мкм до $0,11$ мкм).

Після дослідження стану різальної кромки вдалося помітити заокруглення цієї кромки після МАО. Середній вимірний радіус різальної кромки збільшився з 15 до 20 мкм.

За допомогою випробувань різанням вдалось продемонструвати, що МАО не тільки покращує поверхню та структуру різальної кромки, а також позитивно впливає на поведінку оброблюваних деталей під час зношування. Загальний термін служби оброблюваного зуба після МАО збільшився на 30%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Магнітно-абразивне оброблення деталей складної форми / В. С. Майборода, И.В. Слободянюк, Д.Ю. Джулій, 2017.
2. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев.
3. Багатогранні непереточувані пластини. URL: https://studbooks.net/1835773/tovarovedenie/mnogogrannnye_neperetachivaemye_plastiny.
4. Магнітно-абразивне оброблення деталей / Н. С. Хомич. Мінськ, 2006.
5. Определение рациональной схемы обработки ответственных деталей газотурбинного двигателя в магнитореологических средах методом экспертной оценки / А. Г. Бойцов, С. В. Курилович, В. В. Курицына, М. В. Силуянова. Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение Т. 18, № 3, 2019 г.
6. Магнітно-абразивне оброблення інструменту в умовах великих робочих щілин / В.С. Майборода, Б. Карпушевський, О. Климов, 2011.
7. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем / збірник наукових праць. Краматорськ, 2010. URL: http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/reliability_instrument/archive/%E2%84%9626.pdf.
8. Шорсткість поверхні. Вікіпедія. URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Шорсткість_поверхні.
9. Сакулевич Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. Минск : Наука и техника, 1981. 327 с

10. Барон Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. Ленинград : Машиностроение, 1986. 173 с.
11. Финишная обработка поверхностей при производстве деталей / С. А. Клименко та ін. Минск : "Беларуская навука", 2017. 377 с.
12. Сакулевич Ф.Ю. Магнитно-абразивная обработка точных деталей/ Ф.Ю. Сакулевич, Л.К. Минин, Л.А. Олендер. – Мн.: Высшэйшая школа, 1977. – 288 с.
13. Сакулевич Ф.Ю. Сущность и физико-механические особенности магнитно-абразивной обработки/Ф.Ю. Сакулевич, В.И. Жданович//Новые методы испытания и обработки материалов. Мн., Наука и техника, 1975. С. 135-146.