

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ В.А.Пасічник
(підпис)

« » _____ 20__
р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код і назва)

на тему: Магнітно-абразивне оброблення плоских поверхонь індукторами на постійних магнітах

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи МІ-61м
(шифр групи)

Храпін Станіслав Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н., проф., Майборода В.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент Н.с., к.т.н. ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН Ураїни Бурикін В.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

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

Інститут (факультет)) Механіко-машинобудівний

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.А.Пасічник

(підпис)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Храпіну Станіславу Ігоровичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Магнітно-абразивне оброблення плоских поверхонь індукторами на постійних магнітах _____

науковий керівник дисертації Майборода Віктор Станіславович, д.т.н., проф.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження комплексне оброблення плоских деталей із Сталі 45 шляхом застосування методів МАО _____

4. Предмет дослідження підвищення якості і працездатності деталей

5. Перелік завдань, які потрібно розробити провести аналіз відомих видів постійних магнітів і обрати найкращий з них, обрати магнітно-абразивний порошок, який буде максимально продуктивно обробляти поверхню, визначити вплив процесу МАО на якість поверхні, дослідити вплив величини робочого зазору, частоти обертання та подачі на зміну шорсткості Ra та величини опорної поверхні профілю t_p

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу 82 рисунки _____

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 теза _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			
4			

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Провести аналіз існуючих методів фінішного оброблення, статей та робіт, які на цю тему вже зроблені	21.03.17 – 21.06.17	
2	Провести загальний методичний план роботи, обрати матеріал, обладнання, правильний тип порошку	21.07.17-21.12.17	
3	Провести дослідження по визначенню впливу процесу МАО на мікро- та макрогеометрію деталі	21.02.18-21.03.18	
4	Розробка стартап проекту	22.03.18-21.04.18	

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

АНОТАЦІЯ

Храпін С.І. Магнітно-абразивне оброблення плоских поверхонь індукторами на постійних магнітах

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 8.05050302 – інструментальне виробництво. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського». – Київ, 2018

Проведено аналіз теоретичних та експериментальних досліджень фінішних методів оброблення деталей та визначено переваги магнітно-абразивного методу.

В роботі досліджено вплив магнітно-абразивного оброблення площин на точність, якість деталей із Сталі 45, що включає формування мікро- та макрогеометрії робочих поверхонь, фізико-механічні властивості та підвищення працездатності.

Встановлено, що при обробці таким порошком як Феромап 630/400 мкм шорсткість поверхні зменшилась у 26 раз відносно шорсткості вихідної поверхні, з Феромап 400/315 мкм шорсткість покращилась в 13,8 раз, Феромап 315/200 мкм – в 19,75 раз, Феромап 200/100 мкм – в 9,1 раз, ДЧК 630/400 мкм (новий) – в 3,75 раз, ДЧК 630/400 мкм (б/у) – в 1,5 раз, а порошки округлої форми, такі як Полімам-М 400/315 мкм та ПР Р6М5 300/250 мкм показали себе не кращим чином, шорсткість яких була або гірша чим вихідна, або майже не змінювалась.

Також було встановлено, що відхилення від оптимальних режимів (подача – 10 мм/хв та частота обертання 900 об/хв) негативно впливає на шорсткість поверхні, на деяких зразках навіть видно сліди шаржування поверхні.

Ключові слова. магнітно-абразивне оброблення, магнітно- абразивний порошок, шорсткість, подача, частота обертання.

АННОТАЦИЯ

Храпин С.И. Магнитно-абразивная обработка плоских поверхностей индукторами на постоянных магнитах

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 8.05050302 - инструментальное производство. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского». - Киев, 2018

Проведен анализ теоретических и экспериментальных исследований финишных методов обработки деталей и определены преимущества магнитно-абразивного метода.

В работе исследовано влияние магнитно-абразивной обработки плоскостей на точность, качество деталей из Стали 45, включающий формирование микро- и макрогеометрии рабочих поверхностей, физико-механические свойства и повышение работоспособности.

Установлено, что при обработке таким порошком как Феромап 630/400 мкм шероховатость поверхности уменьшилась в 26 раз относительно шероховатости исходной поверхности, с Феромап 400/315 мкм шероховатость улучшилась в 13,8 раз, Феромап 315/200 мкм - в 19,75 раз, Феромап 200/100 мкм - в 9,1 раз, ДЧК 630/400 мкм (новый) - в 3,75 раз, ДЧК 630/400 мкм (б/у) - в 1,5 раза, а порошки округлой формы, такие как Полимам-М 400/315 мкм и ПР Р6М5 300/250 мкм показали себя не лучшим образом, шероховатость которых была или хуже чем исходная, или почти без изменений.

Также было установлено, что отклонения от оптимальных режимов (подача - 10 мм/мин и частота вращения 900 об/мин) негативно влияет на шероховатость поверхности, на некоторых образцах даже видны следы шаржирования поверхности.

Ключевые слова. магнитно-абразивная обработка, магнитно абразивный порошок, шероховатость, подача, частота вращения.

ABSTRACT

Stanislav Khrapin. Magnetic-abrasive treatment of flat surfaces by inductors on permanent magnets

Thesis for a Master's degree by specialty 8.05050302 - instrumental production. - National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute. I. Sikorsky ". - Kyiv, 2018

The analysis of theoretical and experimental researches of finishing methods of processing of parts was carried out and the advantages of the magnetic abrasive method were determined.

The effect of magnetic abrasive machining of planes on the accuracy, quality of parts from steel 45, including the formation of micro-and macrogeometry of working surfaces, physical and mechanical properties and increase of efficiency are investigated in this work.

It was found that when processing such a powder as Feromap 630/400 microns, surface roughness decreased by 26 times relative to the roughness of the original surface; from Roofing 400/315 microns roughness improved 13.8 times, Feromap 315/200 micron - 19.75 times, Feromap 200/100 microns - 9.1 times, DCHK 630/400 microns (new) - 3.75 times, DCHK 630/400 microns (b / u) - 1.5 times, and rounded powders, such as Polymam-M 400/315 μm and PR R6M5 300/250 μm did not show themselves in the best way, the roughness was either worse than the original, or almost did not change.

It was also found that deviations from optimal regimes (feed 10 mm / min and 900 rpm) negatively affects surface roughness, and even some traces of surface scratching can be seen on some samples.

Key words. magnetic abrasive treatment, magnetic abrasive powder, roughness, feed, frequency of rotation.

РЕФЕРАТ

Проведено аналіз теоретичних та експериментальних досліджень фінішних методів оброблення деталей та визначено переваги магнітно-абразивного методу.

В роботі досліджено вплив магнітно-абразивного оброблення площин на точність, якість деталей із Сталі 45, що включає формування мікро- та макрогеометрії робочих поверхонь, фізико-механічні властивості та підвищення працездатності.

Встановлено, що при обробці таким порошком як Феромап 630/400 мкм шорсткість поверхні зменшилась у 26 раз відносно шорсткості вихідної поверхні, з Феромап 400/315 мкм шорсткість покращилась в 13,8 раз, Феромап 315/200 мкм – в 19,75 раз, Феромап 200/100 мкм – в 9,1 раз, ДЧК 630/400 мкм (новий) – в 3,75 раз, ДЧК 630/400 мкм (б/у) – в 1,5 раз, а порошки округлої форми, такі як Полімам-М 400/315 мкм та ПР Р6М5 300/250 мкм показали себе не кращим чином, шорсткість яких була або гірша чим вихідна, або майже не змінювалась.

Також було встановлено, що відхилення від оптимальних режимів (подача – 10 мм/хв та частота обертання 900 об/хв) негативно впливає на шорсткість поверхні, на деяких зразках навіть видно сліди шаржування поверхні.

Ключові слова. магнітно-абразивне оброблення, магнітно- абразивний порошок, шорсткість, подача, частота обертання.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ГАЛУЗІ ФІНІШНИХ МЕТОДІВ І МЕТОДІВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ.....	9
1.1. Механічні методи фінішного оброблення деталей.....	9
1.2. Стисла характеристика методів і схем магнітно-абразивної обробки	13
1.3. Дослідження, які були проведені в даній галузі	16
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
2.1. Матеріал досліджень	39
2.2. Визначення типу і матеріалу постійного магніту для його застосування при створенні торцевої головки.....	39
2.3. Конструкція торцевої головки для оброблення плоских поверхонь.....	42
2.4. Магнітно-абразивні матеріали, що використовувались при MAO.....	43
2.5. Вимірювання шорсткості поверхні.....	45
2.6. Верстат для проведення експериментальних досліджень і умови оброблення..	47
2.7. Вплив MAO на мікрогеометрію робочих поверхонь.....	48
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ УМОВ MAO НА МІКРОГЕОМЕТРІЮ ПОВЕРХНІ....	50
3.1. Дослідження формування мікропрофілю поверхні під час MAO.....	50
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА УСТАНОВКИ З КОАКСІАЛЬНО НАПРАВЛЕНИМИ ПОЛЮСНИМИ НАКОНЕЧНИКАМИ ТИПУ «КІЛЬЦЕВА ВАННА» ДЛЯ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ	73
4.1. Зміст ідеї.....	73
4.2. Можливі напрямки застосування.....	73
4.3. Основні вигоди, що може отримати користувач товару.....	73
4.4. Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.....	74
4.5. <i>Технологічний аудит ідеї проекту</i>	76
4.6. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	78
4.7. Аналіз ринкового середовища.....	80
4.8. SWOT-аналіз.....	82
4.9. Розробка ринкової стратегії проекту.....	83

4.10. Стратегія конкурентної поведінки.....	84
4.11. Маркетингова концепція товару.....	84
4.12. Визначення цінових меж товару.....	85
4.13. Визначення оптимальної системи збуту.....	85
ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87

ВСТУП

Актуальність теми. В зв'язку з прискореним розвитком техніки, актуальними є проблеми підвищення якості та ефективності роботи деталей машин. Вирішення цих проблем значною мірою пов'язане із шорсткістю поверхневих шарів виробів. У зв'язку з широким використанням в сучасному виробництві високих швидкостей оброблення, тисків, температур, агресивних середовищ проблема підвищення надійності і довговічності деталей набула сьогодні особливої актуальності.

Одним з найперспективних шляхів при обробці деталей, в особливості із сталей 45 є метод магнітно-абразивного оброблення (МАО), який поєднує сучасні технологічні методи поверхневого оброблення і зміцнення, спрямовані на формування поверхонь як з заданою мікрогеометрією, так і з оптимальними властивостями поверхневого шару: твердістю, мікроструктурою і напруженим станом. Тому наукове обґрунтування комплексного використання такого перспективного методу як МАО при виготовленні деталей підвищеної надійності є безперечно актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська дисертація виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України і є частиною досліджень держбюджетної тем №2828ф «Основи теорії проектування різальних інструментів для високошвидкісної обробки».

Мета і задачі дослідження. Розробка торцевої головки на постійних магнітах для обробки площин та експериментальне дослідження впливу величини робочого зазору, частоти обертання та подачі на зміну шорсткості R_a та зміну величини опорної довжини профілю t_p від відносної висоти мікронерівностей мікропрофілю, шляхом магнітно-абразивного оброблення:

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз відомих видів постійних магнітів та їх властивостей і, як результат, обрати кращий з них.
2. На підставі аналізу відомих науково-технічних видань обрати такий магнітно-абразивний порошок (МАП), який буде максимально продуктивно обробляти поверхню.
3. Визначити вплив процесу МАО, в якому використовується МАП різних видів на якість поверхні.
4. Дослідити вплив величини робочого зазору, частоти обертання та подачі на зміну шорсткості R_a та зміну величини опорної довжини профілю t_p від відносної висоти мікронерівностей мікропрофілю.
5. Розробити рекомендації о можливості застосування полірувальних головок торцевого типу на постійних магнітах при фінішному обробленні плоских деталей з феромагнітних матеріалів.

Об'єкт дослідження – комплексне оброблення плоских деталей із Сталі 45 шляхом застосування методів МАО.

Предмет дослідження – підвищення якості та працездатності деталей.

Методи дослідження - для вирішення поставлених задач дослідження використовували основні положення теорії різання матеріалів, фізики твердого тіла, матеріалознавства, механіки контактної взаємодії, трибології різання, математичної статистики. Експериментальні дослідження виконані в лабораторних та виробничих умовах з використанням сучасних засобів вимірювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Для різних видів порошків було експериментально обрано оптимальний робочий зазор, подачу та частоту обертання, при яких шорсткість поверхні мінімальна.
2. Встановлено закономірності впливу складу магнітно-абразивного порошку на формування мікрорельєфу поверхонь.
3. Показано вплив шорсткості вихідної поверхні деталі, подачі, частоти обертання та робочого зазору на шорсткість поверхні деталі.
4. Проведено розширений аналіз стану мікрогеометрії поверхні обробки, визначено залежності зміни величини опорної довжини профілю від відносної висоти мікронерівностей мікропрофілю $t_p=f(p)$.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено рекомендації з використання комплексної технології MAO на фінішних етапах виготовлення деталей із Сталі 45. Визначено технологічні режими та умови оброблення деталей, що забезпечують якісне і рівномірне полірування поверхонь, формування мікрогеометрії, видалення мікроконцентраторів напружень у вигляді мікрозадирок, викив матеріалу на робочих поверхнях та підвищення фізико-механічних властивостей поверхневих шарів.

Результати роботи по застосуванню запропонованої технології підвищення якості деталей за рахунок підвищення шорсткості поверхні було використано в Національному технічному університеті України «КПІ ім. І. Сікорського», які забезпечували підвищення шорсткості деталей від 1,5 до 26 раз.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертації доповідались та обговорювались на Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудування 2018»

Публікації. За основними результатами дисертаційної роботи представлено в 1 тезі доповідей в збірнику матеріалів конференції.

Структура дисертації. Магістерська дисертація складається із вступу, 3 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 54 найменувань. Основний текст дисертації викладено на 85 сторінках, що містить 82 рисунки, 4 таблиць. Повний обсяг дисертації становить 118 сторінок.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ГАЛУЗІ ФІНІШНИХ МЕТОДІВ І МЕТОДІВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ

Кожна деталь машини повинна мати певні експлуатаційні властивості - міцність, зносостійкість, довговічність т.ін. Однак, залежать вони не тільки від матеріалу, з якого деталь виготовлена, але і в значній мірі від шорсткості поверхні деталі.

Чистова обробка виконується не тільки для отримання точної і гладкої поверхні, але і для найбільш високих механічних і фізичних властивостей поверхневого шару.

Бурхливе зростання технічного прогресу пред'являє все більші вимоги до сучасних машин, а це змушує машинобудівників шукати нові більш досконалі методи обробки поверхні деталей.

Одними з найбільш перспективних стають питання комплексного фінішного оброблення для забезпечення підвищеної працездатності за рахунок цілеспрямованого впливу на показники якості робочих поверхонь. Саме на фінішних етапах виготовлення можливо досягти підвищених експлуатаційних властивостей за рахунок покращення мікрогеометрії та фізико-механічних властивостей робочих поверхонь. В сучасному виробництві існує ціла низка методів фінішного оброблення, які спрямовані на формування тих чи інших показників якості. Вони розділяються на дві основні групи [1] – це методи механічного та фізико-механічного оброблення та методи нанесення спеціальних тонких зносостійких покриттів. Також мають місце спеціальні методи оброблення, до яких відноситься магнітне оброблення, ультразвукове оброблення та ін. Далі розглянемо основні з цих методів, які використовуються для підвищення роботоzдатності деталей.

1.1. Механічні методи фінішного оброблення деталей

Забезпечити формування необхідних показників якості деталей можливо саме на фінішних етапах їх виготовлення за рахунок цілеспрямованого впливу на фізико-механічні властивості поверхневого шару та макрогеометрію робочих поверхонь. Методи механічного оброблення і зміцнення, пов'язані з поверхневим пластичним деформуванням поверхневого шару, які спрямовано на формування в ньому високо дефектної структури з підвищеною щільністю дислокацій, подрібненою мікроструктурою, тощо і на створення мікрорельєфу поверхні, який забезпечує отримання високих експлуатаційних показників інструменту. До характеристик, що впливають на роботоzдатність відносяться: напружений стан приповерхневого шару, твердість, шорсткість поверхонь, їх макрогеометрія та

мікрогеометрія, яка включає в себе відсутність на них мікроконцентраторів у вигляді викришувань та сколів.

Зазначені параметри, як правило, формуються на фінішних етапах оброблення. При цьому забезпечується формування необхідного напруженого стану приповерхневого та поверхневого шару робочих поверхонь за рахунок поверхневого мікропластичного деформування, що супроводжується збільшенням густини дислокацій та ущільненням структури [2], підвищується твердість, знижується шорсткість, зникають мікроконцентратори напружень.

Алмазне шліфування. На практиці одним із завершальних етапів виготовлення деталей є шліфування. Даний метод підвищення працездатності, набув широкого розповсюдження за рахунок формування в тонкому поверхневому шарі при силовій та термічній взаємодії (особливо локальній), стискаючих напружень, величина яких залежить від умов оброблення і може досягати 2000 – 2500 МПа на глибині до 7 – 15 мкм [3]. Дані зміни зумовлюють зміцнення поверхневого шару, зростає втомна міцність, підвищується твердість поверхневого шару. Але недотримання режимів оброблення або використання засаленого алмазного круга призводить до збільшення локальних температур в зоні різання, що є причиною появи протилежного ефекту і в поверхневому шарі формуються несприятливі розтинаючі напруження, величина яких може досягати 1000 – 1500 МПа, внаслідок чого на поверхні можуть виникати мікротріщини, мати місце зниження межі міцності при згині.

Силова взаємодія при алмазному шліфуванні забезпечує зміцнення поверхневого шару за рахунок пластичного деформування зв'язуючої кобальтової складової та карбідних зерен, що супроводжується подрібненням блоків мозаїки. Тепловий фактор, навпаки сприяє формуванню розтягуючих напружень за рахунок неоднорідного термо-пластичного деформування.

Загальний недолік алмазного абразивного оброблення різального інструменту [3] – крапельний, або лінійчатий контакт алмазного інструменту з оброблюваною поверхнею.

Віб्रोабразивне оброблення. При віброабразивному обробленні поверхневий шар піддається поверхневому пластичному деформуванню за рахунок ударів частинок наповнювача (як правило, використовують бій абразивних кругів або сталі кульки) завантаженого разом з оброблюваними деталями в вібруючий контейнер, при цьому в поверхневих шарах оброблюваних деталей формуються стискаючі напруження, які безпосередньо впливають на збільшення міцності, величина їх може досягати 2000 – 3000 МПа і вони можуть залягати на глибину 0,1 – 0,2 мм [4].

Струминно-абразивне оброблення. Даний метод широко використовується для очищення від окалини, доведення деталей складної просторової форми, для зміцнення поверхонь та для підготовки поверхонь перед нанесенням зносостійких покриттів.

Суть процесу струминно-абразивного оброблення полягає в тому, що на оброблювану поверхню діє зі значною швидкістю струмінь абразивних зерен (рис. 1.1), які виконують зміцнення поверхні та зміну її мікрогеометрії. Оброблення відбувається завдяки наданню абразивним зернам великої кінетичної енергії, що забезпечує як мікропластичне деформування, так і видалення мікростружки. Кінетична енергія зернам надається за рахунок несучого середовища, яким може бути рідина або повітря.

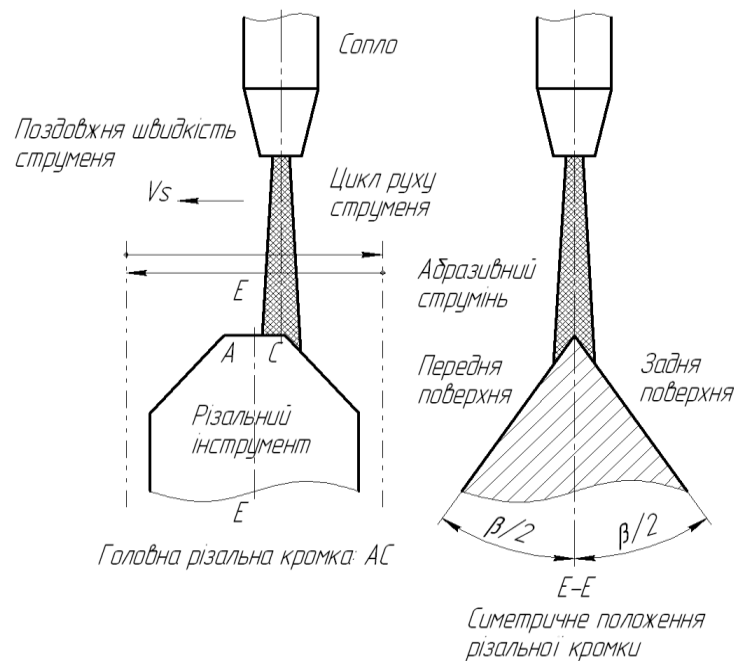


Рис. 1.1. Схема струминно-абразивного оброблення[16]

За своєю дією механізм зміни властивостей поверхневого шару при вібро – і струминних методах оброблення аналогічні алмазному обробленні.

Оброблення абразивними щітками. Оброблення абразивними щітками використовується для зняття задирок, окалини, видалення матеріалу, підвищення міцності, зносостійкості та корозійної стійкості поверхонь, для видалення мікрокапельної структури після нанесення зносостійких покриттів.

Оброблення абразивними щітками є високопродуктивним та ефективним методом оброблення деталей виготовлених з різних матеріалів, але тим не менше він має ряд недоліків. В процесі експлуатації має місце зношення волокон, що приводить до погіршення властивостей деталі. Також до недоліків можна віднести нерівномірність оброблення внаслідок складності попадання окремих волокон в напіввідкриті поверхні з малими розмірами, і в результаті можливе утворення тіньових зон в яких оброблення або не

проходить взагалі, або відбувається неефективно. Крім того під час оброблення може відбуватись засалювання щітки, що знижує ефективність процесу.

Оброблення у вільному абразиві. Оброблення у вільному абразиві відоме як тягове шліфування – це сучасний метод шліфування, яке здійснюється у вільному абразиві геометрично невизначеним шліфувальним інструментом, ущільненим інерційними силами [10, 11]. Оброблювані деталі занурюються в контейнер, що містить вільні абразивні зерна, якими можуть бути керамічні матеріали, карбід силіцію, корунд, мелена шкаралупа волоського горіху та ін. В процесі оброблення деталі здійснюють планетарний рух в абразивному середовищі з метою забезпечення рівномірного оброблення та полірування поверхонь. Тягове шліфування може здійснюватись в умовах сухого та вологого оброблення. Під час оброблення деталі не контактують між собою на відміну від методу віброабразивного оброблення.

Під час оброблення різні частини довгомірних деталей знаходяться на різній глибині в робочому середовищі, що супроводжується різними величинами сил, які діють на ці оброблювані елементи, що спричиняє нерівномірне оброблення по довжині оброблюваних деталей.

Зазначені вище методи оброблення забезпечують формування лише окремих показників якості: або покращують мікрогеометрію, або підвищують поверхневу твердість, або знижують шорсткість, або збільшують міцність, або збільшують запас енергії поверхонь. Саме тому актуальними є методи комплексного впливу, які забезпечують одночасне формування сприятливої мікрогеометрії, підвищення поверхневої твердості та зниження шорсткості.

Магнітно-абразивна обробка. Під магнітно-абразивною обробкою (МАО) розуміють клас способів механічної обробки, які базуються на взаємодії фероабразивного порошку, сформованого магнітним полем, яке виконує роль зв'язки, у порошковий магнітно-абразивний інструмент з поверхнею оброблюваної деталі з метою надання останній особливих, наперед заданих фізико-механічних властивостей. За своїм впливом на оброблювану поверхню метод МАО можна віднести до фінішних методів механічної обробки – полірування з елементами зміцнення поверхневого шару.

При обробці деталей із плоскими поверхнями найбільш поширені схеми обробки торцевою чи периферійною головкою при цьому виріб може знаходитися у спокої чи брати участь у простому, чи комбінованому русі.

Метод МАО дозволяє комплексно впливати на стан поверхневого шару, змінюючи його фізико-механічні властивості та мікрогеометрію. При МАО відбувається видалення задирок, полірування, зміцнення поверхневого шару, формування в приповерхневому шарі

залишкових стискаючих напружень, підвищення корозійної стійкості, контактної втомної довговічності. Дані зміни відбуваються за рахунок мікрорізання та пластичного деформування.

При MAO локальні температури не перевищують 200°C , відбувається активне відведення мікростружки з зони різання, тим самим запобігаючи засалюванню МАП, відбувається "м'який" вплив на оброблювані поверхні, активно переміщуються абразивні зерна, забезпечуючи постійну стабільну різальну здатність МАП. Також до переваг MAO віднесемо можливість керованого регулювання жорсткості МАП в широких межах, що забезпечує різне зусилля притиснення МАП до оброблюваних поверхонь.

1.2. Стисла характеристика методів і схем магнітно-абразивної обробки

Досить зручною є класифікація схем і пристроїв для магнітно-абразивної обробки, наведена в [20], яка дозволяє спростити вибір схеми магнітно-абразивної обробки за видом конфігурації оброблюваної деталі на початкових стадіях розробки технологічного процесу.

Для магнітно-абразивної обробки деталей типу тіл обертання найчастіше застосовується схема, що передбачає жорстке кріплення оброблюваної заготовки в центрах, між роликami, консольно щодо полюсів постійних магнітів так, щоб між полюсами. і оброблюваною поверхнею залишалися щілини, що заповнюються магнітно-абразивним порошком. При цьому полюсні наконечники магнітної системи, у залежності від габаритів оброблюваної деталі, можуть або розташовуватися з однієї сторони оброблюваної деталі або з протилежних сторін. Магнітне поле, створюване електромагнітами постійного струму чи постійними магнітами, застосовується для утримання магнітно-абразивного порошку у магнітній щілині в робочому стані, а оброблювана деталь виконує обертальний і осцилюючий рух, які можуть бути сполучені з подовжньою або поперечною подачею. Приклади реалізації способу наведено у [21, 22]. У подальших роботах наводиться удосконалення методу MAO для обробки тіл обертання. Так збільшення продуктивності обробки за рахунок зменшення часу заміни виробів досягається при використанні різних варіантів безцентрової обробки [23-25], де використовують в різних сполученнях ведучі і притискні ролики, опорні ножі, тощо. Запропоновано різні приводи осциляції, як оброблюваних деталей так і полюсних наконечників [20-31]. Відомі способи і пристрої для MAO, як правило, орієнтовані на обробку феромагнітних деталей в умовах малих магнітних щілин - відстань між оброблюваною поверхнею і поверхнею полюсного наконечника складає від 0.3 до 1.5-2 мм, чи що те ж саме – 3-10 характерних розмірів частинок порошку, необхідних для створення магнітних полів з індукцією в робочих зонах в межах 0,8-1,1 Тл. При цьому основною силою, що притискає абразивні зерна до поверхонь деталей є сила

магнітного поля. Використання таких схем для обробки немагнітних деталей неефективно із-за складності створення достатніх для обробки сил тільки за рахунок сил магнітного походження. Тому необхідним стає використання динамічного притискання магнітно-абразивного порошку до оброблюваних поверхонь. А це веде до зростання швидкостей МАО, і як результат до втрати працездатності МАІ за рахунок розкидання порошку або його винесення з робочих щілин.

При реалізації схем МАО тіл обертання, що передбачають активний рух МАІ можна виділити випадки руху останнього за рахунок переміщення магнітної системи постійного струму, і за рахунок створення обертового магнітного поля. Однією з перших конструкцій, що використовують енергію обертового магнітного поля, є пристрій, описаний в [32], який має принаймні чотири електромагнітні котушки, підключені до двох чи більш джерел змінного струму, які зміщені по фазі і розташовані по колу попарно, що дозволяє утворювати обертове магнітне поле, яке забезпечує рух магнітно-абразивного порошку відносно оброблюваної деталі. В іншій роботі [33] описано схему обробки, у якій магнітно-абразивний порошок утримується постійним магнітним полем стаціонарному стані в барабані, а обертове магнітне поле здійснює обертання барабану.

Використання механічних пристроїв переміщення порошку є типовим для конструкції, описаної в [34], де деталь закріплено нерухомо, а обертання передається електромагнітам, що утримують порошок, і має вид електромагнітної головки щілинного типу.

Обробку внутрішніх поверхонь, наприклад отворів в деталях, виконують за допомогою внутрішнього полюсного наконечника, який обертається. При цьому сама деталь виконує роль протилежного полюсного наконечника [35]. Для обробки внутрішніх поверхонь труб використовують електромагнітні індуктори, які обертаються і знаходяться зовні труби [36, 37], а магнітно-абразивний порошок розміщується всередині. Таким чином виконується обробка внутрішніх поверхонь навіть шестигранних труб [38].

При обробці деталей із плоскими поверхнями найбільш поширені схеми обробки торцевою чи периферійною головкою при цьому виріб може знаходитися у спокої чи брати участь у простому, чикомбінованому русі, а також схема обробки між валками, які зустрічно обертаються і являють собою полюсні наконечники магнітної системи [39, 40]. Вказаним схемам притаманні недоліки, які вказано вище.

Більш різноманітні схеми обробки деталей складної форми, оскільки самі деталі, які відносяться до цього класу, більш різноманітні. До пристроїв МАО деталей складної просторової форми відносяться установки і способи об'ємної обробки складних фасонних поверхонь, кінцевого інструменту, твердосплавних пластин що не переточуються, лопаток газотурбінних двигунів (ГТД) та інші.

Найбільше поширення одержала схема обробки, що містить кільцеву камеру і магнітну систему з магнітопроводом, обладнаним полюсними наконечниками, розташованими з протилежних бічних сторін камери, у якій формується МАІ і здійснює складний рух оброблювана деталь. Загальна схема установки збігається з описаною в [41], з тією різницею, що обертання деталі навколо своєї осі замінюється на інший рух. Розроблено значну кількість пристроїв для завдання виробам складної, траєкторії переміщення у робочих щілинах. Опис типових пристроїв наведено в роботах [42-44]. Для обробки лопаток газотурбінних двигунів використовують схеми, описані в [45, 46]. У [45] запропоновано схему типу кільцевої ванни, де лопаткам замість обертання навколо осі кільцевої ванни надається коливальний рух навколо своєї осі. У [46] запропоновано схему, по якій лопатка виконує коливальний рух уздовж щілин, що має форму частини кільця з радіусом заокруглення близьким до радіуса робочих поверхонь пера лопатки.

Для обробки зубчатих і гвинтових поверхонь, видалення задирок застосовують схеми з зачепленням оброблюваних поверхонь між собою, з контр - тілами чи полюсними наконечниками спеціальної форми [39, 47-49].

У роботі [50] описано результати обробки різних деталей складної форми, у тому числі шестерень, деталей швейних машин, кульок. Повідомляється, що на верстаті спеціальної конструкції, розробленому у ФТІ АН БРСР, вдається знизити шорсткість поверхні кульок до $Ra = 0,05$ мкм [51]. Головний вузол верстата складається з двох дисків з жолобами, що утворюють тор, заповнений кульками і магнітно-абразивним порошком. Диски, які відіграють роль різнойменних полюсів, обертаються в різні сторони й осцилюють у горизонтальній площині завдяки чому кульки здійснюють складні рухи.

Прикладом використання рухливого МАІ для деталей складної форми може служити схема, запропонована в [52], де деталь підвішується вертикально на пружині і вводиться в контейнер, який розташовано в електромагнітній котушці, через яку пропускають змінний електричний струм. Контейнер заповнюють магнітно-абразивним порошком, що рухається під впливом змінного магнітного поля, створюваного котушкою.

В установці для обробки лопаток газотурбінних двигунів, яку наведено в [53], використовується енергія обертового магнітного поля, що переміщує постійний магніт, який утворює разом з електромагнітами змінного струму кільцеву камеру, у якій жорстко закріплено лопатки і розташовано магнітно-абразивна порошок масу.

Для обробки виробів складної просторової форми можна також застосувати різного типу торцеві і радіальні головки, які використовують для обробки плоских поверхонь. Вони можуть використовуватися як наладки до стандартного металорізального устаткування, а також на ручному інструменті. Як і в разі схем обробки деталей простих форм при МАО

деталей з фасонними поверхнями магнітне поле виконує функції віртуальної зв'язки, яка забезпечує притискання МАІ з метою створення сил різання. Але ефективність відомих методів MAO недостатня у зв'язку з тим, що не враховуються і не реалізуються позитивні властивості МАІ, такі як його рухливість в робочих щілинах, спроможність нівелювати відносно оброблюваної поверхні, реологічні властивості, які безпосередньо впливають на процеси відновлення різальної і поліруючої спроможності МАІ під час обробки. А сам метод MAO за поведінкою МАІ наближається до виду абразивної обробки з жорстко зв'язаним абразивом.

У [40] наведено феноменологічну класифікацію усіх можливих кінематичних схем магнітно-абразивної обробки. Виділено близько 200 схем, що відрізняються видом оброблюваних деталей, відносними рухами, функціональним використанням магнітного поля.

Показано, що відомі способи і схеми для магнітно-абразивної обробки дозволяють робити обробку широкої номенклатури деталей різної форми і розмірів, виготовлених з різних матеріалів. Але обробці деталей з плоскими поверхнями приділено значно менше уваги.

Тому необхідна розробка концептуального підходу до МАІ деталей, який би дозволив створити метод для обробки різноманітного призначення. Саме такий підхід повинен спиратися і бути спрямован на відтворення умов оптимального формування МАІ, який за рахунок можливості регульованої зміни своїх властивостей дозволяв на стандартному уніфікованому обладнанні забезпечувати ефективну MAO різноманітних деталей і продуктивно вирішувати задачі фінішної механічної обробки. Створення такого МАІ потребує мати вичерпну інформацію не тільки про властивості МАІ, які будуть суттєво залежати від основних характеристик МАМ, а і про вплив процесу MAO з використанням спеціального МАІ на геометричні, мікрогеометричні і фізичні властивості поверхонь деталей, що оброблюються.

1.3. Дослідження, які були проведені в даній галузі

В статті «Експериментальні дослідження сил, що діють під час магнітно-абразивної обробки» [5], говорили, що процес магнітної абразивної обробки – це той, в якому матеріал видаляється таким чином, що обробка поверхні і видалення задирок виконується одночасно з доданим магнітним полем в зоні обробки. Знання сил, що діють під час MAO важливо для розуміння механізму видалення матеріалу. Сили безпосередньо впливають на формування готової поверхні і точність заготовки. У цій статті наводяться експериментальні дані про сили, що діють під час MAO, і забезпечується кореляція між поверхнею і силами. Був розроблений і виготовлений перетворювач сили опору (кільцевий динамометр). Він

використовується для вимірювання складової нормальної магнітної сили для мікроіндентування в заготовку і тангенціальну складову сили різання, що створює мікростружку. Дані про силу записувалися в режимі онлайн з використанням віртуальних інструментів (з використанням програмного забезпечення Lab-View).

Принципова схема пристрою використана для плоскої магнітної абразивної обробки показана на рис.1.2 (а). Весь пристрій монтується на вертикальному фрезерному верстаті. Заготівля і пристосування для заготовки виготовлені з тієї ж самої феромагнітної легованої сталі. У цьому процесі щільність магнітного потоку змінюється від 0 до 0,44 Т в робочому повітряному зазорі 1,00-20 мм. Робочий зазор заповнений гомогенною сумішшю абразивів з карбиду кремнію (сітка № 600) і частинок феромагнітного заліза (сітка № 300) в співвідношенні 25:75 за вагою відповідно. Феромагнітний порошок має кілька ріжучих кромки і поводить себе як багаточковий різальний інструмент. Щоб видалити матеріал у вигляді крихітних часток і виконати чистову операцію, обертальний рух до щітки забезпечується обертанням магніту, і тому кисть обертається одночасно з тією ж швидкістю. В даному експерименті швидкість різання змінюється від нуля в центрі до максимуму на периферії через зміни радіусів кисті.

Механізм видалення матеріалу в будь-якому процесі обробки може бути зрозумілий за допомогою знань про сили, що беруть участь в процесі. Тому значна кількість досліджень було направлено на вимір сил під час МАО. Сигнали сили від динамометра були отримані за допомогою даних карти збору даних і дані сили були оброблені та проаналізовані з використанням програмного забезпечення віртуального інструментарію. Як згадувалося раніше, абразивні частинки, захоплені між частинками залізата верхньою поверхнею заготовки, обертаються як невід'ємна частина гнучкої магнітно-абразивної щітки (ГМАЩ). Активні абразивні частки контактують із заготівлею і створюють в ній микроіндентування. Кожна активна абразивна частка обертається в своїй власній доріжці з певним радіусом від центру ГМАЩ (рис.1.2 (д)) і створює силу різання (F_c), що дорівнює опору, створюваного деталлю при її деформуванні (подрібнення відбувається тільки в тому випадку, якщо сила різання дорівнює або перевищує опір, що створюють мікронерівності поверхні деталі). В іншому випадку частка буде обертатися і зменшувати глибину поглиблення так, щоб виконувалася умова для маленької частинки. Динамометр вимірює силу різання (F_c), а також нормальну магнітну силу (F_{mn}). Під час експериментів використовувався диск (товщиною 110,0 мм і 10,0 м), з шириною щілини 24,0 мм для фіксації заготовки (100,0 × 24,0 × 3,40 мм).

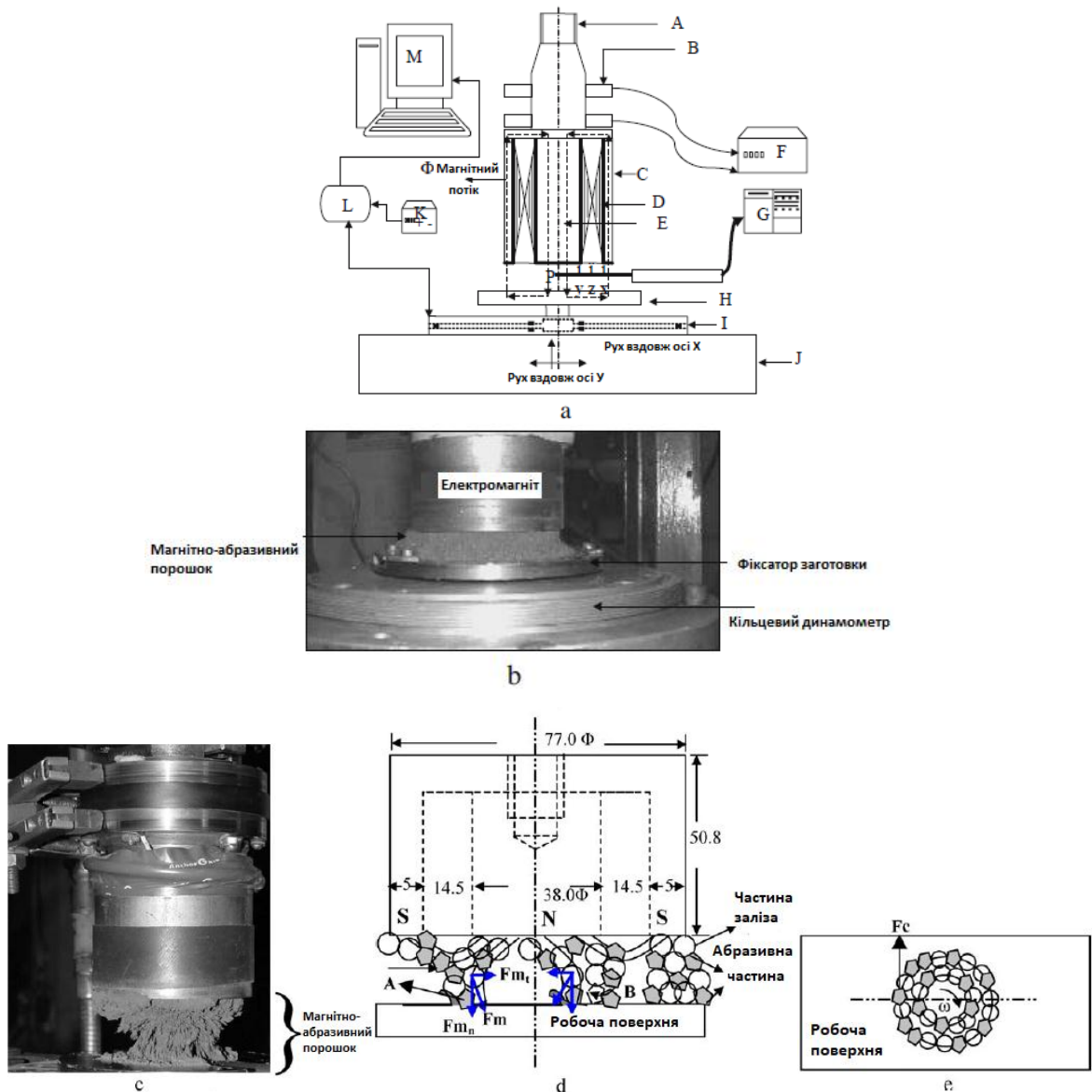


Рис. 1.2(а) –Схема установки магнітно-абразивної обробки площини. А – Головний шпиндель вертикального фрезерного верстата, кільця В ковзання, зовнішній полюс С (південний полюс), котушка D, центральний полюс Е (північний полюс), джерело живлення постійного струму F, цифровий вимірювач Гаусса G, динамометр I, J – стіл верстата, К - 6,0 В пост. струму для блоку формування сигналу, блок формування сигналу L, М – ПК для запису даних сили, Р – вимірювач Гаусса; (б) – Фотографія гнучкої магнітної абразивної щітки; (с) - Фотографія ГМАЩ при великому робочому зазорі при заповненні магнітними абразивними частинками. (д) – процес оброблення абразивними частинками і сили, що діють під час процесу MAO; (е) – обертання частинок на поверхні

Зроблено висновок, що сили і зміна шорсткості поверхні (ΔRa) збільшуються зі збільшенням струму електромагніту (або щільності магнітного потоку) і зменшенням робочого зазору (рис. 1.3 – 1.6).

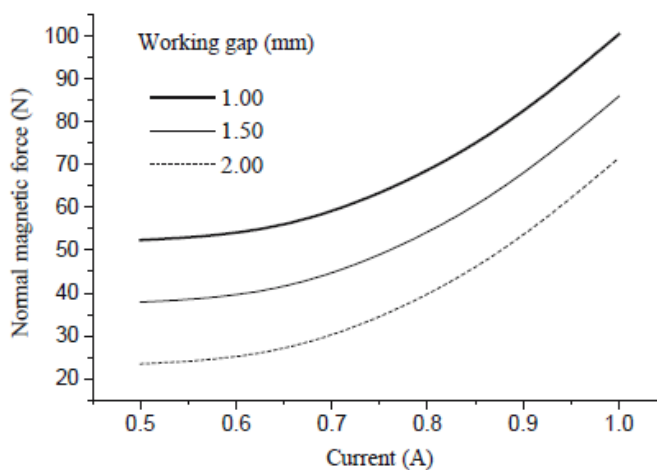


Рис. 1.3. Вплив струму на нормальну магнітну силу (F_{mn}) з різними робочими зазорами, об/хв = 125, мастило = 3%, час = 45 хв

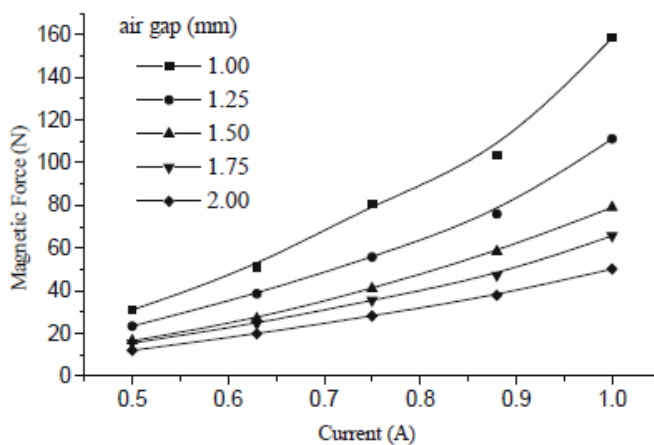


Рис. 1.4. Зміна магнітної сили від струму для різних повітряних зазорів

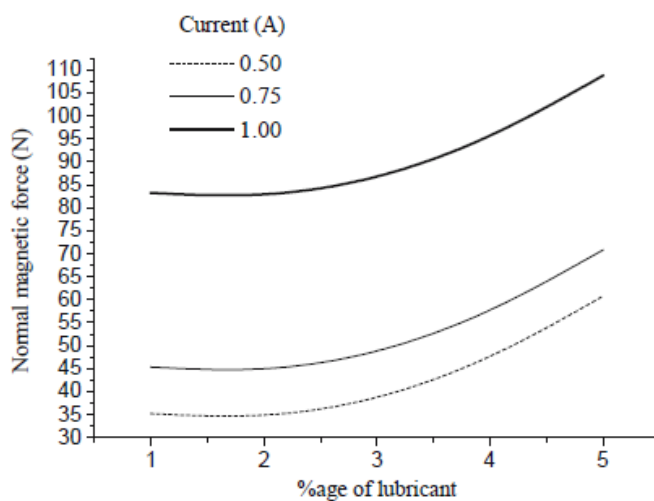


Рис. 1.5. Вплив відсотка мастила на нормальну магнітну силу (F_{mn}) для різних значень струму, об/хв = 125, робочий зазор = 1,50 мм, час = 45 хв

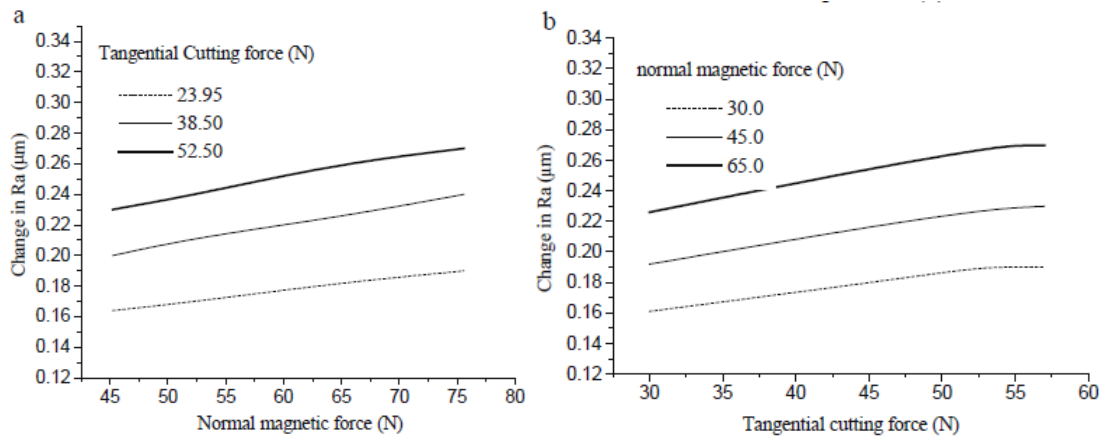


Рис. 1.6.а – Вплив нормальноїмагнітної сили на зміну Ra для різної тангенціальної сили різання, б – Вплив тангенціальної сили різання на зміну Ra для різної нормальної магнітної сили

Але в цій статті не було дослідження щодо впливу подачі, частоти обертання, типу і розміру порошку на шорсткість поверхні.

В [6], проводилось нанооброблення поверхонь діамагнітних матеріалів, таких як мідь та його сплавів.

У деяких галузях, як лазерна промисловість, аерокосмічна, стоматологія тощо широко застосовують високоочищені мідні дзеркала. Оскільки мідь - м'який і хімічно реактивний матеріал, його обробка поверхні на нанорівнях є важкою задачею. Для реалізації цієї потреби розроблено нову магнітно-реологічну техніку для точної обробки поверхні діамагнітних матеріалів. Два циліндричних постійних магніти разом з магнітно-реологічною полірувальною рідиною були використані для обробки діамагнітного сплаву. Інструмент з постійних магнітів з магнітно-реологічною шліфувальною рідиною на поверхні наконечника обертається на поверхні виготовлюваної заготовки зі сплаву міді та виконує обробку затверділою магнітно-реологічною полірувальною рідиною.

Сила магнітного поля є найважливішою вимогою в процесах чистої обробки на основі магнітно-реологічних рідин (МР). Оскільки більше магнітне поле більш жорстке - полірувальна рідина МР міцніша, утримує абразиви на поверхні заготовки. МР повинні мати достатню міцність, щоб долати зсувну силу мікроступів на шорсткій поверхні матеріалу заготовки. Індукція більш сильного магнітного поля в робочій області дуже важлива. Тому відповідний інструмент для обробки з використанням постійних магнітів, призначений для виконання вищевказаного вимоги. Для аналізу ефективності пропонованого дизайну оздоблювального інструменту було проведено дослідження розподілу магнітного поля в робочій зоні. Фінішна обробка за допомогою полірувальної рідини і діамагнітного мідного сплаву була змодельована в Maxwell Ansoft V13software. З магнітно-статичного моделювання з кінцевим елементом (FE) в робочій області було досліджено розподіл

щільності магнітного потоку. Два циліндричних постійних магніти були використані для створення інструменту для обробки. Один з них - порожній циліндричний постійний магніт (магніт 1), а інший - суцільна циліндрична постійна магнітна мережа (звана магнітом 2), як показано на рис. 1.7. Спочатку моделюються магніт 1 і обертається вал з нержавіючої сталі. Один кінець валу, що обертається моделюється таким чином, що він щільно прилягає до внутрішнього діаметру магніту 1, як показано на рис.1.7 (а). Моделюється обертання валу з нержавіючої сталі, який використовується для обертання інструменту для обробки заготовку з мідного сплаву. Далі магніт 2 моделюється за щільно прикріпленій магнітом 1, як показано на рис.1.7 (б). Магніт 2 використовувався в установці для рівномірної обробки. Магніт 1 використовується для прикріплення магніту 2 і обертового вала. Обидва циліндричних постійних магніти мають однаковий діаметр і виконані таким чином, що протилежні поверхні, звернені до однієї і тієї ж поверхні, так що обидва магніти можуть склеюватися разом з відповідною міцністю зчеплення. Магніт 2 можна змінити відповідно до необхідної геометрії. Отже, конструкція оздоблювального інструменту гнучка для обробки заготовок з різною геометрією. На рис. 1.7 (а) показано моделювання обертового вала і холодного циліндричного постійного магніту (магніт 1). На рис. 1.7 (б) показана магнітна модель дискретного виду твердого циліндричного постійного магніту (магніт 2) і об'єднана модель обертового вала і холодно-циліндричного постійного магніту (магніт 1). Нарешті, всі частини були з'єднані разом, щоб зробити повний фінішний інструмент, показаний на рис.1.7 (с). Потім полірувальна рідина з відносною проникністю $\mu=5$ змодельована під магнітом 2 товщиною 1,5 мм (робочий зазор). Нижче 1,5 мм товщини рідини МР полімеризації моделюється діамантний матеріал, тобто мідь з відносною проникністю $\mu=0,999991$ (з бібліотеки Maxwell Ansoft). У реальній практиці полірувальна рідина застигає на нижній поверхні інструменту для обробки завдяки магнітному полю, створюваному комбінованим ефектом двох постійних магнітів, і виконує його обробку на поверхні деталі з мідного сплаву шляхом його обертання.

Отримано та проаналізовано розподіл щільності магнітного потоку в робочому проміжку.

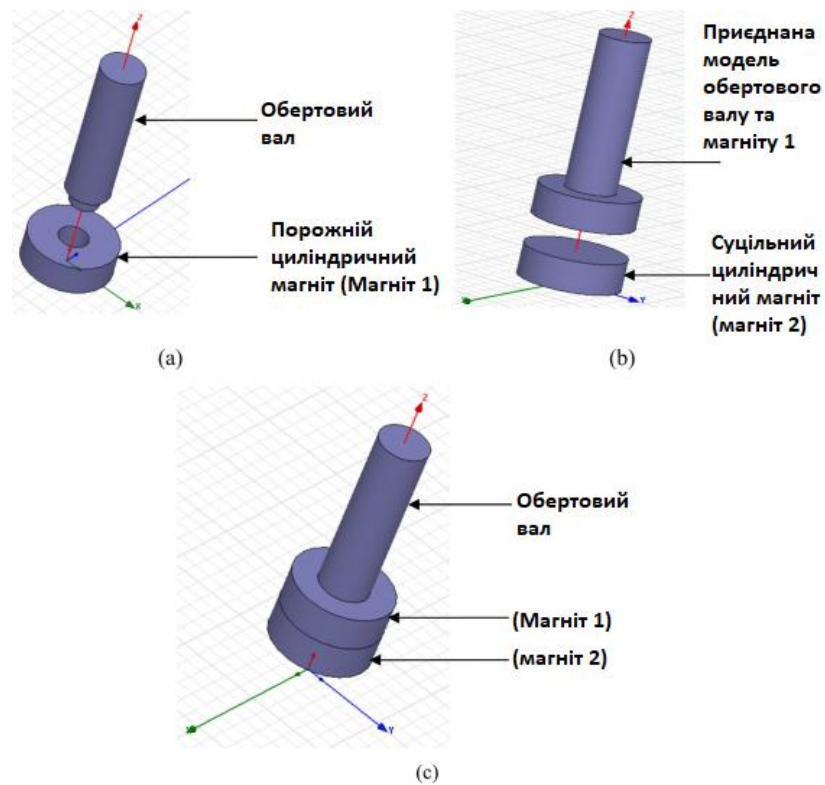


Рис. 1.7. Магнітна модель (а) обертового валу і полого циліндричного постійного магніту, (б) суцільний циліндричний постійний магніт і об'єднана модель обертового валу і холодного циліндричного постійного магніту і (с) остаточний інструмент для остаточної обробки постійного магніту.

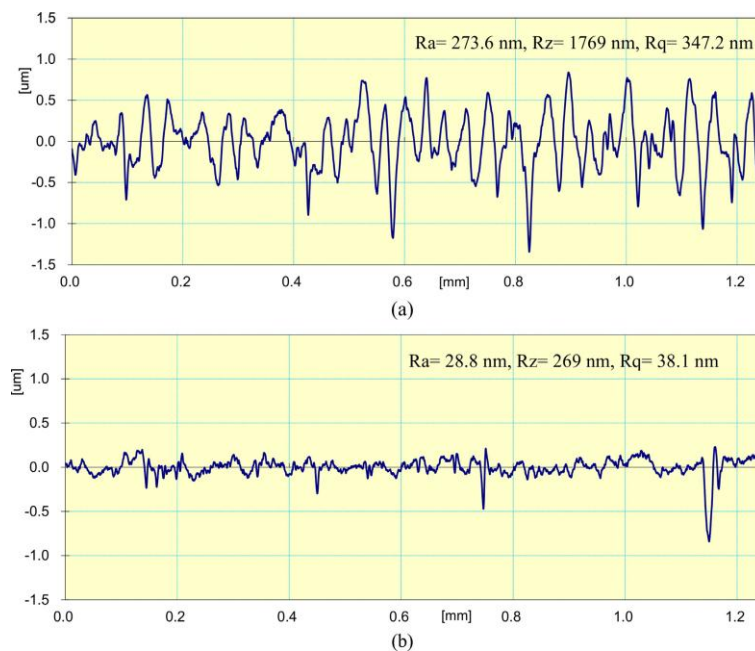


Рис. 1.8. Профілі шорсткості поверхні деталі з мідного сплаву (а) початкові і (б) остаточні після закінчення 7,5 хв.

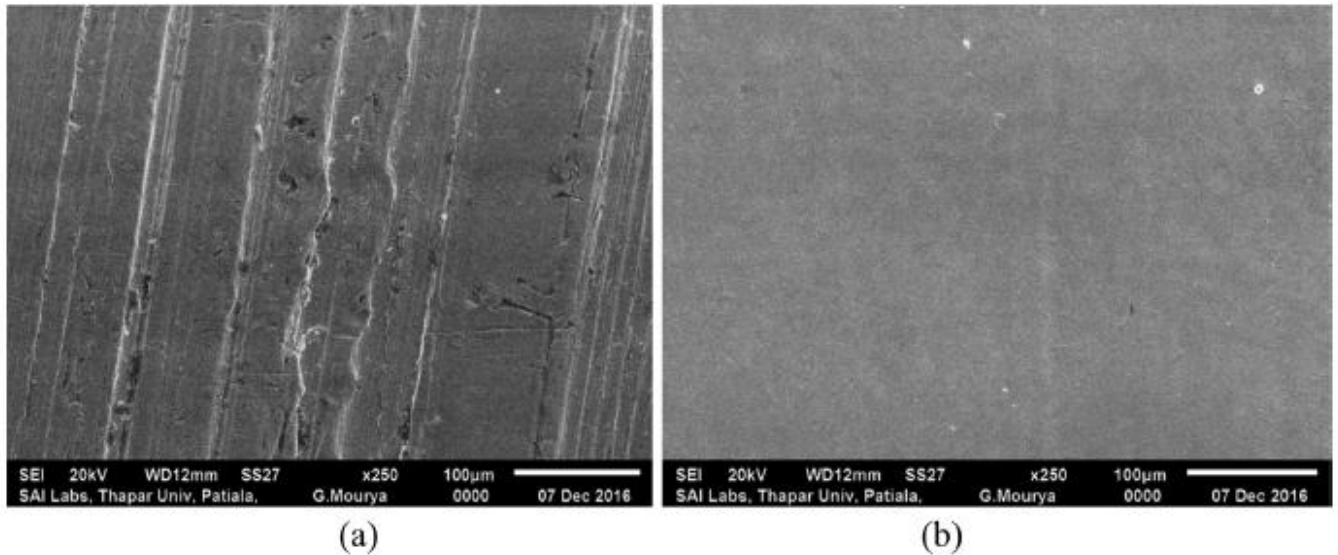


Рис. 1.9. Скануюча електронна мікроскопія (СЕМ) заготовки мідного сплаву (а) до і (б) через 7,5 хв циклу обробки

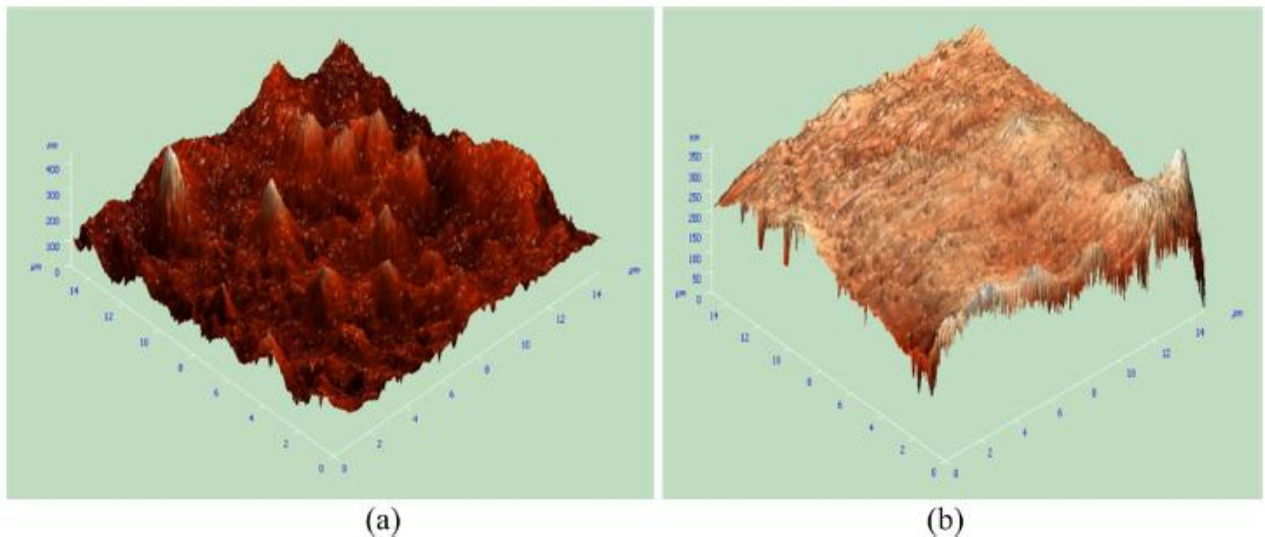


Рис. 1.10. Атомно-силова мікроскопія (АФМ) призводить (а) до і (б) після закінчення 7,5 хв
Найменше значення Ra 28,8 нм досягається по закінченню часу 7,5 хв з початкового значення 273,6 нм. Поверхневі характеристики як полірованої, так і необробленої деталі аналізуються за допомогою скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) (Рис. 1.9) та атомно-силової мікроскопії (АФМ) (Рис. 1.10).

В [7] був розроблений новий процес обробки, а саме хіміко-механічна магнітно-абразивна обробка для полірування заготовок кремнію, які поєднують корисні властивості хімічного механічного полірування (ХМП) та магнітно-абразивної обробки (МАО) без шкоди для будь-якого процесу. Хімічні реакції, пов'язані з ХМП, використовуються для підвищення якості обробки, в той час як поліруюча рідина використовується для контролю величини сил, що діють на заготовку, яка контролює швидкість видалення матеріалу і мінімізує проблеми цілісності поверхні. Пристрій було спроектовано і побудовано для наноброблення

кремнієвих підкладок. Цей процес здатний закінчувати заготовки кремнію з нанометричним покриттям, мінімальними дефектами поверхні і більш високими коефіцієнтами видалення.

Пристрій (Рис.1.11) було розроблено та виготовлено з урахуванням основних механізмів процесу і основних функціональних вимог. Обертальний рух до полірувальної щітки забезпечується вертикальною системою обертання, яка приводиться в дію трифазним асинхронним двигуном, а його швидкість (об/хв) управляється незалежним частотно-регульованим приводом. Інша система руху управляє швидкістю подачі в напрямку X. Довжина ходу контролюється релейним блоком і кінцевими вимикачами. Магнітний шліфувальний інструмент ділиться на дві різні зони в залежності від інтенсивності магнітного поля (Рис. 1.12 (а)). Зона 1 - верхня поверхня магніту (N-полюс). Він ідентифікується як зона однорідного магнітного поля, тоді як зона 2 ідентифікується як неоднорідна зона магнітного поля. На рис. 1.12 (а) показана фотографія подушки (з нижньої сторони) або освіту гнучкою магнітної абразивної щітки на магніті і навколо нього. На рис. 1.12(б) показана текуче середовище МР, яка відділяється після здавлювання під час операції обробки. У цьому процесі магнітна сила левітації переноситься на активні абразивні частинки. Сила магнітних частинок під дією магнітного поля безпосередньо залежить від щільності магнітного потоку і його градієнта. У зоні 1 розподіл магнітних ліній потоку рівномірний, що відповідає за постійну щільність магнітного потоку у всій зоні 1. Отже, ця сила дуже мала. Також спостерігалось, що в зоні 2 є великий градієнт щільності магнітного потоку (Рис. 1.13). Отже, магнітна сила набагато більше в Зоні 2 в порівнянні з зоною 1. Також спостерігається, що магнітна сила стає меншою, коли одна йде далеко від Зони 1. Всі перераховані вище фактори допомагають в поділі магнітних частинок в Зоні 2. Таким чином, зона 1 і зовнішня сторона зони 2 не володіють великою магнітною силою. Ось чому в цих регіонах накопичується значна кількість немагнітних частинок (абразивів). Це накопичення немагнітних частинок відбувається через магнітну сили левітації. Як обговорювалося вище, під час фінішної обробки деякі хімічні абразиви (CeO_2) і неактивні абразиви (Al_2O_3) дифундують із зони 1 в зону 2 під час обробки. Деякі абразиви руйнуються через хімічну реакцію, а інші руйнуються через механічний вплив.

Після попередніх експериментів були встановлено залежності, які показано на рис. 1.14.

Обробка заготовки проводилась у три етапи, як показано на рис. 1.15.

В ході роботи були зроблені наступні висновки:

1) Процес має можливість працювати з кремнієм за рахунок комбінованого ефекту хімічної активації, а також механічної ерозії. Найкраща якість обробки поверхні становить 4.8Å .

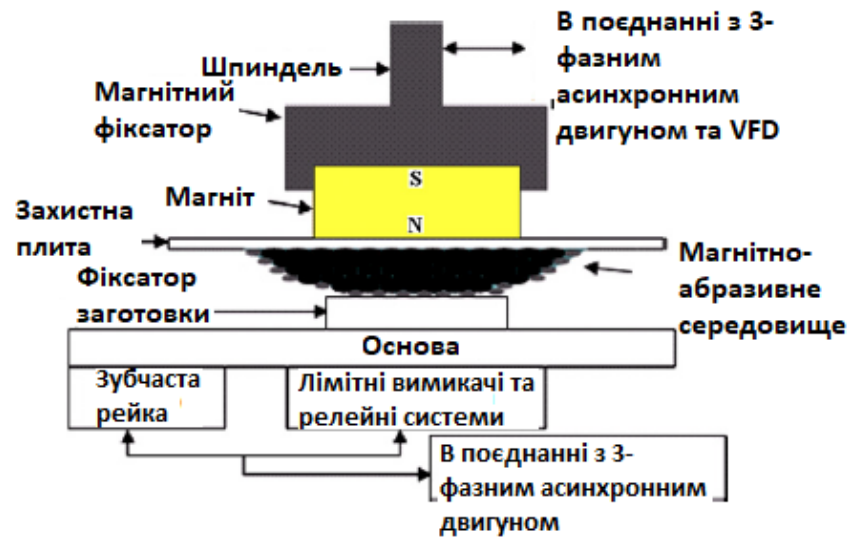


Рис. 1.11. Схема експериментального пристрою



Рис. 1.12 (а) Магнітно-жорстка гнучка магнітна щітка і (б) стиснута полірувальна рідина під час операції обробки

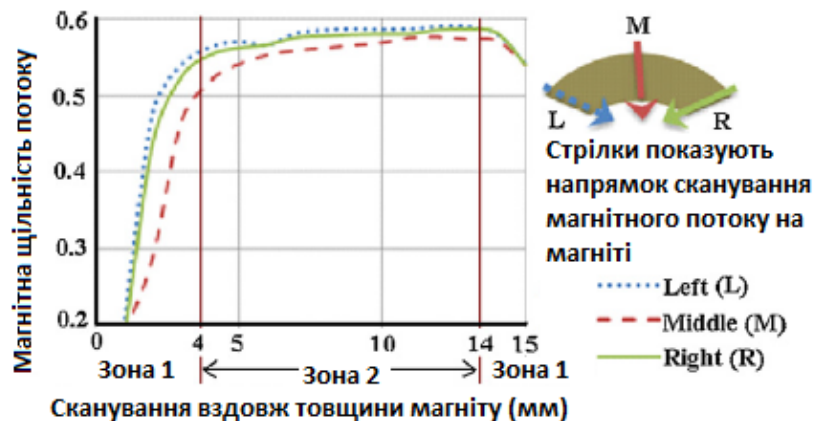


Рис. 1.13 Розподіл щільності магнітного потоку на поверхні магніту

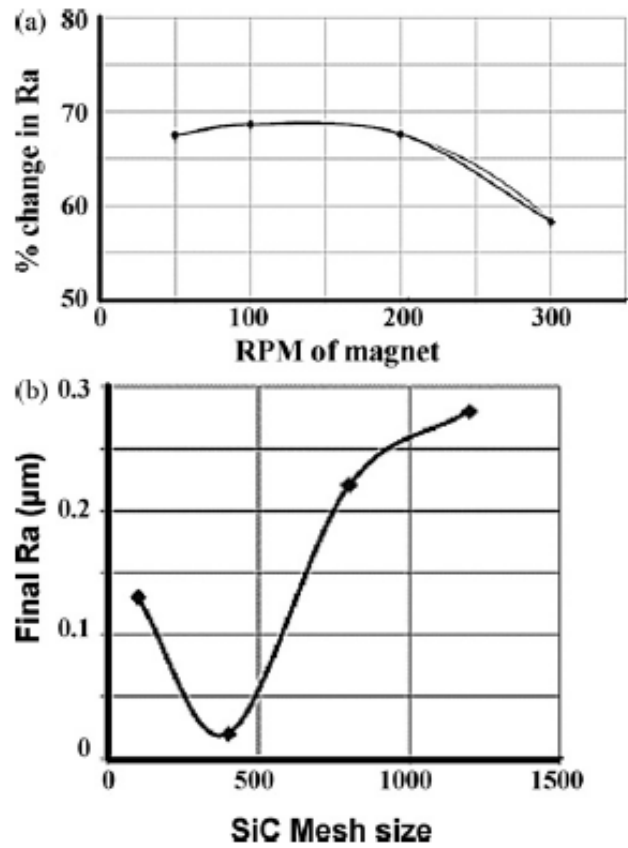


Рис. 1.14 (а) Вплив швидкості обертання на зміну Ra в % і (б) критична шорсткість в порівнянні з абразивним числом сітки

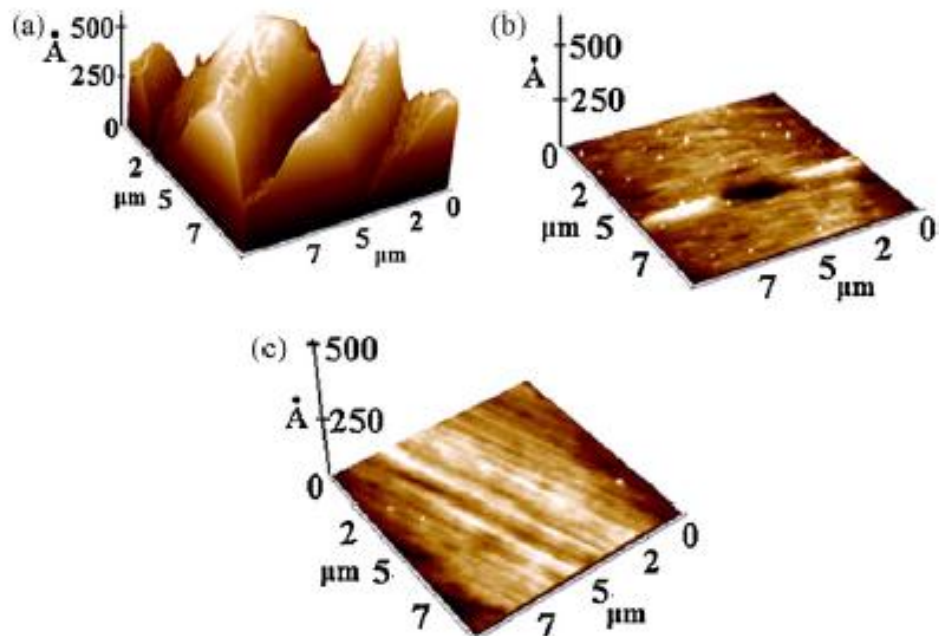


Рис. 1.15 (а) поверхня після обробки ($R_a = 13,4$ нм, $R_z = 77,5$ нм), (б) після напівтонкої обробки ($R_a = 0,5$ нм, $R_z = 10,8$ нм), (с) ультратонка обробка ($R_a = 0,5$ нм, $R_z = 5,2$ нм)

2) Оздоблення з дуже тонким абразивом призводить до чудової обробки поверхні. Впровадження трьох різних етапів обробки призводить до отримання поверхні без подряпин.

3) Важливими параметрами, які були ідентифіковані в процесі, є робочий зазор, час обробки і швидкість обертання магніту, які представлені на рис. 1.16 – 1.18.

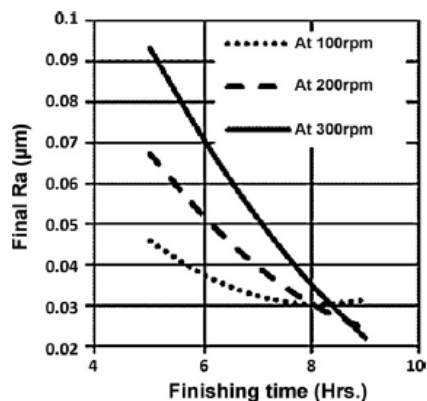


Рис. 1.16 Залежність шорсткості Ra (мкм) від часу обробки, при сталому робочому зазорі 1 мм

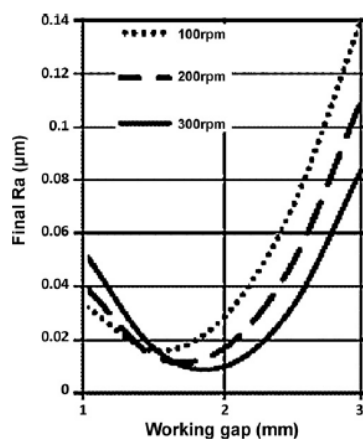


Рис. 1.17 Залежність шорсткості Ra (мкм) від величини робочого зазору, при сталому часі обробки – 7 год

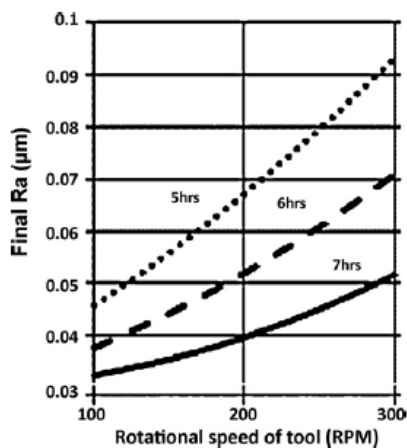


Рис. 1.18 Залежність шорсткості Ra (мкм) від швидкості обертання, при сталому робочому зазорі 1 мм

На рис.1.19 (а) і (б) показана початкова і кінцева топографія поверхні кремнію.

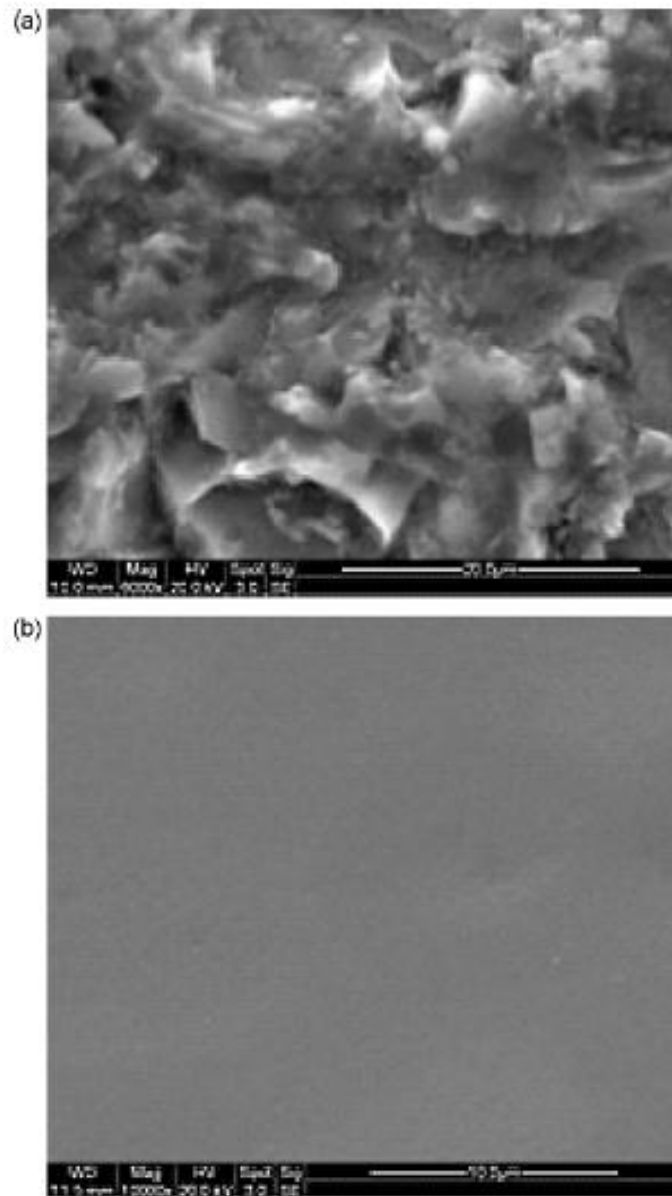


Рис.1.19 (а) – початковатопографія поверхні кремнію, (б) кінцева топографія поверхні кремнію

Даний метод хіміко-механічного магнітно-абразивного оброблення потребує доопрацювання, тому що час за який проводиться обробка дуже великий, що погано впливає на продуктивність праці.

В [8], говорилось, що у більшості процесів обробки для досягнення ультра-гладких плоских поверхонь потрібно полірування на заключній стадії, щоб усунути залишкові напруги і видалити поверхневі (або підповерхневі) пошкодження. Серед існуючих методів часто використовувалися притирання або шліфування з використанням рихлих абразивів, проте було важко отримати поверхню, яка повністю не містить поверхневих (або

підповерхневих) пошкоджень і залишкової напруги. Хіміко-механічна поліровка (ХМП) може відповідати вимогам, але цей процес менш ефективний для деяких матеріалів. Нещодавно була використана еластична емісійна обробка (ЕЕМ), але ефективність її видалення була надзвичайно низькою. Магнітно-реологічне (МР) полірування було продемонстровано як інструмент для створення надгладких поверхонь ефективним способом. У цьому процесі МР-рідина була сформована в жорстку смугу для рідини в магнітному полі, яка використовувалася в якості інструменту для полірування. Жорсткість і форму стрічки МР-рідини можна контролювати, регулюючи силу магнітного поля, які відіграють важливу роль при виконанні процесу полірування МР.

При звичайному поліруванні за магнітне джерело часто використовується електромагніт з повітряним зазором. Як показано на рис.1.20 (а), текуче середовище МР твердне, утворюючи стрічку з дугового текучого середовища, коли вона подана по повітряному зазору, і заготівля взаємодіє з поверхнею вершини дугового текучого середовища. Тому площа контакту між заготівлею та стрічкою МР мала, що, таким чином, неефективно для площин великих плоских поверхонь. Щоб збільшити площу контакту між заготівлею та стрічкою МР, часто використовуваний повітряний зазор був замінений прямим повітряним зазором на хомуті постійного магніту (ПМ) в цій роботі. Як показано на рис. 1.20 (б), розроблений хомут ПМ складаються з двох постійних магнітів, які складаються з N50 класу NdFeB і чистої залізної плити внизу. Таким чином, клини двох постійних магнітів утворюють прямий повітряний зазор. Коли рідина МР тече по повітряному зазору, її зміцнюють, утворюючи пряму стрічку МР-рідини шириною 100 мм і шириною 55 мм, як можна бачити на рис.1.20 (с). При МР-полірування плоска поверхня заготовки контактує з гребенем прямої стрічки, тому може бути сформована велика прямокутна область полірування. Слід зазначити, що, незважаючи на те, що була утворена набагато більша стрічка МР-рідини, магнітний потік, що генерується над повітряним зазором, був менш однорідним, ніж звичайний процес.

На рис.1.21 (а) показано, що шліфувальні мітки, які були зроблені на зразках скла $70 \times 70 \text{ мм}^2$, $50 \times 50 \text{ мм}^2$ і $30 \times 30 \text{ мм}^2$ і обробили приблизно наступну площу поверхні – 1974, 1196 і 267 мм^2 відповідно. Мабуть, полірована область пов'язана з контактом між заготівлею та стрічкою МР. За цієї обставини, чим менше заготовка, тим менше площа була відполірована.

На рис. 1.22 показано, що швидкість видалення матеріалу в процесі полірування залежить від ряду параметрів, зокрема, від швидкості проходу, робочих зазорах, концентрацій стружки і абразивних частинок усередині МР-рідини і розміру заготовки.

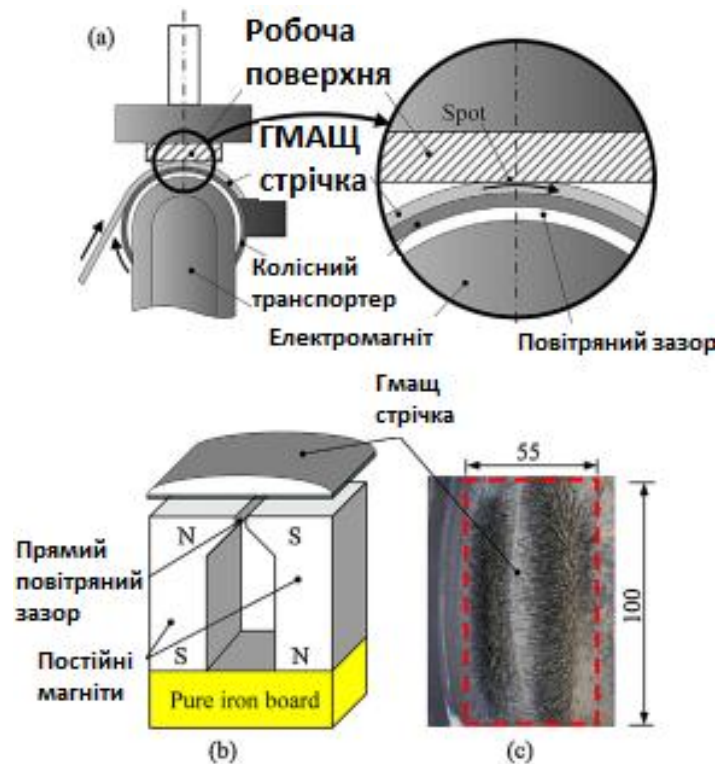


Рис. 1.20 Схематичні ілюстрації (а) пристрою, в якому використовується електромагніт з повітряним зазором дуги і (б) новий пристрій з прямим повітряним зазором; (с) Оптичне зображення прямої МР-рідини

У цій роботі був розроблений процес полірування МР з використанням ПМ з прямим повітряним зазором в якості блоку збудження. Експериментальні виміри продемонстрували, що новий пристрій був здатний виробляти відносно велику робочу зону стрічки МР в порівнянні зі звичайним процесом МР. Цей розроблений процес явно показав, що він має перевагу при поліровці відносних великих поверхонь з точки зору ефективності обробки. Параметричні випробування на полірування показали, що швидкість видалення матеріалу МР-полірування збільшується зі збільшенням швидкості обертання жолоби, швидкості обертання заготовки або СР і концентрації CeO_2 може збільшуватися. Однак вплив концентрації CeO_2 на швидкість видалення досягне насичення через обмеження площі поверхневого контакту між CeO_2 і заготовлею. Остаточний експеримент із полірування МР показав, що поверхня скла може бути поліпшена до значення шорсткості 1 нм в Ra після 60 хвилин полірування з початкової шорсткою поверхні 127 нм в Ra. Результат підтвердив, що МР-полірування з використанням ПМ з прямим повітряним зазором має великий потенціал для надгладкої поверхні при відносно високій ефективності.

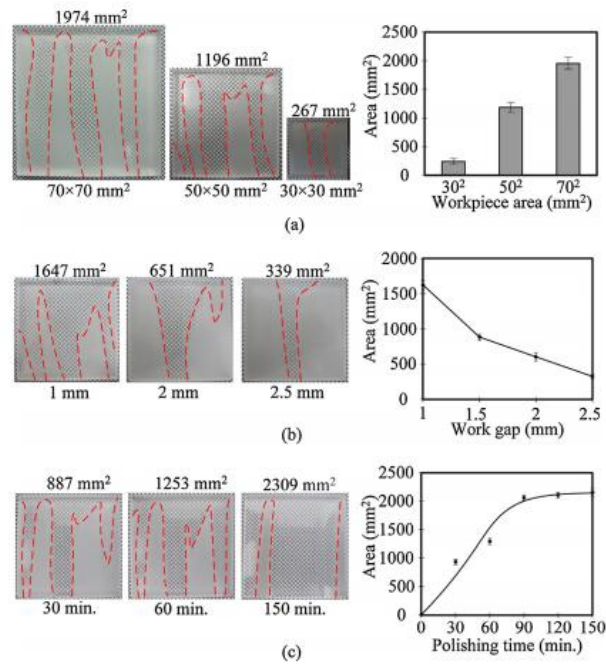


Рис. 1.21 (а) Полірувальні мітки на різних зразках скла і їх полірованих ділянках, нанесених в залежності від площі заготовки, де зазор збудження = 6 мм, робочий зазор = 1,5 мм, швидкість потоку = 40 об/хв і час полірування = 60 хв, (б) Полірувальні мітки, отримані з використанням різних робочих зазорів і їх полірованих ділянок, нанесених в залежності від робочого зазору, де зазор збудження = 6 мм, швидкість потоку = 40 об/хв, розмір заготовки = 50 × 50 мм² і час полірування = 30 хв. (с) Полірувальні мітки, отримані при різному часі полірування і їх полірованих ділянках, нанесених в залежності від часу полірування, де зазор збудження = 6 мм, робочий зазор = 1,5 мм, швидкість прогину = 40 об/хв, розмір заготовки 50 × 50 мм².

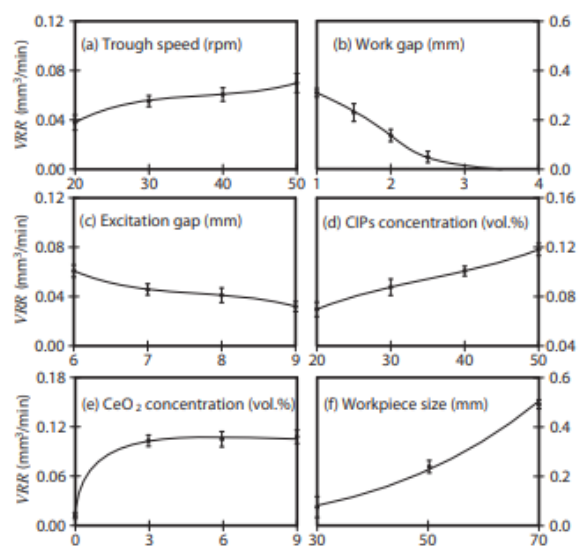


Рис. 1.22 Вплив (а) швидкості потоку, (б) робочий зазор, (с) затримка збудження, (д) концентрація стружки, (е) концентрація CeO₂ і (ж) розмір заготовки на об'єм видаленого матеріалу

У статті «Магнітно-абразивна обробка внутрішніх поверхонь з використанням постійних магнітів» [17] представлені результати експериментальних досліджень магнітно-абразивної обробки внутрішніх отворів деталей з твердого сплаву. Дослідження дозволили визначити наявність раціональних значень зазору між інструментом і заготовкою, швидкостей інструменту і заготовки при магнітно-абразивній обробці. Результати знайшли застосування при фінішній обробці волок.

Суть методу: магнітно-абразивний порошок розташовується між полюсами електромагнітів, створюючи ріжучий інструмент у вигляді своєрідної "поліруючої щітки". При русі заготовки через робочу зону порошок надає тиск на деталь в кожній точці поверхні, що призводить до знімання матеріалу і згладжування мікронерівностей. У ролі зв'язки абразивних зерен використовується магнітне поле, що володіє пружними силами впливу на одиничні зерна. Відмінною рисою МАО є невеликий тиск на оброблюваний виріб на відміну від традиційних методів обробки, при яких зерна закріплені жорстко. Метою роботи є дослідження впливу режимів МАО на формування мікрорельєфу поверхні в отворах деталей з твердого сплаву.

Для даної роботи було розроблено пристрій для експериментальних досліджень МАО внутрішніх поверхонь на базі токарно-револьверного верстата 1341, показаного на рис. 1.23. Зразок, який обробляється являє собою втулку, виготовлену з твердого сплаву ВК6 ГОСТ 3882-74, з внутрішнім отвором діаметром 30 мм. Залежно від необхідної вихідної шорсткості поверхні перед МАО отвір у втулці попередньо оброблялися за допомогою алмазних шліфувальних кругів 1А1 20 × 10 × 10 АС4 250/200 - 4 - М2-01 або 1А1 10 × 10 × 6 АС4 100/80 - 4 - В2 -01 ГОСТ 16167-90, що дозволяло забезпечити необхідну вихідну шорсткість по параметру Ra 0,5 мкм або 0,25 мкм, а також необхідну геометричну точність отвору.

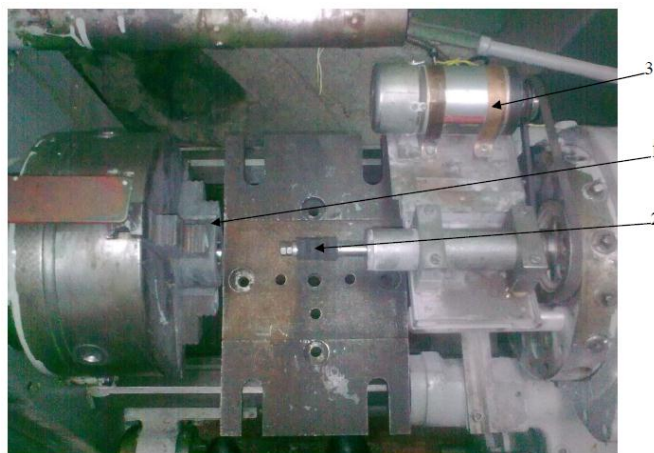


Рис. 1.23 Вид зверху на експериментальну установку для МАО внутрішніх поверхонь на базі токарно-револьверного верстата: 1 - заготовка з ВК6 в патроні верстата; 2 - оправлення з магнітними кільцями; 3 - привід обертання оправлення

Як видно з рис. 1.24, зміна шорсткості поверхні отвору втулки відбувається протягом перших п'яти хвилин роботи. Чим менше початкове значення параметра R_a після алмазного шліфування, тим менше значення шорсткості після MAO. Це пов'язано з існуванням граничного значення перетину зрізу на зерні, обумовленого інтенсивністю магнітного поля [18], яке в наших дослідженнях залишалося незмінним.

Змінюючи параметри зазору, при інших незмінних умовах обробки (Рис. 1.25), можна зменшити значення сталої величини R_a , що обумовлено впливом жорсткості «магнітної щітки» в місці її впливу на оброблюваний матеріал. Тому в подальшому можна прийняти для умов проведення експерименту раціональним зазор між магнітом і оброблюваних матеріалом величиною зазору $\delta = 1 \dots 1,5$ мм, в межах якого може міститися не менше 4-х шарів магнітного абразивного матеріалу і досягається найменше значення сталої шорсткості.

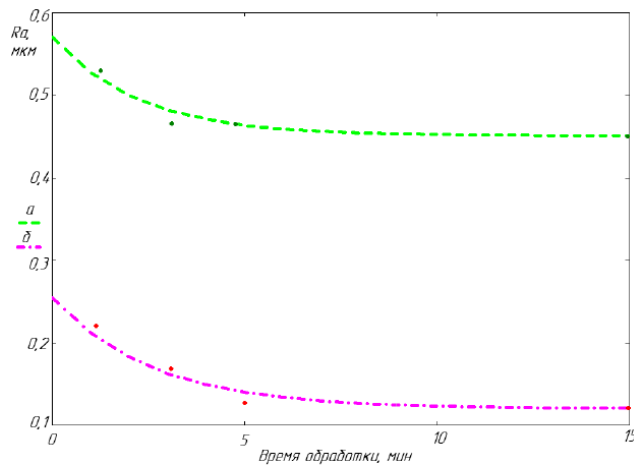


Рис. 1.24 Зміна параметра мікрорельєфу R_a від часу MAO при режимі: $\delta = 1$ мм, $V_p = 4$ м / с, $n = 60$ об / хв при різній вихідній шорсткості отвору втулки: 1 - $R_a = 0,58$ мкм; 2 - $R_a = 0,27$ мкм

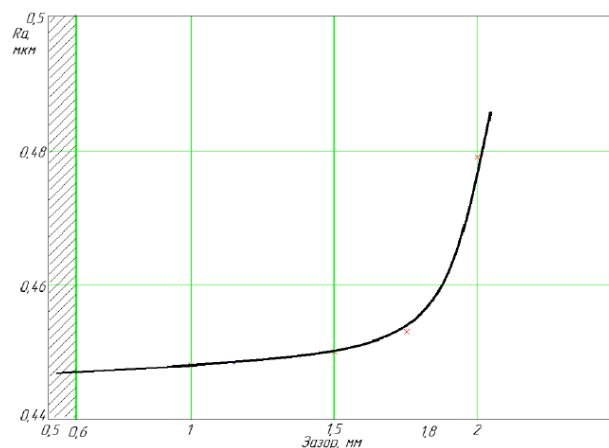


Рис. 1.25 Вплив величини зазору δ на сталі значення параметра R_a . Режим обробки: швидкість різання $V_p = 4$ м / с; частота обертання заготовки $n = 60$ об / хв; початкове значення $R_a = 0,56$ мкм

Характер зміни висотного параметра мікрорельєфу Ra від часу обробки для МАО при різній частоті обертання заготовки і при постійних значеннях величини зазору δ і вихідного значення висотного параметра носить експонентний характер відповідно до залежності 1.1. Зміна сталого значення параметра Ra від частоти обертання заготовки носить нелінійний характер, який може бути описаний функцією такого вигляду:

$$Ra(n) = 3,99 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 - 1,428 \cdot 10^{-3} \cdot n + 0,0559. \quad (1.1)$$

Залежність сталого значення параметра Ra від частоти обертання заготовки n , наведена на рис. 1.26. Таким чином існують раціональні значення частоти обертання заготовки (160...200 об/хв), при яких забезпечуються найменші значення сталої величини Ra .

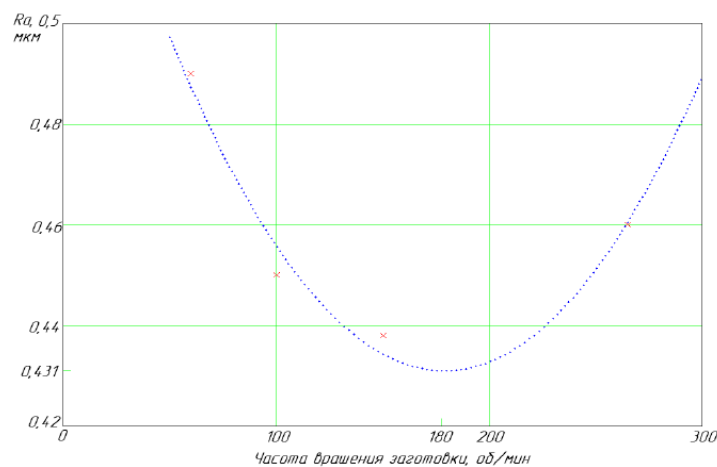


Рис. 1.26. Вплив частоти обертання заготовки n на сталі значення параметра Ra після МАО, початкове значення $Ra = 0,56$ мкм. Режим різання: $\delta = 1$ мм, $V_p = 4$ м/с

На рис. 1.27 показані круглограми отвору волоки до і після МАО. Відхилення від некруглості деталі після МАО зменшилася приблизно в два рази. Початкове значення Ra ($R_{sp} = 0,27$ мкм; $S = 0,04$ мкм) рис. 1.27(а) зменшилось більш ніж в 2,5 рази до значення ($R_{sp} = 0,1$ мкм; $S = 0,013$ мкм) (рис. 1.27(б)), що менше значень вимог ($Ra = 0,12$ мкм), що пред'являються до деталі.

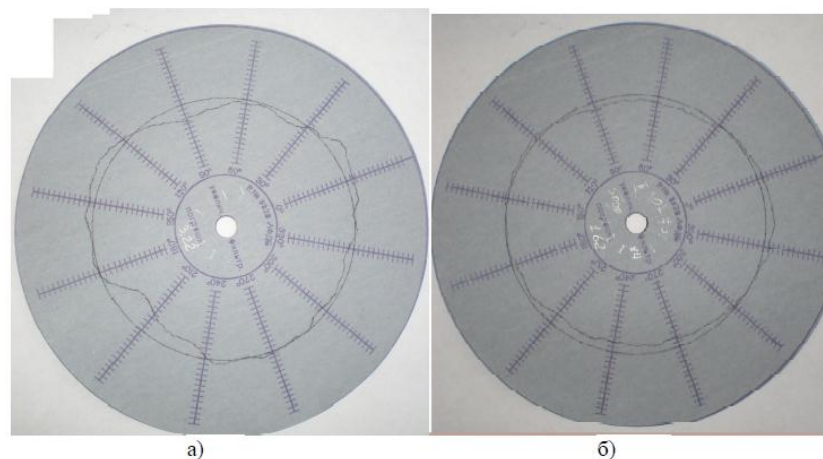


Рис.1.27 Круглограми волоки: а) - після алмазного шліфування і б) - після МАО

При внутрішньому магнітно-абразивному обробленні з зазорами і постійними магнітами протягом часу 5 хв встановлюється шорсткість, значення якої визначається вихідним значенням мікронерівностей і величиною магнітного поля. При магнітно-абразивному поліруванні існують оптимальні умови обробки, що визначаються режимами різання (швидкістю інструменту, частотою обертання заготовки) та величиною зазору 1 ... 1,5 мм між магнітом і оброблюваної заготівлею.

У [19], показано, що при магнітно-абразивному поліруванні керамічних виробів існують оптимальні умови обробки, що визначаються режимами різання (швидкістю інструменту, частотою обертання заготовки) та величиною зазору 1,5 мм між постійним магнітом і оброблюваної заготівлею. На формування поверхневого шару кераміки, на відміну від магнітно-абразивної обробки твердого сплаву, значну роль надають процеси крихкого руйнування мікровиступів.

В даній роботі експериментальна частина проводилась на приладі, який показаний на рис. 1.23.

Як видно з рис. 1.28, зміна мікрорельєфу поверхневого шару отвору втулки з ТС відбувається протягом перших чотирьох хвилин роботи. На формування мікрорельєфу впливають процеси пластичної деформації мікровиступів мікронерівностей. При подальшій обробці висотні параметри мікрорельєфу не змінюються. Характер зміни висотного параметра мікрорельєфу Ra від часу обробки для MAO при різній частоті обертання заготовки і постійної величини зазору δ і вихідного значення висотного параметра носить експонентний характер відповідно до залежності 1.2. Зміна сталого значення параметра Ra від частоти обертання заготовки носить нелінійний характер [17], який може бути описаний функцією такого вигляду:

$$Ra(n) = c \cdot n^2 - d \cdot n + b1 \quad (1.2)$$

Збільшення швидкості заготовки призводить до зростання відцентрової сили і магнітно-абразивний порошок при обробці розлітається. Найкращі результати при обробці спеченої кераміки з Al_2O_3 твердого сплаву були отримані при швидкостях заготовки 0,015 м/с, значення якої і було прийнято в подальших дослідженнях.

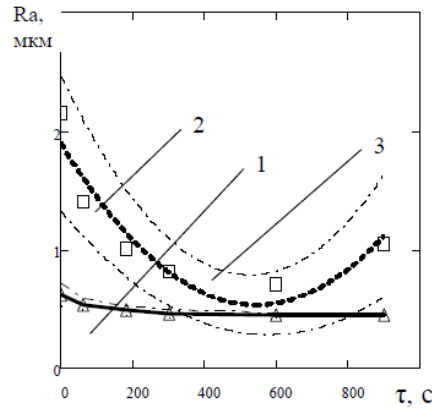


Рис. 1.28 Вплив часу обробки τ на зміну висоти мікронерівностей при $V_k = 1,57$ м/с і $V_d = 0,015$ м/с: 1 - твердого сплаву (Δ), 2 - технічної кераміки (\square), 3 – довірчий інтервал

Зміна висотного параметра мікрорельєфу R_a від часу обробки ТК на відміну від ТС носить нелінійний характер (див. рис. 1.28). На початку МАП висота мікрорельєфу поверхневого шару знижується, що обумовлено видаленням зернами магнітно-абразивного інструменту (МАІ) найбільш виступаючих вершин мікронерівностей і їх округленням. Надалі під впливом МАІ відбуваються відколи оброблюваного матеріалу, що може бути обумовлено втомним процесом при руйнуванні кераміки. Висота мікронерівностей підвищується. У зв'язку з цим підвищення тривалості обробки більше 5 хвилин нерационально. Дані процеси характерні в більшій чи меншій мірі практично для всіх режимів обробки МАП ТК.

При збільшенні швидкості інструменту мінімальне значення параметра R_a і тривалість обробки для її досягнення змінюється (Рис. 1.29). При малих значеннях швидкості (менше 2 м/с) тривалість обробки до досягнення мінімальних значень висотних параметрів шорсткості зростає. При малих значеннях швидкостей різання сила недостатня для ефективного видалення матеріалу з заготовлі, а при великих швидкостях зростає відцентрова сила, яка знижує жорсткість МАІ, при якій була забезпечений параметр $R_a = 0,7$ мкм при початковій величині мікронерівностей рівній 2,5 мкм.

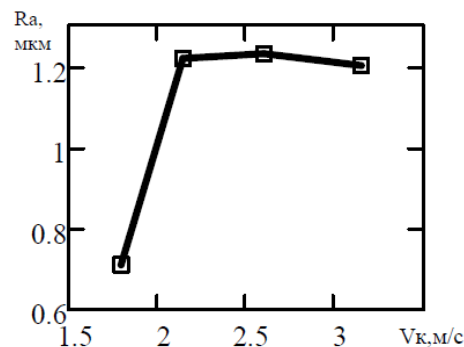


Рис. 1.29 Вплив швидкості різання на середньоарифметичне відхилення мікропрофілю поверхневого шару кераміки після 300 с обробки

Висновки і постановка задач досліджень

Підвищення якості деталей залежить і визначається характером їх оброблення на фінішних етапах виготовлення. При цьому значну увагу необхідно приділити ціленаправленому формуванню сприятливої мікрогеометрії робочих поверхонь, які в процесі експлуатації знаходяться в найбільш несприятливих умовах, на них діють значні динамічні, теплові та фрикційні навантаження. Для забезпечення зазначених властивостей традиційно використовують віброабразивне оброблення, оброблення щітками, струминне оброблення, оброблення у вільному абразиві, алмазне шліфування та інші, які тим чи іншим чином позитивно впливають на кінцеву якість деталі. Зазначені методи фінішного оброблення забезпечують лише окремі показники якості: або покращують мікрогеометрію, або підвищують поверхневу твердість, або знижують шорсткість. Саме тому актуальними є методи комплексного впливу, які забезпечують одночасне формування всіх показників якості. Метод MAO при обробці площин своїми технологічними і специфічними властивостями дозволяє поєднувати позитивні характеристики зазначених методів фінішного оброблення і тому його використання є досить перспективним. Цей метод фінішного оброблення відноситься до групи поліруючо-зміцнюючих методів оброблення.

На підставі аналізу науково-технічної і патентної літератури з магнітно-абразивної обробки і матеріалів для неї можна зробити наступні висновки:

1. З досліджень експериментального і теоретичного напрямку встановлено, що процес MAO добре вивчено для схем обробки деталей простих форм площин, де магнітне поле відіграє роль і еластичної зв'язки, і елемента, який відповідає за навантаження робочого абразивного середовища і формування з нього МАП. Проте не наведено раціональні умови оброблення і рекомендацій для практичного застосування.

2. За результатами досліджень різних параметрів процесу фінішного оброблення поверхонь розробленими полірувальними головками визначені такі раціональні параметри, як величина струму, відсоток мастила, нормальної магнітної сили, тангенціальної сили різання, часу оброблення на зміну шорсткості R_a . Проте до останнього часу відсутні чіткі, експериментально підтвердженні, дані про вплив величини робочого зазору, частоти обертання та подачі на зміну шорсткості R_a та зміну величини опорної довжини профілю t_p від відносної висоти мікронерівностей мікропрофілю.

3. Не досліджені при обробці плоских поверхонь деталей залишились вплив типу магнітно-абразивних порошків їх форми, розмірів, спеціальних властивостей на якісні показники процесу MAO не дозволяють у повній мірі використати переваги MAO, а також визначити вимоги до магнітно-абразивних порошків. Особливо це стосується таких

перспективних магнітно-абразивних матеріалів, як ПОЛІМАМ-Т (Феромап), ПОЛІМАМ-М, ДЧК, ПР Р6М5, які мають високі експлуатаційні властивості.

Метою роботи є розробка торцевої головки на постійних магнітах для обробки площин та експериментальне дослідження впливу величини робочого зазору, частоти обертання та подачі на зміну шорсткості R_a та зміну величини опорної довжини профілю t_p від відносної висоти мікронерівностей мікропрофілю, шляхом магнітно-абразивного оброблення:

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

6. Провести аналіз відомих видів постійних магнітів та їх властивостей і, як результат, обрати кращий з них.
7. На підставі аналізу відомих науково-технічних видань обрати такий МАП, який буде максимально продуктивно обробляти поверхню.
8. Визначити вплив процесу МАО, в якому використовується МАП різних видів на якість поверхні.
9. Дослідити вплив величини робочого зазору, частоти обертання та подачі на зміну шорсткості R_a та зміну величини опорної довжини профілю t_p від відносної висоти мікронерівностей мікропрофілю.
10. Розробити рекомендації о можливості застосування полірувальних головок торцевого типу на постійних магнітах при фінішному обробленні плоских деталей з феромагнітних матеріалів.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення експериментальних досліджень необхідно знати матеріал заготовки та магнітно-абразивні матеріали, які використовуються при MAO та їх властивості, обладнання на якому проводились експерименти та для правильної оцінки вимірної інформації, потрібно знати залежності, які при цьому використовуються.

2.1 Матеріал досліджень

Експериментальні дослідження виконувались на заготовці, виготовленої із Сталі 45 (Рис. 2.1), фізико-хімічні властивості якої представлені в таблицях 2.1 та 2.2.

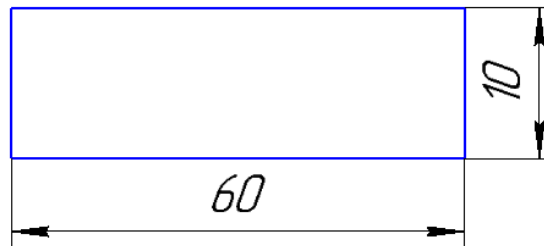


Рис. 2.1 Ескіз заготовки

Таблиця 2.1 - Хімічний склад у % матеріалу Сталь 45

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.42 - 0.5	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	до 0.25	до 0.04	до 0.035	до 0.25	до 0.25	до 0.08

Таблиця 2.2 - Механічні властивості при $T = 20^{\circ}\text{C}$ матеріалу Сталь 45

Сортамент	Розмір	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	KCU	Термообр.
-	мм	МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	-
Смуга горячекатан.	6 - 25	600		16	40		Стан поставки

2.2 Визначення типу і матеріалу постійного магніту для його застосування при створенні торцевої головки

Постійний магніт – виріб з магнітотвердого матеріалу з високою залишковою магнітною індукцією, що зберігає стан намагніченості протягом тривалого часу. Постійні магніти виготовляються різної форми і застосовуються як автономні (не споживає енергії) джерела магнітного поля.

Властивості магніту визначаються характеристиками розмагнічуваної ділянки петлі магнітного гістерезису матеріалу магніту: чим вище залишкова індукція B_r і коерцитивна

сила H_c , тим вище намагніченість і стабільність магніту.

Індукція постійного магніту B_d не може перевищувати B_r : рівність $B_d = B_r$ можливо лише в тому випадку, якщо магніт являє собою замкнутий магнітопровід, тобто не має повітряного проміжку, проте постійні магніти, як правило, використовуються для створення магнітного поля в повітряному (або заповненому іншим середовищем) зазорі, в цьому випадку $B_d < B_r$, величина різниці залежить від форми магніту і властивостей середовища.

Види та властивості постійних магнітів:

1) Феритові

Феритові магніти хоч і відрізняються крихкістю, але мають гарну корозійну стійкість, що при невисокій ціні робить їх найбільш поширеними. Такі магніти виготовляють із сплаву оксиду заліза з феритом барію або стронцію. Даний склад дозволяє матеріалу зберігати свої магнітні властивості в широкому температурному діапазоні - від -30°C до $+270^\circ \text{C}$.

Магнітні вироби у формі феритових кілець, брусків і підков широко використовуються як в промисловості, так і в побуті, в техніці та електроніці. Їх використовують в акустичних системах, в генераторах, в двигунах постійного струму. В автомобілебудуванні феритові магніти встановлюють в стартери, в склопідйомники, в системи охолодження і в вентилятори.

Феритові магніти відрізняються коерцитивною силою близько 200 кА/м і залишковою магнітною індукцією порядку $0,4 \text{ Тесла}$. В середньому, феритовий магніт може прослужити від 10 до 30 років.

2) Альніко (алюміній-нікель-кобальт)

Постійні магніти на основі сплаву з алюмінію, нікелю і кобальту відрізняються неперевершеною температурною стійкістю і стабільністю: вони здатні зберігати свої магнітні властивості при температурах до $+550^\circ \text{C}$, хоча коерцитивна сила, характерна для них, відносно мала. Під дією відносно невеликого магнітного поля, такі магніти втратять вихідні магнітні властивості.

Типова коерцитивна сила близько 50 кА/м при залишковій намагніченості порядку $0,7 \text{ Тесла}$. Однак незважаючи на цю особливість, магніти альніко незамінні для деяких наукових досліджень.

Зазвичай зміст компонентів в сплавах альніко з високими магнітними властивостями змінюється в наступних межах: алюміній - від 7 до 10%, нікель - від 12 до 15%, кобальт - від 18 до 40%, і від 3 до 4% міді.

Чим більше кобальту, тим вище індукція насичення і магнітна енергія сплаву. Добавки у вигляді від 2 до 8% титану і всього 1% ніобію сприяють отриманню більшої коерцитивної сили - до 145 кА/м . Добавка від 0,5 до 1% кремнію забезпечує ізотропію магнітних

властивостей.

3) Самарієві

Виняткова стійкість до корозії, окислення і температури до + 350 ° С. За вартістю самарій-кобальтові магніти дорожче неодимових за рахунок більш дефіцитного і дорогого металу - кобальту. Проте, саме їх доцільно застосовувати в разі необхідності мати мінімальні розміри і вагу кінцевих виробів.

Найбільш доцільно це в космічних апаратах, авіаційної та комп'ютерній техніці, мініатюрних електродвигунах і магнітних муфтах, які носяться в приладах і пристроях (годиннику, навушниках, мобільних телефонах і т.д.)

Завдяки особливій корозійної стійкості, саме самарієві магніти застосовуються в стратегічних розробках і військових додатках. Електродвигуни, генератори, підйомні системи, мототехніка - сильний магніт зі сплаву самарію-кобальту ідеально підходить для агресивних середовищ і складних умов експлуатації. Коерцитивна сила близько 700 кА/м при залишковій магнітної індукції порядку 1 Тесла.

4) Магнітопласти

Магнітний порошок разом зі сполучним компонентом утворює м'який, гнучкий і легкий магніт. Сполучні компоненти, такі як вініл, каучук, пластик або акрил дозволяють отримувати магніти різних форм і розмірів.

Магнітна сила, звичайно, поступається чистому магнітному матеріалу, але іноді такі рішення необхідні для досягнення певних незвичайних для магнітів цілей: у виробництві рекламної продукції, при виготовленні знімних наклейок на авто, а також у виготовленні різних канцелярських і сувенірних товарів.

5) Неодимові

Найбільшою силою намагнічування і стійкістю до розмагнічування мають магніти зі сплаву неодим + залізо + бор ($Nd_2Fe_{14}B$).

Такі магніти застосовуються в промисловості з 1980-х років. Найчастіше вони виготовляються методом порошкової металургії – це пресування і спікання в атмосфері інертного газу аргону. Неодимові магніти найчастіше мають зовнішнє захисне металеве покриття з цинку, нікелю, міді і навіть із золота.

Ці магніти, які часто називають супермагнітами застосовують в жорстких магнітних дисках запам'ятовуючих пристроїв, в магнітних генераторах, в магнітно-резонансних апаратах (томографах), в масляних фільтрах, металодетекторах і в інших застосуваннях, де потрібне використання сильних магнітних полів. Властивості даних магнітів наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Властивості магнітів

Клас	Залишкова магнітна індукція, мТ (кГс)	Коерцитивна сила, кА/м (кЕ)	Магнітна енергія, кДж/м ³ (МГс-Е)	Робоча температура, °С
N35	1170-1220 (11,7-12,2)	≥955 (≥12)	263-287 (33-36)	80
N38	1220-1250 (12,2-12,5)	≥955 (≥12)	287-310 (36-39)	80
N40	1250-1280 (12,5-12,8)	≥955 (≥12)	302-326 (38-41)	80
N42	1280-1320 (12,8-13,2)	≥955 (≥12)	318-342 (40-43)	80
N45	1320-1380 (13,2-13,8)	≥955 (≥12)	342-366 (43-46)	80
N48	1380-1420 (13,8-14,2)	≥876 (≥12)	366-390 (46-49)	80
N50	1400-1450 (14,0-14,5)	≥876 (≥11)	382-406 (48-51)	60
N52	1430-1480 (14,3-14,8)	≥876 (≥11)	398-422 (50-53)	60

Супермагніти призначені для використання в досить широкому діапазоні температур від -40 °С до +80 ... + 150 °С. Спеціальні марки для більш широкого температурного діапазону до +200 ... + 240 °С мають трохи гірші магнітні властивості.

У цих магнітів лише два недоліки – крихкість та низька робоча температура.

Так як в нашому експерименті робота ведеться без биття та в межах низьких температур від 20 до 100 °С було обрано саме цей вид магнітів.

2.3 Конструкція торцевої головки для оброблення плоских поверхонь

При обробці деталей із плоскими поверхнями найбільш поширені схеми обробки торцевою чи периферійною головкою, в нашому випадку було розроблено і виготовлено торцеву головку з використанням циліндричного постійного магніту FeNdB (Рис. 2.2 - 2.4)

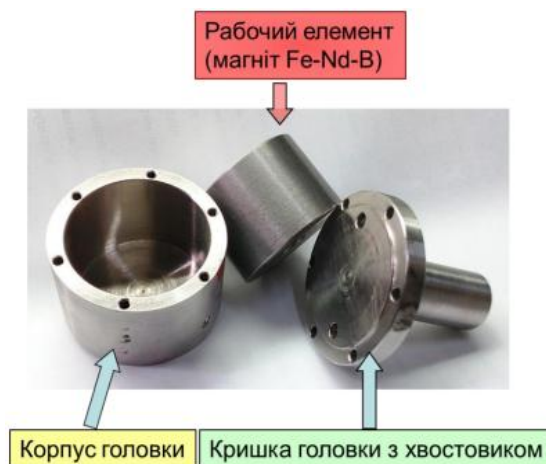


Рис. 2.2 Торцева головка на постійних магнітах

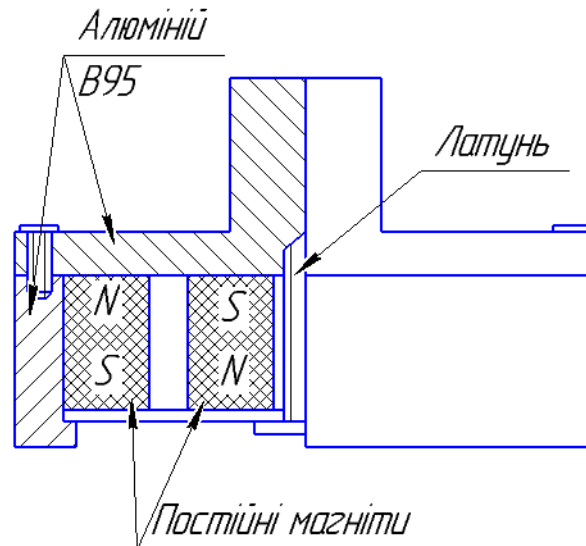


Рис. 2.3 Ескіз торцевої головки

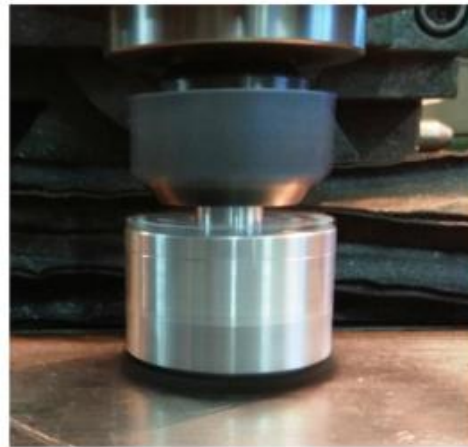


Рис. 2.4 Головка в робочому стані

Торцева головка, як показано на рис. 2.2 складається з алюмінієвого корпусу, робочого елемента та кришки з циліндричним хвостовиком. Корпус та кришка торцевої головки кріпляться між собою болтами.

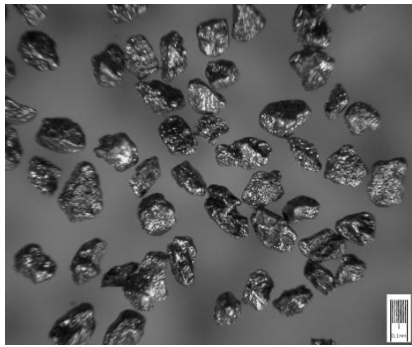
2.4 Магнітно-абразивні матеріали, що використовувались при МАО

Правильний вибір МАП є одним із найважливіших факторів, що впливають на якість, продуктивність і вартість абразивної обробки в магнітному полі. Основними фізико-хімічними властивостями, визначальними якістю МАП, є: магнітні властивості, твердість, реакційна здатність до відношенню до оброблюваного виробу, міцність, структура його частинок.

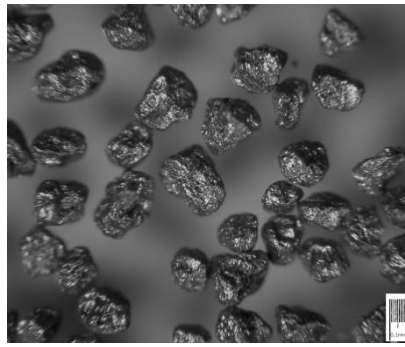
При магнітно-абразивній обробці в постійних магнітних полях, функцією яких є фіксування частинок МАП в нерухомому стані, крім максимальної намагніченості частки повинні володіти якомога більшою магнітною проникністю в робочих полях. Це дозволяє досягти максимальної намагніченості МАП у відносно невисоких магнітних полях, що спрощує конструкцію електромагнітної системи верстата, дозволяє зменшити її габарити [9].

В науково-технічній літературі відсутня повна інформація про геометричні та мікрогеометричні характеристики окремих частинок МАП, які використовуються для формування МАІ. А саме вони будуть визначати область та ефективність використання тих чи інших типів порошків, умов їх контактної взаємодії з оброблюваними поверхнями і визначати характер їх впливу [14]. При експериментах ми використовували такі порошки, як: ДЧК, Феромап (Поліам Т), Поліам М та ПР Р6М5, які залежно від способу отримання умовно можна поділити на два типи форм частинок:

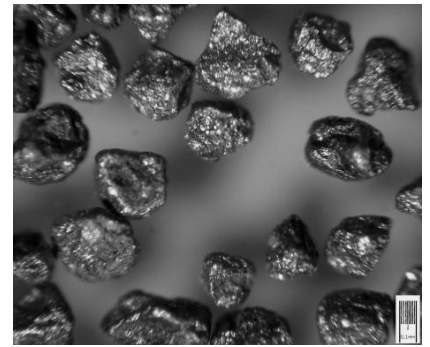
- осколкові, отримані в результаті розмелу попередньо гранульованих з розплавів систем Fe-Si-Ti-C, Fe-Si-C матеріалів, які мають практично безпористу структуру, їх прикладами є: Поліам Т, Феромап, ДЧК (ДЧК_н, отримана в результаті розмелу попередньо гранульованих матеріалів, ДЧК_{б/у}, яка попередньо використовувалася на установках струминно-абразивного оброблення з наступною магнітною сепарацією) (рис. 2.3);



Феромап 200/100 мкм



Феромап 315/200 мкм



Феромап 400/315 мкм

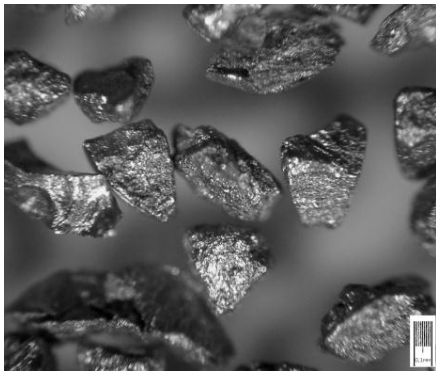
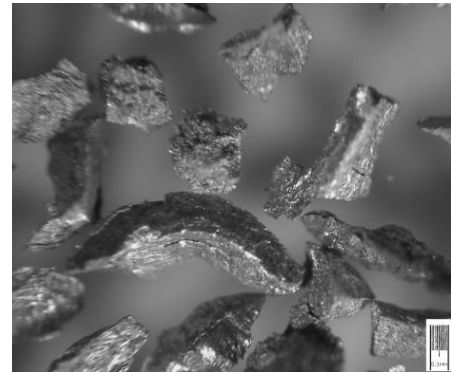
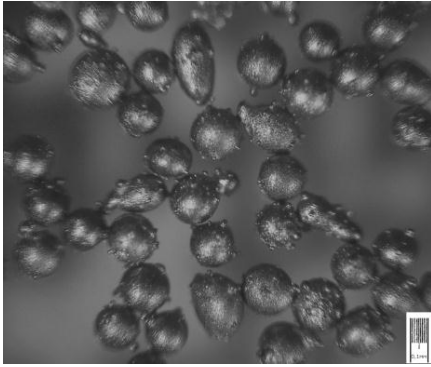
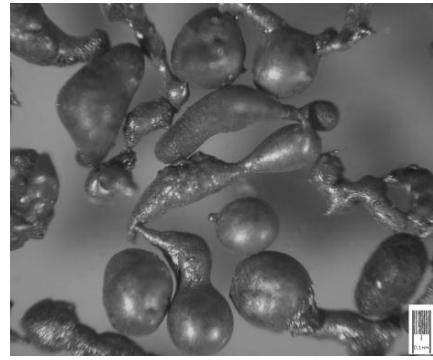
ДЧК_{б/у} 400/315 мкмДЧК_н 400/315 мкм

Рис. 2.3. Зовнішній вигляд осколкових частинок МАП

- округлі, отримані в результаті розпилення розплавів системи Fe-Si-C, Fe-C-Si-Al без наступного розмелу, до них відносяться ПР Р6М5, Поліам М_{сф} (частинки мають сферичну форму) (рис. 2.4). В окремих випадках використовують порошки Поліам М після механічного розмелу (Поліам М_{сф}), який за своїми властивостями практично ідентичний за складом і властивостями порошку ДЧК, який відноситься до осколкових.



PP P6M5 315/250 мкм



Поліам М_{сф} 400/315 мкм

Рис. 2.4. Зовнішній вигляд округлих частинок МАП

Усі частинки мають неправильну геометричну форму (рис. 2.3 та рис. 2.4). Різниця у формі частинок порошоків одного складу або походження визначається способом отримання, додатковим обробленням, методом сепарації та іншими факторами. Незалежно від методу отримання порошку, кожне окреме зерно має на своїй поверхні різальні елементи – кромки, які характеризуються відповідними мікрогеометричними характеристиками. В процесі МАО використовують порошоків матеріали з достатньо широким фракційним складом від 100/63 до 1000/630 мкм, які використовують при отримання різних параметрів оброблюваних поверхонь [9, 14].

2.5 Вимірювання шорсткості поверхні

Шорсткість робочих поверхонь вимірювали методом оцупування на профілографі-профілометрі 252 (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Профілограф-профілометр 252

На рис. 2.6 показана схема та послідовність вимірювання шорсткості. Усі інші вимірювання виконували за аналогічною схемою.

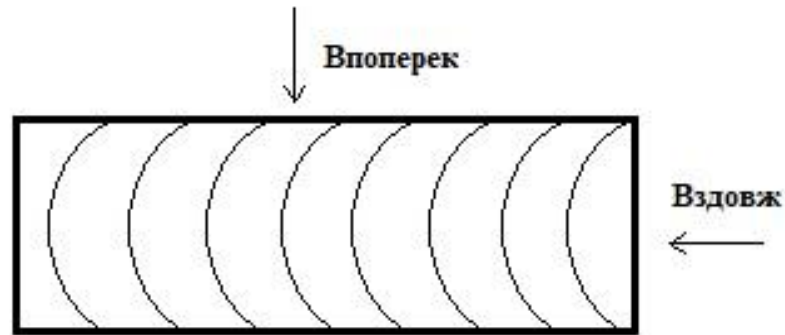


Рис. 2.6. Схема вимірювання шорсткості

Контролювали величину шорсткості Ra і опорну довжину профілю на рівні від 10% до 90% та радіус заокруглення різальної кромки інструменту. При запису профілограм на приладі Калібр 252 використовували горизонтальне збільшення ГЗ 500, вертикальне збільшення ВЗ 10000, швидкість протягування – 120 мм/хв, довжина траси вимірювання – 1,5 мм, відмітка кроку – 0,8 мм.

Для більш розширеного аналізу стану мікрогеометрії поверхні обробки виконували аналіз зміни величини Ra , контролювали та визначали залежності зміни величини опорної довжини профілю від відносної висоти мікронерівностей мікропрофілю $t_p=f(p)$.

Важливо відзначити, що в процесі зняття матеріалу активну участь приймає майже весь мікрорельєф поверхні заготовки. Активно взаємодіє з оброблюваною поверхнею більш 70-80% висоти мікронерівностей робочих поверхонь різального інструмента. Тому важливим параметром, що характеризує мікрорельєф заготовки є зміна величини опорної довжини профілю t_p в залежності від відносної висоти p нерівностей. При цьому запропонована в [10, 11] залежність зміни опорної довжини профілю від відносної величини рівня мікропрофіля функція, яка має вигляд: $t_p(p) = ap^6$ і описує початкову частину кривої – до відносної висоти рівня 0,3-0,4 є явно недостатньою.

Порівняння отриманих результатів про характер зміни величини t_p мікропрофілю після різних видів оброблення робить необхідним проведення якісної оцінки, зв'язаної з введенням окремих інтегральних параметрів чи формалізованого формульного опису отриманих залежностей і наступного їх аналізу. Для формалізованого опису залежностей $t_p=f(p)$ нами була використана функція виду:

$$t_p(p) = a_1 p^{a_2} e^{-a_3 p}, \quad (2.1)$$

де a_1, a_2, a_3 – деякі коефіцієнти апроксимації; t_p – величина відносної опорної поверхні на відповідному відносному рівні мікропрофілю p .

Залежності $t_p=f(p)$, представлені у вигляді (2.1) мають точку перегину, що

відповідає максимальній величині зміни щільності відносної опорної довжини профілю і фактично визначає значення рівня мікропрофілю p , на який здійснюється перехід від вершин мікропрофілю до западин. Значення p , що відповідають зазначеним точкам можна визначити якщо взяти похідну з функції (2.1):

$$p_0 = \frac{a_2 - \sqrt{a_2}}{a_3} \quad (2.2)$$

Таким чином залежність $t_p=f(p)$ умовно розбиваються на дві частини: одна з яких – до величини відносної величини рівня профіля p_0 - відповідає за мікрориступи, а інша – за мікрозападини при $p > p_0$.

Зовнішній вигляд обробленої і необробленої поверхонь фіксували шляхом її фотографування при збільшеннях $\times 1$, $\times 4$ і $\times 20$.

2.6 Верстат для проведення експериментальних досліджень і умови оброблення

Підготовку поверхні заготовки для МАО виконували в два проходи на фрезерному верстаті моделі 6М12ПБ для надання їй площинності з наступними режимами різання: частота обертання – 100 об/хв., подача – 80 мм/хв.

Після цього заготовку встановлювали на широко-універсальний інструментальний верстат моделі 6Б75ВФ1(Рис. 3.1), на якому проводилась МАО. В ході проведення дослідів змінювали частоту обертання торцевої головки 900 – 1400 об/хв, та подачу–10 – 50 мм/хв і величину робочого зазору в діапазоні від 2 до 4,6 мм.



Рис. 3.1 Широко-універсальний інструментальний верстат моделі 6Б75ВФ1

Загальну схему обробки поверхні представлено на рис. 3.2.

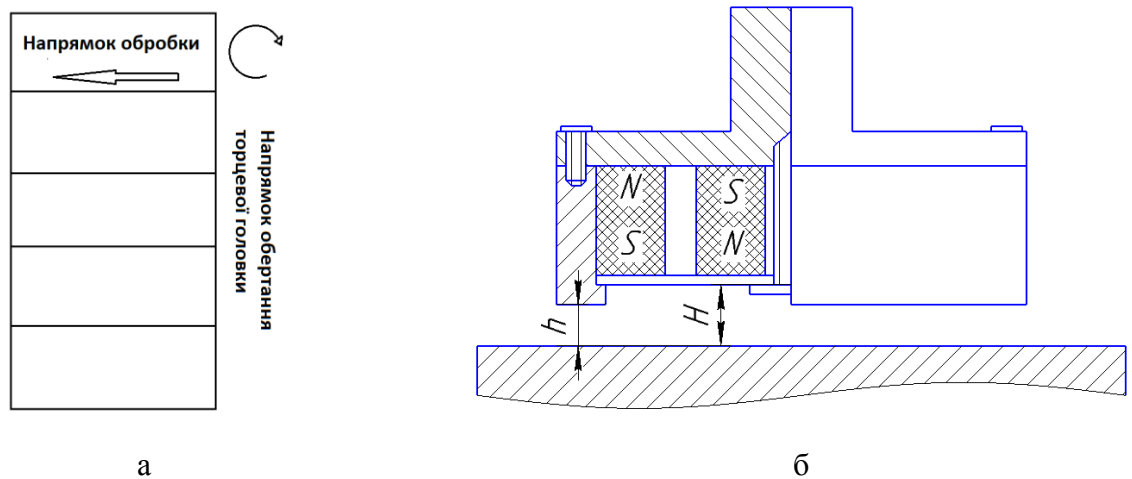


Рис. 3.2 а – Схема напрямків обробки поверхні заготовки, б – Загальна схема обробки, де H – висота між магнітом і поверхнею обробки, h – висота між торцевою поверхнею та поверхнею обробки

Спочатку виконувалось підготовча операція фрезерування для надання площинності заготовці, після чого на поверхні залишались сліди рисок від фрези. Другим етапом було проведення дослідів торцевою головкою. Через свої незначні розміри за один раз на заготовці можливо було провести 5-6 експериментів, тому після кожного «блоку» дослідів заготовку очищали від бруду та мастила, проводили вимірювання на шорсткість поверхні Рата відносної опорної довжини профілю r_p .

Параметр шорсткості R_a міряли вздовж и впоперек, як показано на рис. 2.6, не менше ніж 10 разів для кожного досліду, а потім розраховували середнє значення $R_{a,ср}$. Для відносної опорної довжини профілю r_p було достатньо 5-ти разів. Це робилось для більш точного аналізу обробки даних та кінцевого результату.

Після кожного досліду використаний МАП видаляли з поверхні торцевої головки та насипали новий.

2.7 Вплив MAO на мікрогеометрію робочих поверхонь

Роботоздатність деталей в значній мірі залежить від їх якості, до якої відносяться стан поверхні і поверхневого шару, а саме: мікрогеометрія поверхонь, фізико-механічні властивості поверхневих шарів, наявність на поверхнях захисних покриттів, тощо. Тому на фінішних етапах їх виготовлення необхідно забезпечити відповідні твердість та міцність поверхневих шарів робочих поверхонь, зниження шорсткості.

При MAO значну роль відіграє час оброблення, тому при вивченні процесу формування параметрів якості необхідно велику увагу приділити кінетиці їх формування, тобто їх зміні в залежності від часу оброблення.

Експлуатаційна стійкість деталей в значній мірі визначається станом поверхневого

шару.

Виконані дослідження показали, що МАО за режимами, наведеними вище забезпечує формування деталі з практично ідеальною поверхнею без концентраторів напружень, які можуть бути причиною руйнування під час експлуатації. Аналіз стану поверхні після алмазного шліфування показав наявність на них істотних дефектів у виді викришених ділянок, нерівностей.

Мікрогеометрія поверхні після віброабразивного оброблення має більш сприятливий рельєф, але присутні досить глибокі западини, які можуть бути причиною руйнування.

Контроль зміни шорсткості в залежності від часу МАО показав, що найкращі результати отримані при обробленні впродовж 8-10 хв. Таке зменшення шорсткості, припустимо, пов'язано з видаленням з поверхні деталі дефектного розрихленого шару, отриманого після фрезерування.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ УМОВ MAO НА МІКРОГЕОМЕТРІЮ ПОВЕРХНІ

Шляхи підвищення стійкості деталей складаються з удосконалення технології їх виготовлення (спікання, шліфування, нанесення зносостійких одно- і багат шарових покриттів), введенням у технологічний процес додаткових оздоблювано-зміцнюючих операцій (термічного, хіміко-термічного, гідростатичного, дрібструменевого, віброабразивного оброблень). Це, хоча і пов'язано з додатковими витратами, але дозволяє більш гнучко керувати фізико-механічними і мікрогеометричними параметрами поверхневого шару, ефективно підвищуючи їх якість.

Розповсюдженими методами фінішного механічного оброблення є віброабразивне і дрібструменеве оброблення. Їх застосування забезпечує зміну геометричних характеристик поверхонь деталей: зміну параметрів шорсткості, форми й анізотропії рельєфу, призводить до пластичного деформування матеріалу поверхневого шару: зміні структурних і фізичних характеристик (фазового складу, розміру зерен, ступеня наклепування і залишкових макронапружень). Більшість з перерахованих змін сприятливо впливають на міцність і зносостійкість деталей та призводять до зменшення руйнування (поломок, викришувань). Таким чином можливо забезпечити зростання середнього періоду стійкості до 2 разів.

Одним із сучасних і перспективних методів підвищення працездатності деталей є MAO. Використання методу MAO для площин забезпечує досягнення високих класів шорсткості оброблюваних пластин і поліпшення фізико-механічних характеристик поверхневого шару деталей.

3.1 Дослідження формування мікропрофілю поверхні під час MAO

Перед кожним «блоком» експериментів заготовку із Сталі 45 фрезерували для надання їй площинності.

В результаті експериментальних досліджень були отримані гістограми поверхонь зміни величини Ra в залежності від робочого зазору. Феромап 400/315 сухий – порошок яким обробляли при частоті обертання 900об/хв та подачі 10 мм/хв (Рис. 3.1).

З гістограми видно, що на першому досліді середня шорсткість поверхні значно погіршилася з 2,35 мкм до 5,66 мкм відносно вихідної поверхні, оброблена поверхня стала рваною та шаржованою, порошок при цьому став значно меншим, поверхня стала матовою (Рис. 3.2).

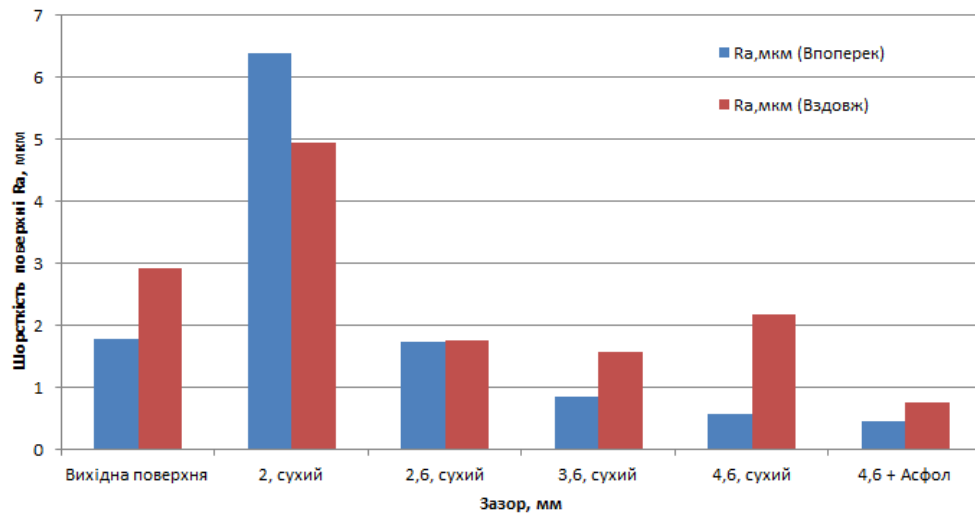


Рис. 3.1 Залежність величини шорсткості R_a від робочого зазору (Феромап 400/315)

При збільшенні зазору від 2,6 мм до 4,6 мм можна побачити, що в середньому шорсткість R_a поверхні зменшилась до 1,22 мкм, але все одно відбувалось активне шаржування поверхні, порошок подрібнювався та втирався у поверхню деталі, після обробки поверхня була матовою.

Після цього було прийняте рішення додавати при кожному досліді до порошку ЗОМТС Асфол, який рекомендовано при МАО на фінішних етапах оброблення виробів. R_a при цьому зменшилось до 0,6 мкм, порошок не прилипає до поверхні.

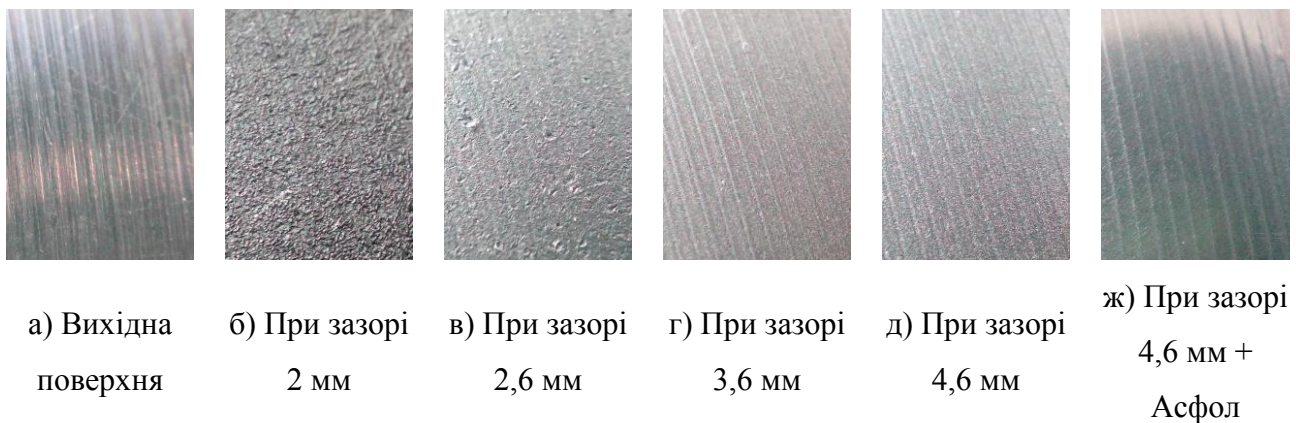


Рис. 3.2 Фотографії поверхонь після МАО

Така зміна шорсткості може бути пояснена особливостями формування магнітно-абразивного порошку і його поведінкою у робочих зазорах в процесі оброблення, що виявляється в дії пондеромоторних сил [14], що призводять до зниження в'язкості МАП, збільшення його рухливості, підвищення динамічного впливу окремих частинок і їх груп на оброблювану поверхню. Це сприяє активації процесу рівномірного зниження висоти мікронерівностей, як вершин, так і западин.

Оцінюючи отримані результати, можна зазначити, що найбільш ефективно діє порошок при зазорі 4,6 мм + Асфол, при якому значення шорсткості в середньому в 3,9 раз менше відносно необробленої поверхні.

Більш докладно процес формування мікропрофілю поверхні деталі в процесі MAO можна розглянути в результаті аналізу залежностей зміни опорної довжини мікропрофілю t_p від рівня мікронерівностей. Характерні залежності зміни величини t_p , отриманого при різних зазорах MAO наведені на рис.3.3.

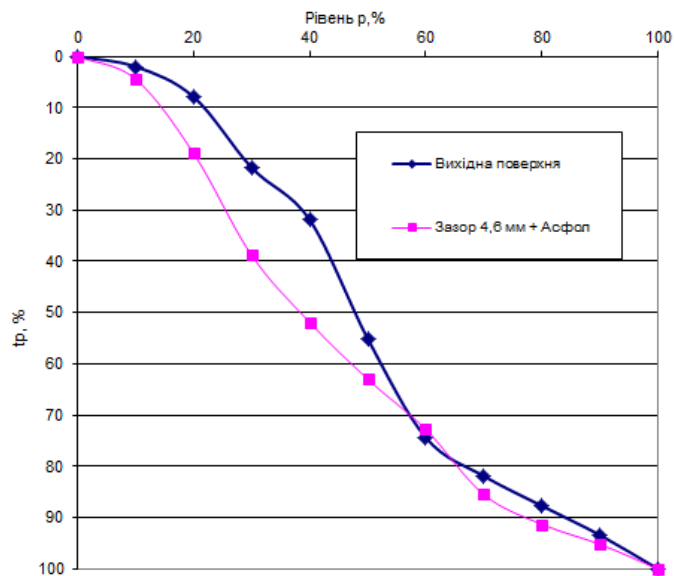


Рис. 3.3 Зміна відносної величини опорної довжини профілю t_p мікропрофілю поверхні деталі після MAO в залежності від відносного рівня висоти нерівностей p

Умовно криві зміни величини t_p в залежності від висоти рівня можна розділити на три ділянки:

- Перша ділянка в діапазоні рівнів від 0 до 30-35 %, що відповідає за стан мікрогеометрії найбільш виступаючих частин мікропрофілю – вершин;
- Друга ділянка – ділянка переходу від вершин мікропрофілю до впадин, що визначає ступінь розгалуженості профілю. Ця ділянка знаходиться в діапазоні від 30-35 % до 60-80 %;
- Третя ділянка – від 60-80 % до 100 % - визначає стан поверхні в западинах мікропрофілю і характеризує ступінь концентрації напружень, що виникають при експлуатації деталей, маслоємність поверхні і т.п.

Треба зазначити, що порошок Феромап 400/315 (сухий) при зазорах від 2 мм до 4,6 мм показав активне шаржування поверхні та, як наслідок, погані результати шорсткості R_a , тому на графіку показано тільки вихідну поверхню та обробку при зазорі 4,6 мм + Асфол.

За допомогою програмних продуктів, як Grapher та MathCad було розраховано точки перегину, що відповідають максимальній величині зміни щільності відносної опорної

довжини профілю і фактично визначають значення рівня мікропрофілю r , на який здійснюється перехід від вершин мікропрофілю до западин (Рис. 3.4).

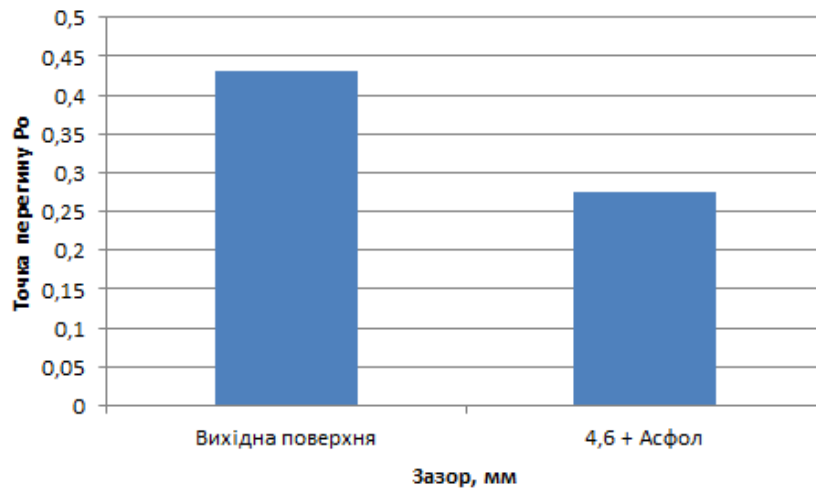


Рис. 3.4 Положення точок перегину r_0

Можна зробити висновок, що при зазорі 4,6 мм + Асфол до $r_0=27\%$ йде процес активного формування профілю. Далі відбувається переважне згладжування макронерівностей, обумовлених спадковістю оброблення, які отримані на стадії фрезерування.

Слід зазначити, що при наступному блоці експериментів шорсткість вихідної поверхні була 0,94 мкм після фрезерування, що пояснює доволі непогані результати в порівнянні з першим блоком, як показано на рис. 3.5:

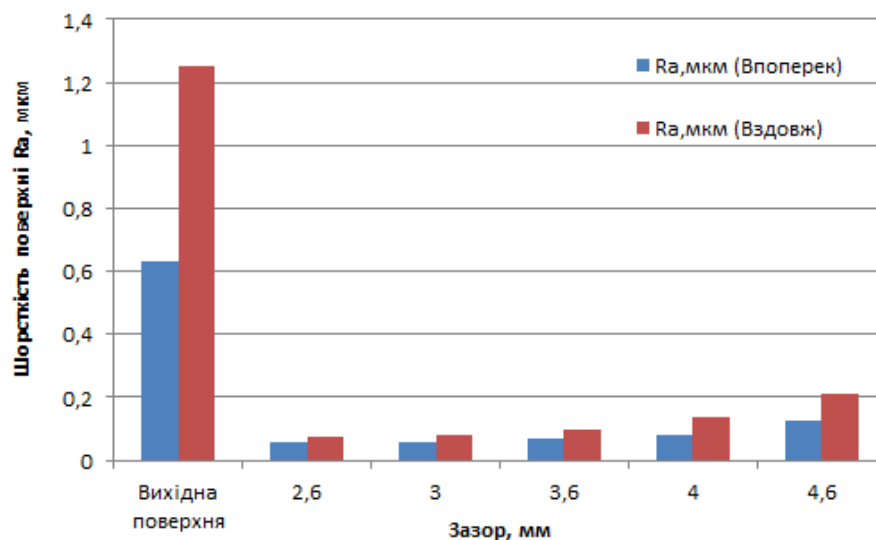


Рис. 3.5 Залежність величини шорсткості R_a від робочого зазору (Феромап 400/315)

На гістограмі показано, що при зазорі 2,6 мм шорсткість найкраща $R_a = 0,068$ мкм, але на поверхні деталі видно сліди шаржування. Встановлено, що низьку шорсткість 0,069 – 0,089 мкм ми можемо тримати при зазорах від 3 мм до 3,6 мм, вище даного діапазону МАП

все менше знімає матеріалу і більше «гладить» поверхню. Шорсткість поверхні покращилась в 13,6 рази.

Зміна величини t_p , отриманого при різних зазорах МАО та відповідні точки перегину p_0 наведені на рис.3.6, 3.7.

З рис 3.6 видно що, найбільше матеріалу знімається при зазорі 4 мм. При зазорі 2,6 мм МАП дуже щільно прилягає до поверхні заготовки і залишає після себе невеликі сліди шаржування. МАП досить гарно себе показує при зазорах 3 – 3,6 мм на другій ділянці обробки (30-35%), при переході від вершин до впадин. З рис. 3.7 можна побачити, що при експерименті з зазором 4,6 мм точка перегину найбільша, це свідчить про те, що спадковість на цій ділянці обробки найменша.

Наступні дослідження проводились порошком Феромап 630/400, залежність R_a від зазору представлена на рис. 3.8. З гістограми видно, чим менше початкова шорсткість вихідної поверхні тим менша шорсткість і після обробки.

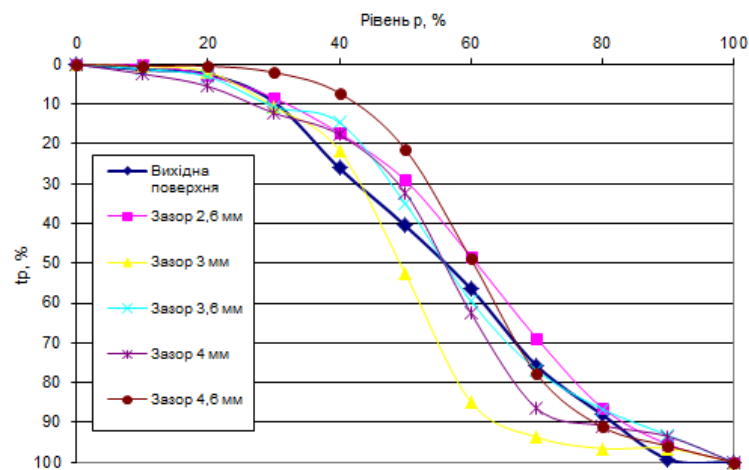


Рис. 3.6 Зміна величини t_p при різних рівнях r

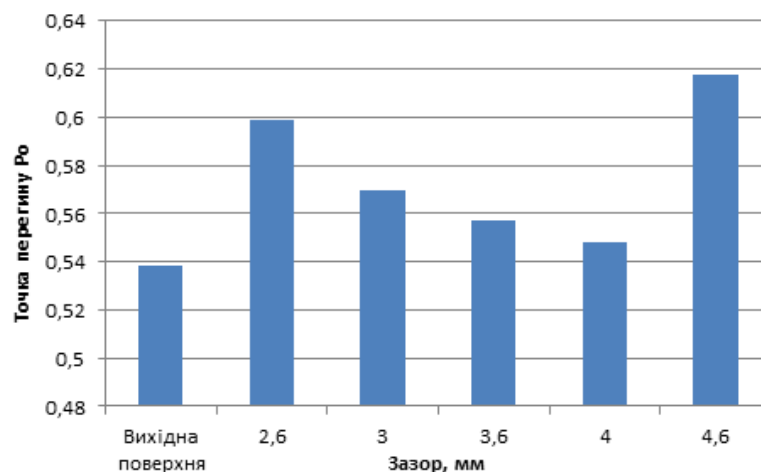


Рис. 3.7 Точки перегину p_0

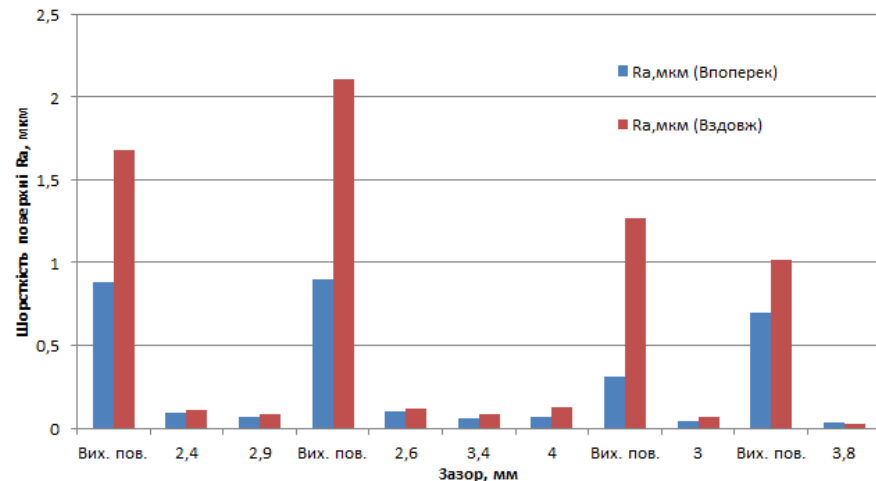


Рис. 3.8 Залежність величини шорсткості Ra від робочого зазору (Феромап630/400) – 1

При шорсткості вихідної поверхні $Ra=1,28$ мкм, шорсткість після обробки буде становити $Ra=0,102$ мкм та $Ra=0,078$ мкм при зазорах 2,4 мм та 2,9 мм відповідно. Важливо зазначити, що при зазорі 2,4 мм видно невеликі сліди шаржування поверхні деталі, як показано на рис. 3.9. При шорсткості вихідної поверхні $Ra=1,51$ мкм, шорсткість після обробки буде становити $Ra=0,112$ мкм при зазорі 2,6 мм, $Ra=0,075$ мкм при зазорі 3,4 мм, $Ra=0,1$ при зазорі 4 мм. При шорсткості вихідної поверхні $Ra=0,79$ мкм, шорсткість після обробки буде становити $Ra=0,052$ мкм при зазорі 3 мм. Найкращу шорсткість показав останній зразок $Ra=0,033$ мкм (шорсткість вихідної поверхні $Ra=0,86$ мкм) при зазорі 3,8 мм і, як наслідок, на поверхні деталі відсутні сліди рисок від фрезерування.

Тобто шорсткість поверхні на останньому досліді покращилась в 26 раз в порівнянні з вихідною поверхнею.

Зміна величини t_p , отриманого при різних зазорах MAO та відповідні точки перегину r_0 наведені на рис. 3.10, 3.11, для кращої представлення рисунки розділили на дві частини.

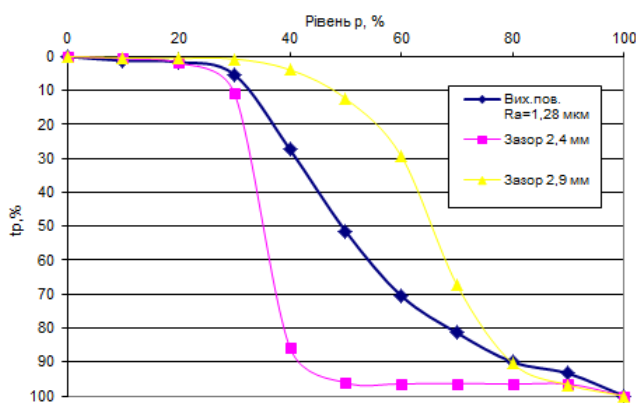


а) Зазор 2,4 мм

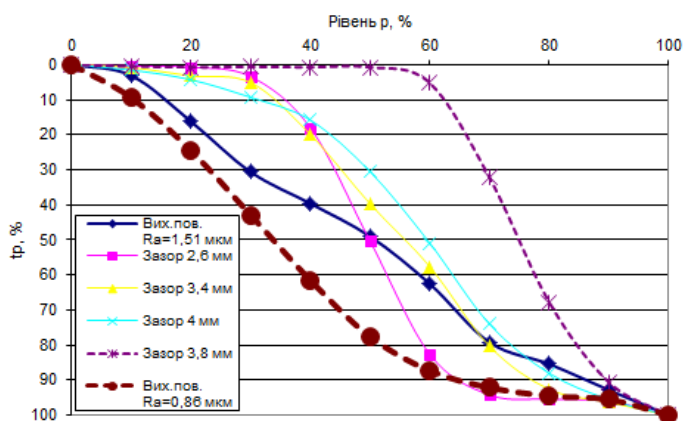


б) Зазор 2,9 мм

Рис. 3.9 Фотографії поверхні деталі при обробці Феромап 630/400



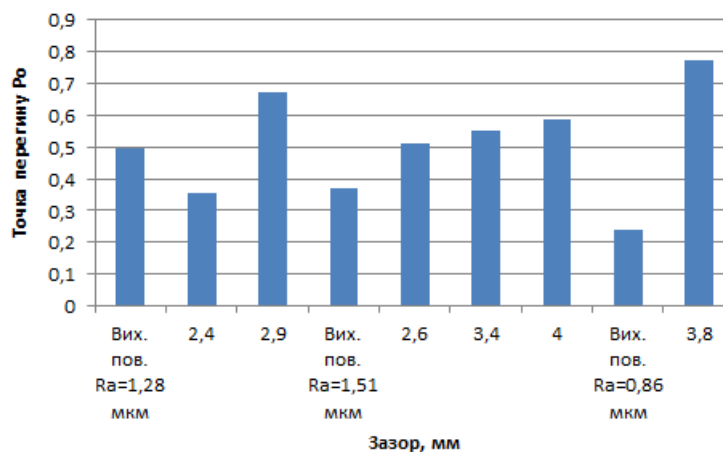
а – При зазорах 2,4 мм та 2,9 мм



б – При всіх інших зазорах

Рис. 3.10 Зміна величини t_p при різних рівнях r (Феромап630/400) .

Як видно з рис. 3.10 (а), при зазорі 2,4 мм порошок менше знімає матеріалу та на рівні 45% вже майже не оброблює його, а тільки згладжує нерівності ніж при зазорі 2,9 мм, при якому точка перегину r_0 (Рис. 3.11) знаходиться на рівні 67%. Це означає, що до цього рівня при зазорі 2,9 мм порошок все ще обробляє матеріал.

Рис. 3.11 Точки перегину r_0 (Феромап630/400)

При зазорах від 2,6 мм до 4 мм (Рис.3.10 б) матеріал обробляється майже однаково, але активніше на другій ділянці розгалуженості мікропрофілю веде себе порошок при зазорі 2,6 мм. Також помітне зростання точки перегину на рис. 3.11, що говорить про активне

формування макропрофілю деталі. При зазорі 3,8 мм на рис. 3.10 (б) видно, що ми майже позбулись спадковості оброблення від фрезерування ($p_0=77\%$, рис. 3.11).

Дивлячись на попередні досліди, можна зробити висновок, що оптимальний зазор знаходиться в районі 3 – 4,6 мм, тому на наступних дослідах ми показали вплив подачі та частоти обертання на обробку деталі (Рис. 3.12). Вихідна поверхня була з шорсткість $Ra=0,79$ мкм, при обробці з режимами $S=10$ мм/хв та $n=900$ об/хв шорсткість поверхні була найкращою і становила $Ra=0,052$ мкм, що в 15,2 рази менша за початкову. Також з рис. 3.12 можна побачити тенденцію – зі збільшенням подачі від $S=20$ мм/хв до $S=40$ мм/хв зменшується якість деталі. Треба відмітити, що при частоті обертання 1460 об/хв посередині зразку можна помітити сліди шаржування (Рис. 3.13).

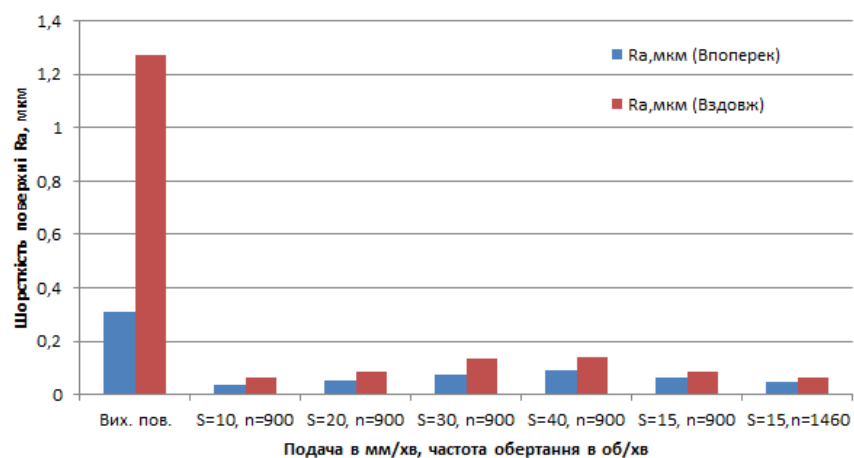


Рис. 3.12 Залежність шорсткості поверхні Ra від подачі та частоти обертання, при сталому зазорі 3 мм (Феромап 630/400)



а - $S=10$ мм/хв, $n=900$
об/хв



б - $S=20$ мм/хв, $n=900$
об/хв



в - $S=30$ мм/хв,
 $n=900$ об/хв



г - $S=40$ мм/хв, $n=900$
об/хв



д - $S=15$ мм/хв, $n=900$ об/хв ж - $S=15$ мм/хв, $n=1460$ об/хв з - $S=15$ мм/хв, $n=1460$ об/хв
(середина) (край)

Рис. 3.13 Фотографії поверхні деталі

Зміна величини t_p , отриманого при різних зазорах МАО та відповідні точки перегину p_0 наведені на рис. 3.14, 3.15:

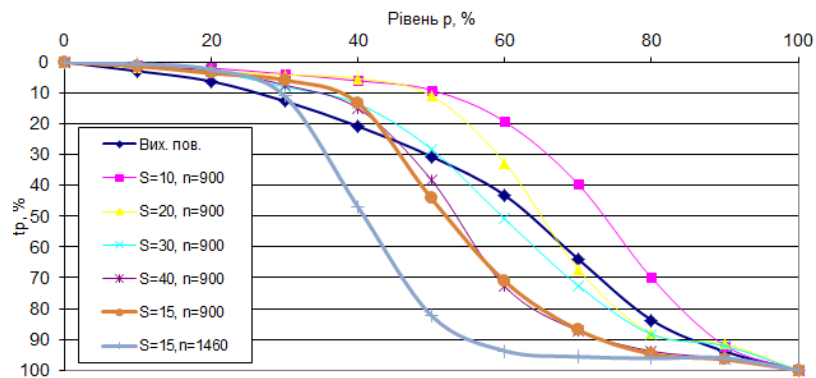


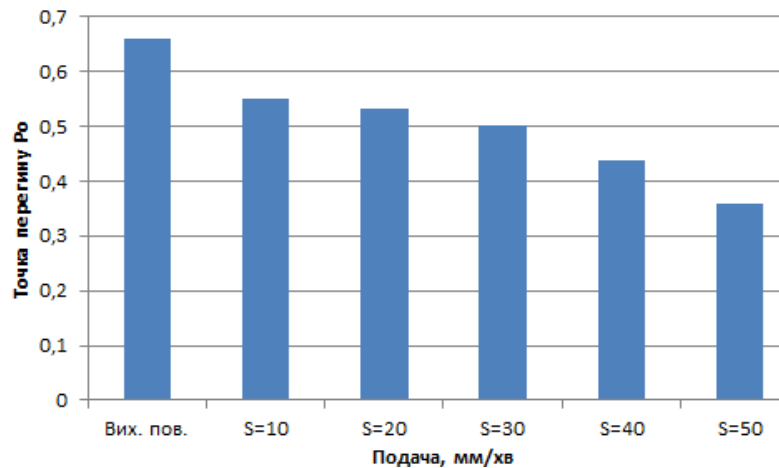
Рис. 3.14 Зміна величини t_p при різних рівнях p (Феромап630/400) – 2

З рис. 3.14 видно що найактивнішу участь на всьому етап обробки приймає порошок при $S=10$ мм/хв та $n=900$ об/хв і, як результат, це відзначається на шорсткості R_a , при S від 20 мм/хв до 40 мм/хв порошок на рівні приблизно 35-45 % перестає змінювати макроструктуру матеріалу та переходить до мікроструктури, через це відображається відносно низька, в порівнянні з іншими, шорсткість R_a – від 0,07 до 0,117 мкм. Це можна пояснити тим, що при таких подачах порошок не може так швидко знімати та полірувати матеріал. При $S=15$ мм/хв та $n=1460$ об/хв із всіх дослідів цього блоку p_0 найнижча (Рис. 3.15):



Рис. 3.17 Зміна величини t_p при різних рівнях p (Феромап630/400)

З рис. 3.17 та 3.18 можна побачити, що при різних подачах порошок приймає активну участь у формуванні поверхні деталі, але при подачі 10 мм/хв точка перегину найбільша $p_0=55\%$, що говорить про можливість при даних режимах більшого зняття матеріалу випуклих частин мікропрофіля, порошок краще позбавляється спадковості матеріалу, що відображено на рис. 3.18:

Рис. 3.18 Точки перегину p_0 (Феромап 630/400)

Далі помітна тенденція щодо зменшення рівня точки перегину, тобто порошок при таких режимах все менше оброблює та знімає матеріал вершин, і все більше переходить до стадії згладжування западин.

Із збільшенням подачі порошок швидше переходить від стадії формування поверхні деталі до стадії зняття макронерівностей. На останній ділянці всі порошки майже однаково впливають на мікронерівності.

Наступний дослід поводити з головкою, яка виготовлена із нержавіючої сталі при сталій подачі 10 мм/хв та зазорі 4 мм (Рис. 3.19).

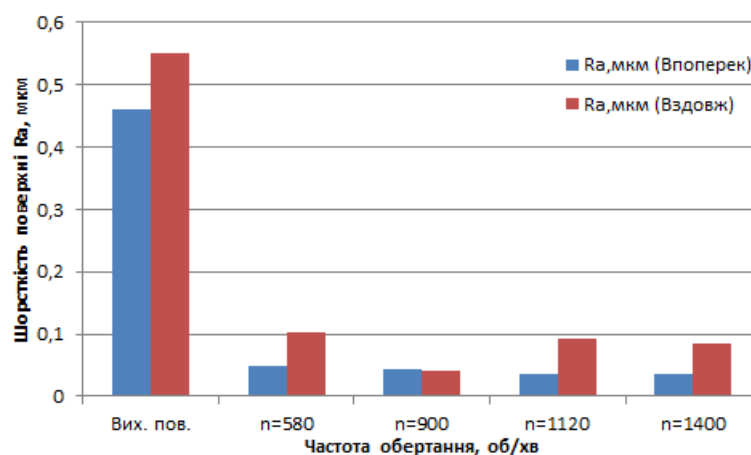


Рис. 3.19 Залежність шорсткості поверхні R_a від частоти обертання, при сталому зазорі 4 мм та подачі 10 мм/хв (Феромап 630/400) – 4

Шорсткість вихідної поверхні $R_a=0,51$ мкм, при $n=580$ об/хв $R_a=0,074$ мкм, при $n=900$ об/хв $R_a=0,04$ мкм, що в 12,75 раз менше від шорсткості вихідної поверхні, при $n=1120$ об/хв $R_a=0,063$ мкм, при $n=1400$ об/хв $R_a=0,061$ мкм.

Більш докладно процес формування мікропрофілю поверхні деталі в процесі MAO та точки перегину можна побачити на рис. 3.20, 3.21:

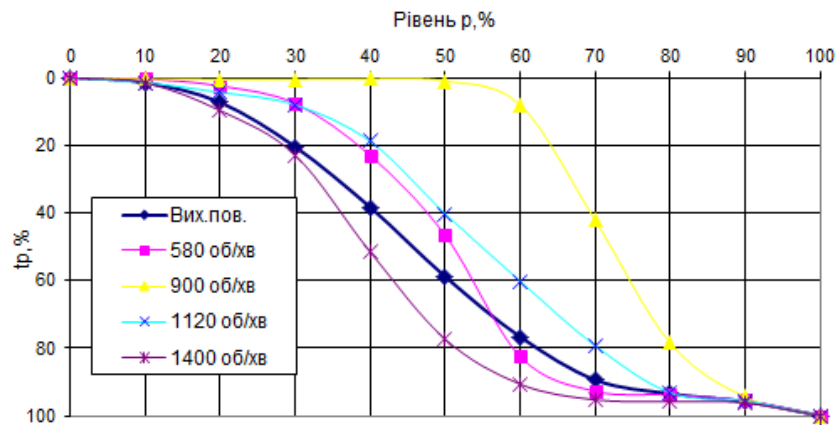


Рис. 3.20 Зміна величини t_p при різних рівнях p (Феромап630/400)

З рис 3.20 видно, що найкраще показує себе порошок при $n=900$ об/хв – майже позбулися спадковості матеріалу. При $n=580$ об/хв порошок знімає менше матеріалу з вершин та менше часу приділяється западинам мікропрофілю в порівнянні з подачею $n=1120$ об/хв, це можна пояснити тим, що при таких режимах порошок не ріже поверхню, а просто тягнеться по ній.

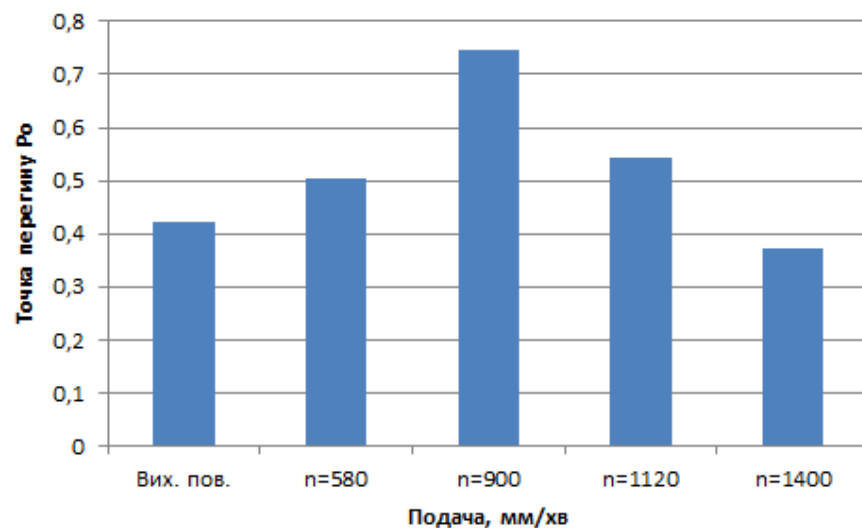


Рис. 3.21 Точки перегину p_0 (Феромап 630/400)

З рис. 3.21 видно, при $n=1400$ об/хв порошок швидше переходить із ділянки формування поверхні до ділянки розгалуженості профілю і більшість часу обробки приділяється мікроструктурі западин та наклепу поверхні.

Можна зробити висновок про оптимальні режими різання для порошку Феромап 630/400, а саме: частота обертання $n=900$ об/хв, подача $S=10$ мм/хв та діапазон робочих зазорів 3-4 мм. Всі інші комбінації цих режимів показують погані результати шорсткості, а в деяких випадках можливе шаржування поверхні.

В наступному досліді ми зменшили розміри порошку до 315/200 і досліджували вплив зазору на шорсткість поверхні при сталій подачі 10 мм/хв та частоті обертання 900 об/хв (Рис. 3.22).

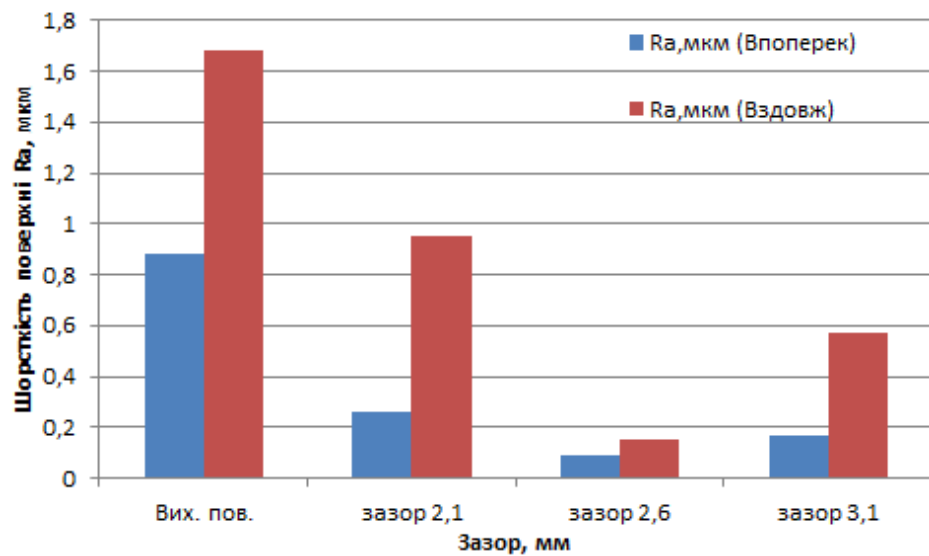
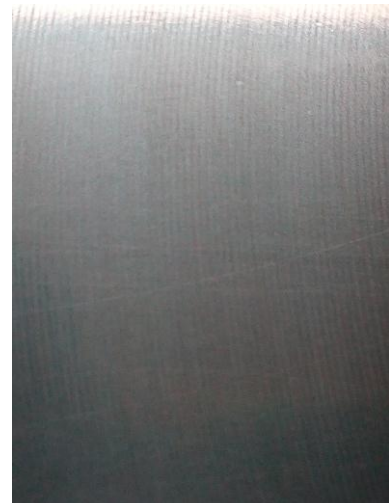


Рис. 3.22 Залежність шорсткості поверхні R_a від робочого зазору, при сталій подачі 10 мм/хв та частоті обертів 900 об/хв (Феромап 315/200)

Шорсткість вихідної поверхні $R_a=1,28$ мкм, при зазорі 2,1 мм $R_a=0,61$ мкм, при зазорі 2,6 мм шорсткість поверхні $R_a=0,19$ мкм, що в 6,7 разів краще за вихідну поверхню, однак на поверхні деталі видні сліди шаржування (Рис. 3.23), при зазорі 3,1 мм $R_a=0,37$ мкм.



а – при зазорі 2,6 мм



Б – при зазорі 3,1 мм

Рис. 3.23 Фотографії поверхні деталі

Зміна величини t_p , отриманого при різних зазорах MAO та відповідні точки перегину r_0 наведені на рис. 3.24, 3.25:

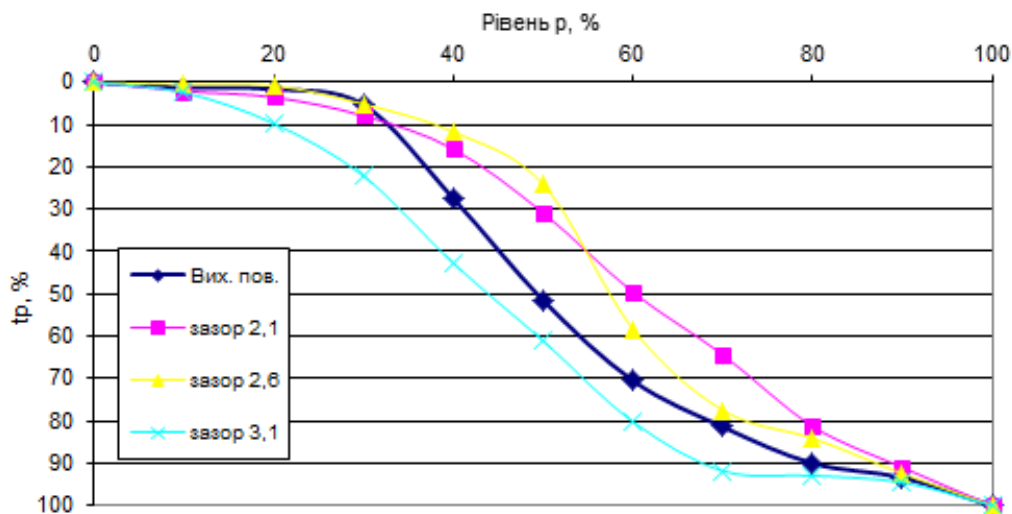


Рис. 3.24 Зміна величини t_p при різних рівнях p (Феромап 315/200)

Для порошку даного типу і розміру оптимальний розмір робочого зазору буде приблизно 3,1 мм. Як видно з рис. 3.24 він плавно поводить себе на всіх ділянках роботи, але точка перегину $r_0=40\%$ найменша, тобто на цьому рівні порошок вже переходить до стадії полірування западин, коли при інших зазорах все ще відбувається обробка верхівок мікропрофілю. При зазорі 2,6 мм видно різкий спад на точці перегину (Рис. 3.25), через який на поверхні деталі утворилися сліди шаржування.

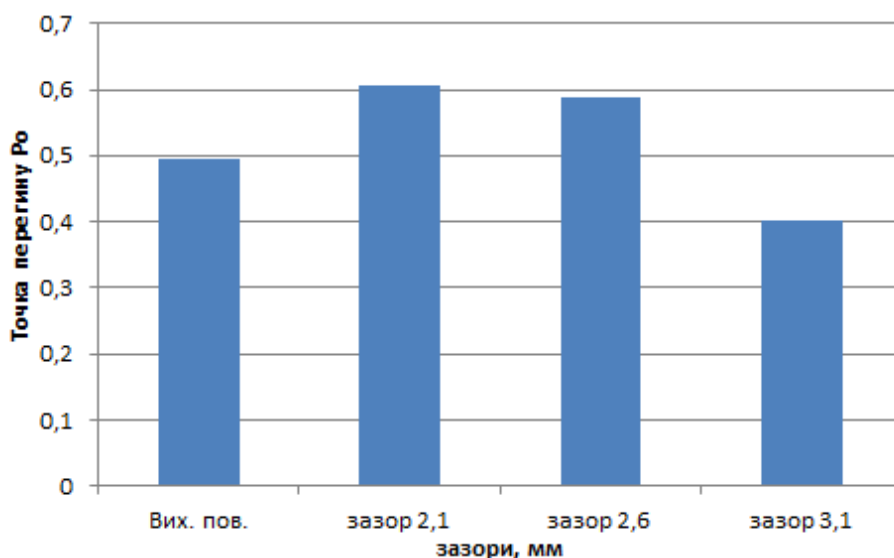


Рис. 3.25 Точки перегину r_0 (Феромап 315/200)

Порошок при зазорах 2,1 – 2,6 має приблизно однакові точки перегину, що говорить про можливість більш ретельно приділяти увагу мікроструктурі вершин.

У наступній серії експериментів розміри порошку зменшили до величини 200/100мкм і аналізували вплив величини зазору на шорсткість при сталій подачі 10 мм/хв та частоті обертання 900 об/хв (Рис. 3.26):

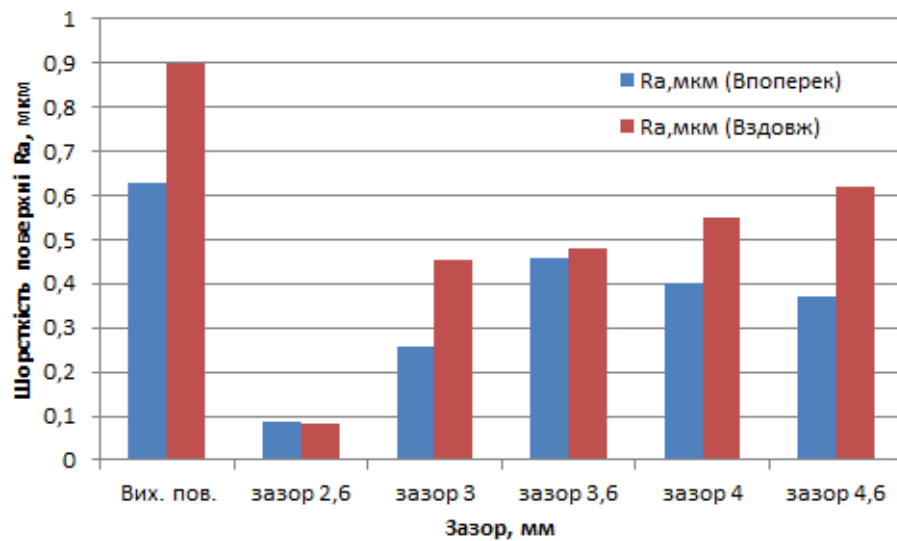


Рис. 3.26 Залежність шорсткості поверхні R_a від робочого зазору, при сталій подачі 10 мм/хв та частоті обертів 900 об/хв (Феромап 200/100)

Шорсткість вихідної поверхні становила $R_a=0,76$ мкм. Найкращі результати отримали при зазорі 2,6 мм, R_a при цьому було рівне 0,084 мкм, що в 9 раз краще за вихідну поверхню. При зазорі 3 мм $R_a=0,35$ мкм. При зазорі 3,6 R_a (поп.) більше чим при зазорі 4 мм, а R_a (вз.) менше, тому середня шорсткість майже однакова і становить 0,47 та 0,475 відповідно. При зазорі 4,6 мм $R_a=0,495$.

Можна зробити висновок, що для цього порошку при збільшенні робочого зазору зменшується шорсткість поверхні.

Зміна величини t_p , отриманого при різних зазорах MAO та відповідні точки перегину p_0 наведені на рис. 3.27, 3.28:

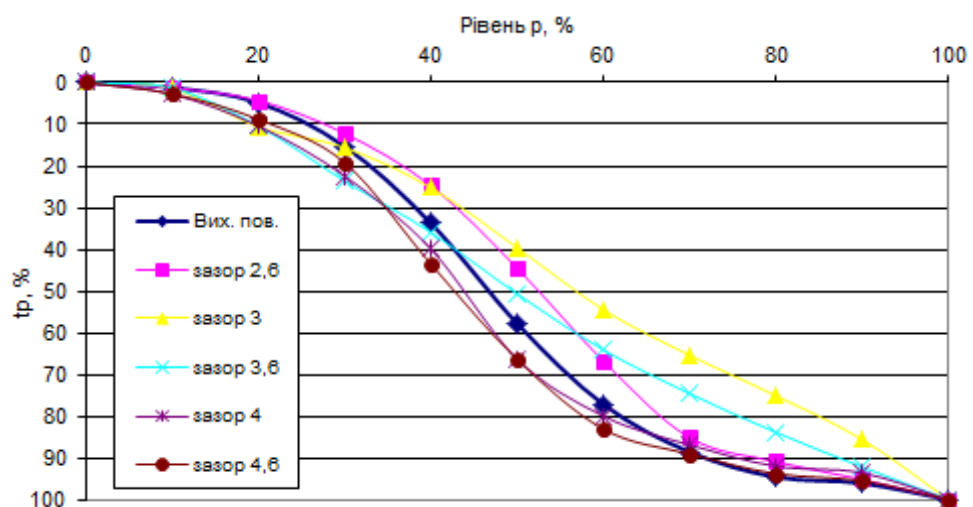


Рис. 3.27 Зміна величини t_p при різних рівнях p (Феромап 200/100)

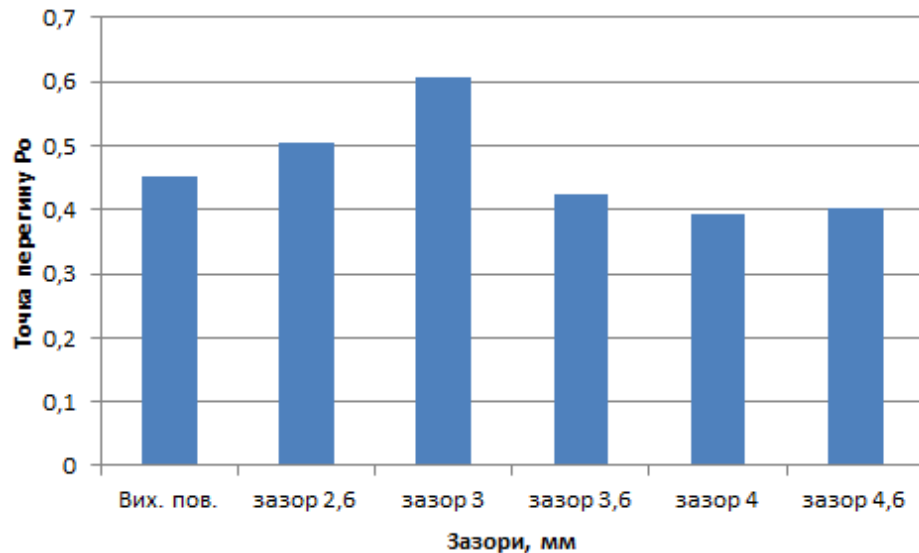


Рис. 3.28 Точки перегину p_0 (Феромап 200/100)

Згідно даних графіків можна проаналізувати, що порошок добре себе показує при зазорах 2,6 – 3 мм, точки перегину при цьому p_0 дорівнюють 50 та 60 % відповідно. Тобто при даних зазорах порошок до точки перегину знімає матеріал вершин, а при більших зазорах він на цьому ж рівні вже згладжує та полірує впадини мікронерівностей. Це можна пояснити маленькою розмірністю порошку.

В даному блоці досліджень змінили вид порошку на ДЧК 630/400 (новий), досліди проводили при подачі 10 мм/хв та частоті обертання – 900 об/хв (Рис. 3.29):

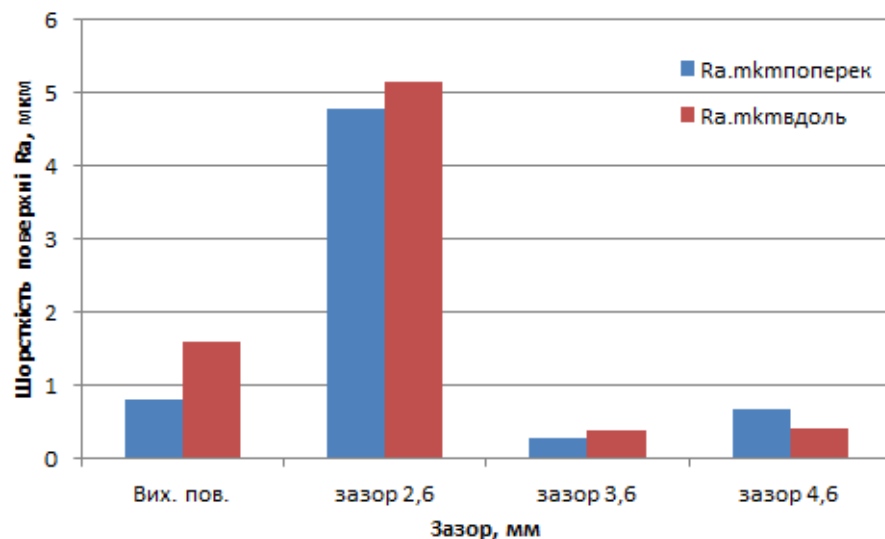


Рис. 3.29 Залежність шорсткості поверхні Ra від робочого зазору, при сталій подачі 10 мм/хв та частоті обертів 900 об/хв (ДЧК 630/400, новий)

Шорсткість вихідної поверхні була $Ra=1,2$ мкм. Так як цей порошок великого розміру, для нього зазор 2,6 був досить малим і, як результат, $Ra=4,96$ мкм, також видно сліди виривання матеріалу та шаржування поверхні (Рис. 3.30). При збільшенні зазору до 3,6 мм

шорсткість поверхні значно покращилась до $Ra=0,33$ мкм, що в 3,6 раз менше за вихідну поверхню, але на поверхні все ще було видно сліди подряпин від порошку. При зазорі 4,6 мм $Ra=0,54$ мкм.

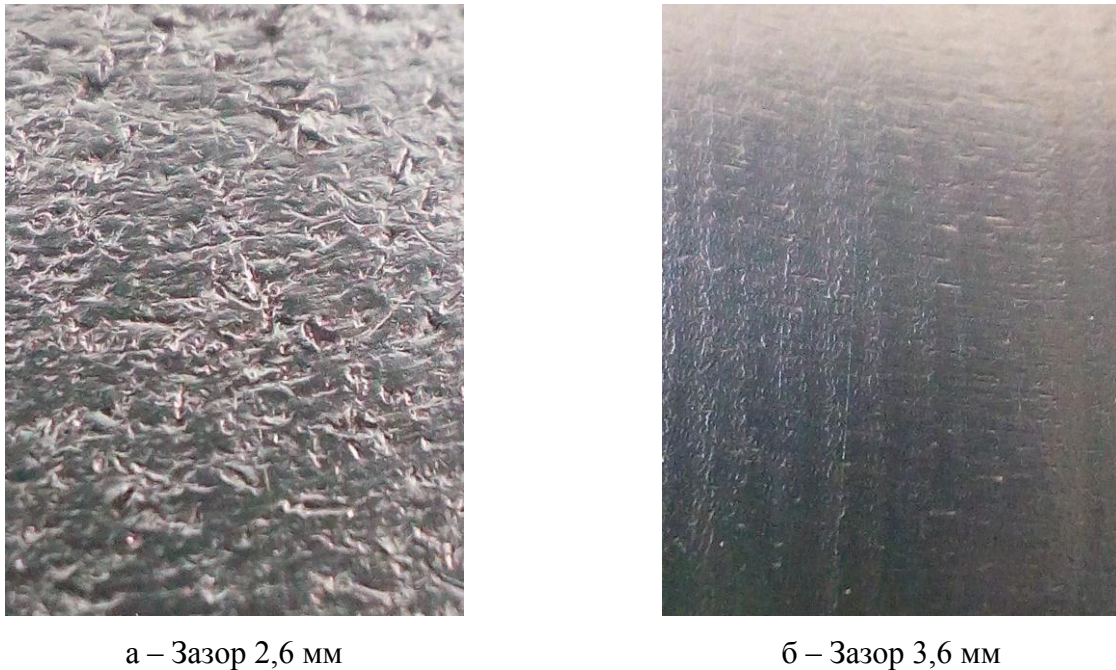


Рис. 3.30 Фотографії поверхні

Зміна величини t_p , отриманого при різних зазорах МАО та відповідні точки перегину r_0 наведені на рис. 3.31, 3.32:

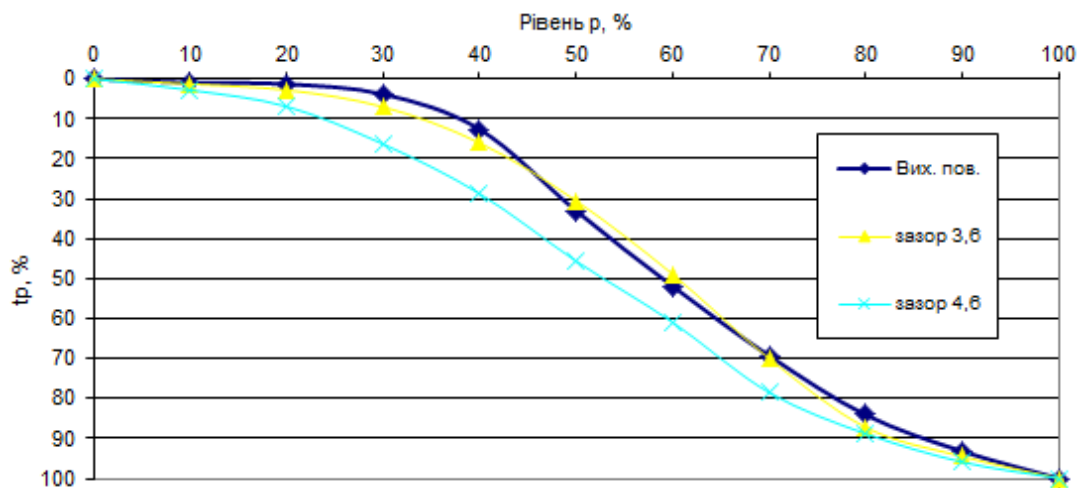


Рис. 3.31 Зміна величини t_p при різних рівнях r (ДЧК 630/400, новий)

Так як при зазорі 2,6 було дуже велике шаржування, не було сенсу вимірювати відносну опорну довжину профілю, тому на графіку показано тільки зазори 3,6 та 4,6 мм.

Як видно з рис. 3.31 точка перегину при зазорі 3,6 мм більша ніж при зазорі 4,6 мм ($r_0=59\%$, рис. 3.32), тому до цього рівня буде йти обробка вершин мікронерівностей, а при зазорі 4,6 на цьому ж рівні буде йти обробка западин, це можливо пояснити, що при зазорі 4,6 мм порошок не зачіплює та знімає матеріал, а тільки гладить поверхню деталі.

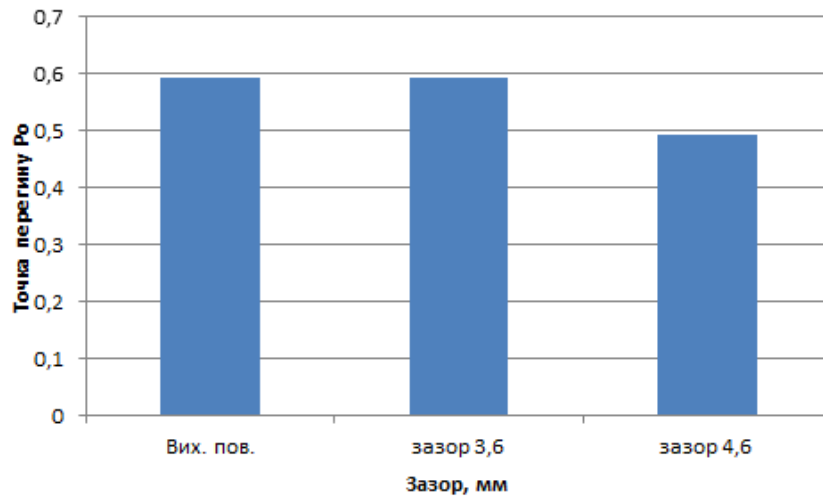


Рис. 3.32 Точки перегину p_0 (ДЧК 630/400, новий)

Тобто оптимальний зазор для цього типу порошку знаходиться в районі 3,6 мм, якщо буде менше, то поверхня буде шаржована, якщо більше – не буде знімати достатньо матеріалу.

Наступний дослід проводили на цьому ж типі порошку, але вже раніше використаному – ДЧК 630/400 (б/у) (Рис. 3.33):

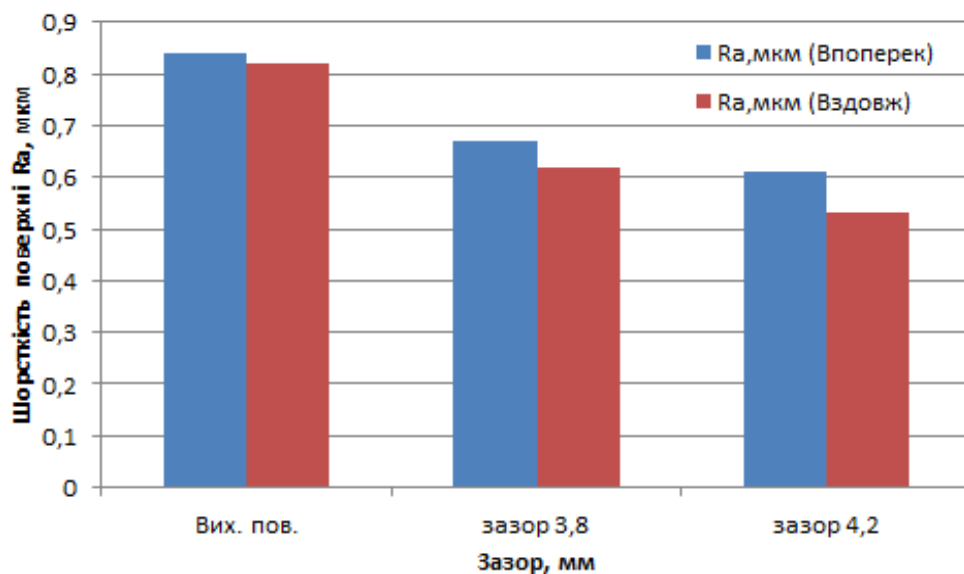


Рис. 3.33 Залежність шорсткості поверхні Ra від робочого зазору, при сталій подачі 10 мм/хв та частоті обертів 900 об/хв (ДЧК 630/400, б/у)

Також, слід зазначити, що використовували корпус головки, виготовлений із нержавіючої сталі. Шорсткість вихідної поверхні $Ra=0,82$ мкм. При зазорі 3,2 мм було виявлено дуже велике шаржування поверхні, тому даний приклад не був показаний на графіках та гістограмах. При зазорі 3,8 мм $Ra=0,62$ мкм, а при 4,2 мм $Ra=0,53$ мкм, що на 1,5 рази більше за вихідну поверхню. Це знову доказує тот факт, що для цього порошку, чим більше зазор, тим краща буде шорсткість поверхні.

Зміна величини t_p , отриманого при різних зазорах МАО та відповідні точки перегину p_0 наведені на рис. 3.34, 3.35:

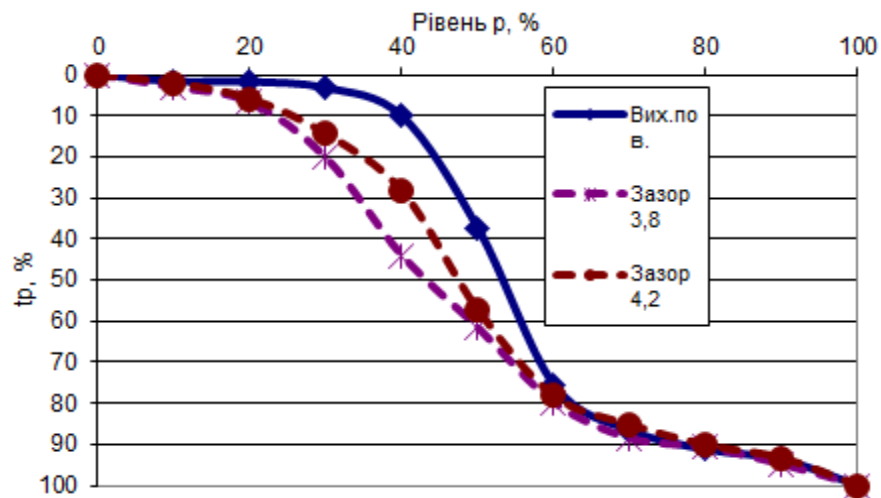


Рис. 3.34 Зміна величини t_p при різних рівнях p (ДЧК 630/400, б/у)

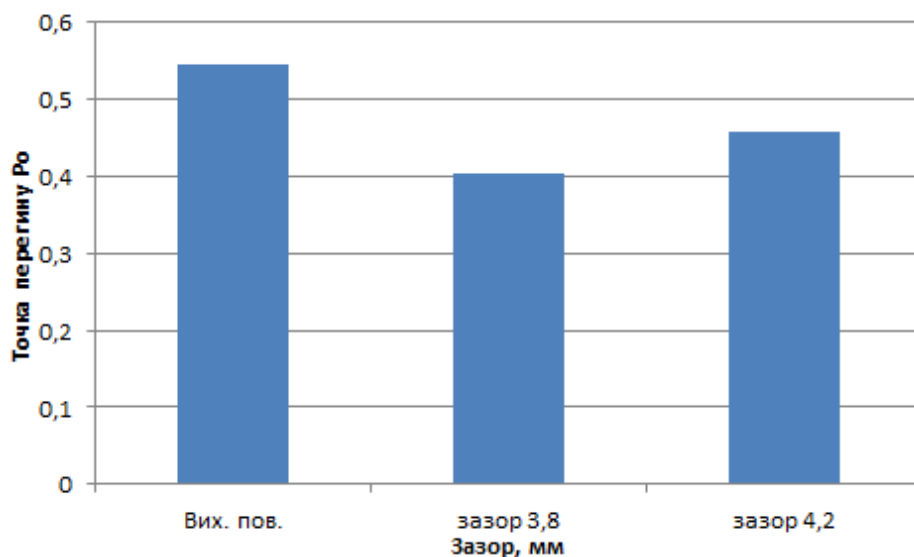


Рис. 3.35 Точки перегину p_0 (ДЧК 630/400, б/у)

З цих графіків видно, що при зазорі 3,8 порошок гірше обробляє поверхню та швидше переходить до стадії згладжування западин мікронерівностей, так як точка перегину $p_0=40\%$ менша ніж при зазорі 4,2 ($p_0=45\%$). Тобто при зазорі 4,2 мм йде більше обробка вершин мікронерівностей матеріалу, що краще позначається на шорсткості поверхні деталі.

Наступний дослід був проведений з порошком округлої форми Полімам-М400/315 (Рис. 3.36):

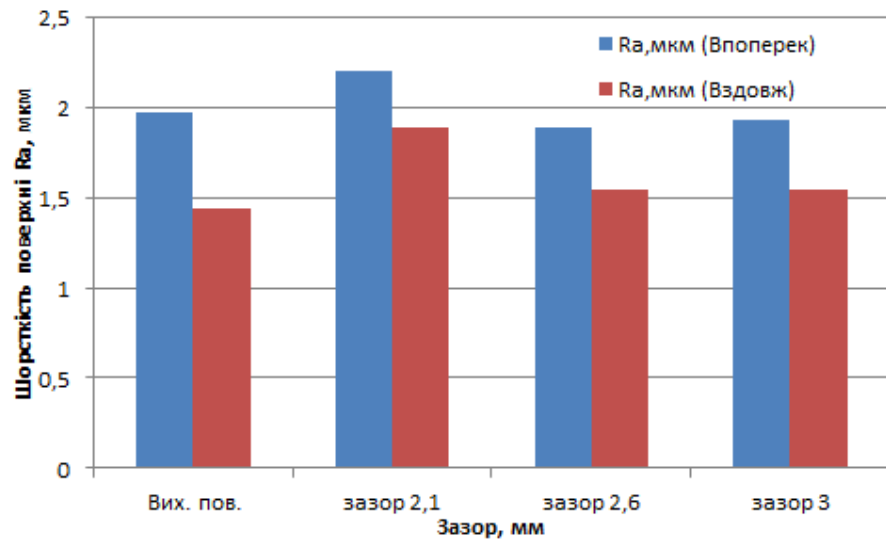
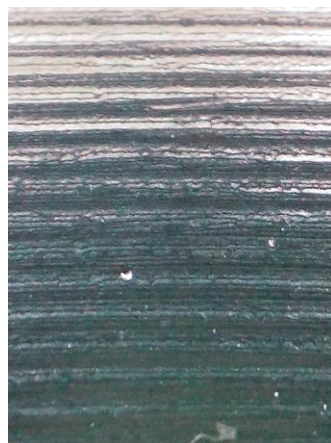


Рис. 3.36 Залежність шорсткості поверхні R_a від робочого зазору, при сталій подачі 10 мм/хв та частоті обертів 900 об/хв (Полимам-М400/315)

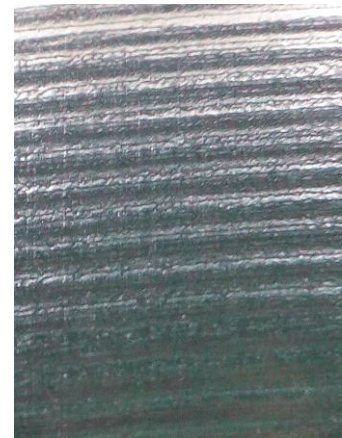
Вихідна поверхня була з шорсткістю $R_a=1,44$ мкм. При зазорі 2,1 мм шорсткість була $R_a=1,89$, на поверхні деталі було видно сліди шаржування та виривання матеріалу, при зазорах 2,6 та 3 мм $R_a=1,54$, на поверхні деталі були сліди шаржування в деяких містах (Рис. 3.37). Одразу можна зробити висновок, що магнітно-абразивна обробка плоских поверхонь порошком Полимам-М400/315 округлої форми в результаті буде давати поверхню з гіршою шорсткістю ніж на вихідній поверхні. Це можна пояснити тим, що порошок такої форми на врізається в матеріал та не знімає його, а просто вдавлюється.



а – при зазорі 2,1 мм



б - при зазорі 2,6 мм



в - при зазорі 3 мм

Рис. 3.37 Фотографії поверхні

Зміна величини t_p , отриманого при різних зазорах МАО та відповідні точки перегину p_0 наведені на рис. 3.38, 3.39:

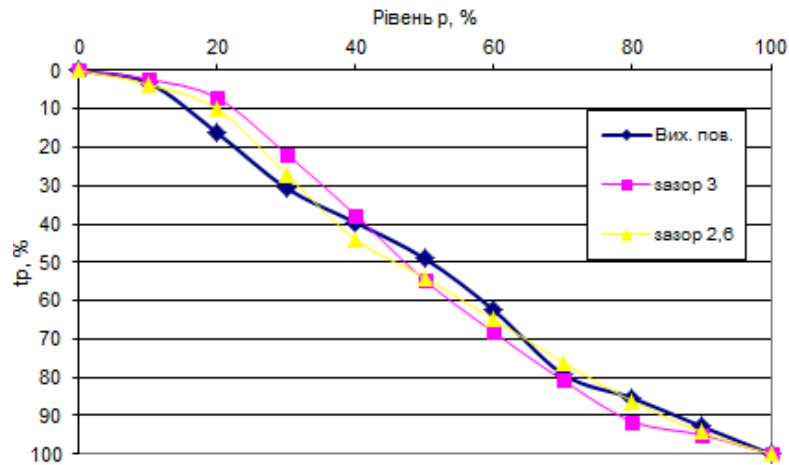


Рис. 3.38 Зміна величини t_p при різних рівнях r (Полімам-М400/315)

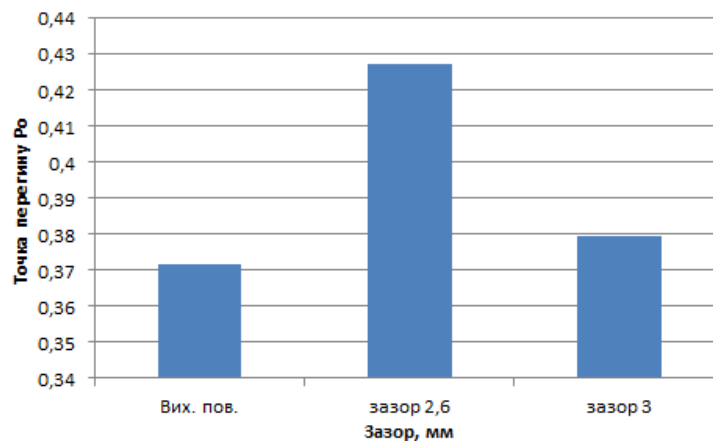


Рис. 3.39 Точки перегину r_0 (Полімам-М400/315)

Значення при зазорі 2,1 мм не було сенсу включати до графіків, так як було дуже помітне шаржування поверхні.

При зазорах 2,6 та 3 мм ми можемо побачити помітну різницю між точками перегину 42 та 37 %, тобто при зазорі 2,6 мм порошок знімає більше матеріалу вершин мікронерівностей ніж при 3 мм. Але при зазорі 3 мм порошок швидше переходить до стадії розгладжування впадин мікронерівностей профілю, тому поверхня оброблена при зазорі в 3 мм візуально виглядає краще.

Останній дослід ми проводили торцевою головкою, яка була виготовлена із нержавіючої сталі та порошком ПР Р6М5 300/250 (Рис. 3.40).

Шорсткість вихідної поверхні була $Ra=0,82$ мкм. При зазорі 2,6 мм якість поверхні погіршилась та було видно сліди шаржування. Шорсткість Ra (вздовж) при зазорах 3 та 3,4 мм майже рівна з вихідною поверхнею, але за рахунок значно меншої шорсткості Ra впоперек якість поверхні після обробки стала дещо краще. Шорсткість поверхні при цих зазорах була $Ra=0,61$ та $Ra=0,65$ мкм відповідно.

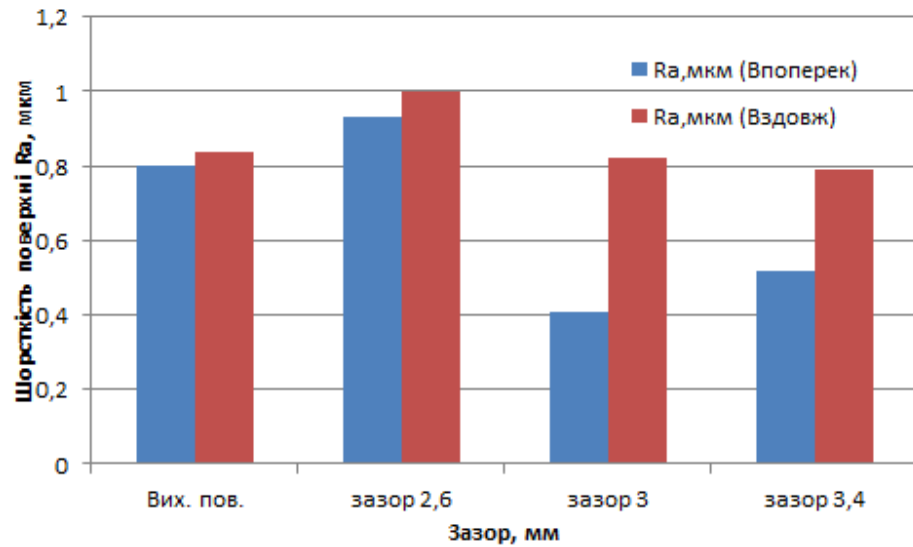


Рис. 3.40 Залежність шорсткості поверхні Ra від робочого зазору, при сталій подачі 10 мм/хв та частоті обертів 900 об/хв (ПР Р6М5 300/250)

Зміна величини t_p , отриманого при різних зазорах МАО та відповідні точки перегину p_0 наведені на рис. 3.41, 3.42:

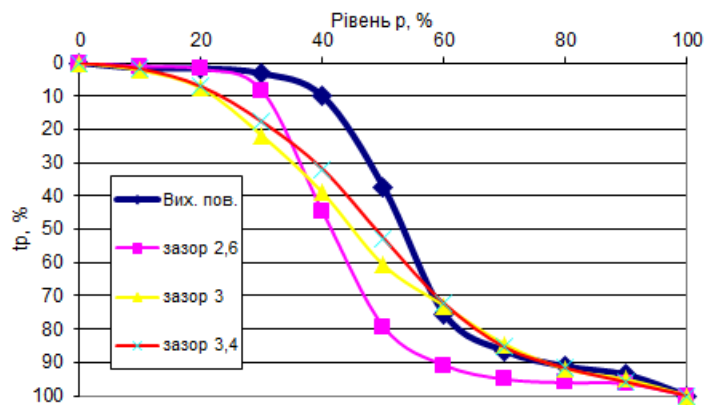


Рис. 3.41 Зміна величини t_p при різних рівнях r (ПР Р6М5 300/250)

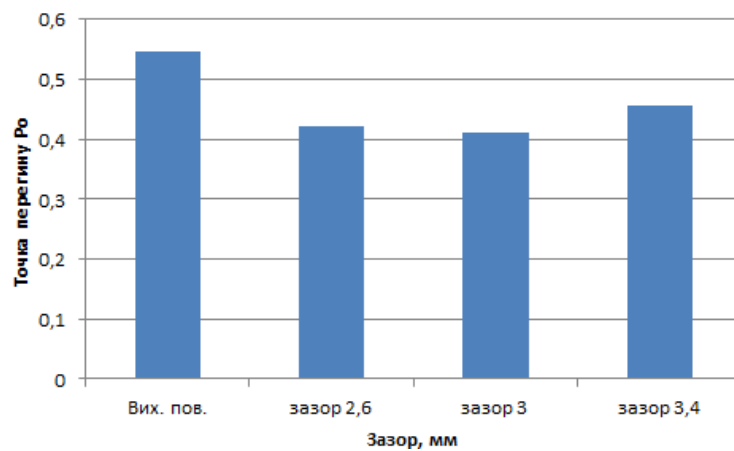


Рис. 3.42 Точки перегину p_0 (ПР Р6М5 300/250)

З даних рисунків видно що, точка перегину при зазорі 2, 6 мм становить 42 %, що майже рівна точці перегину при зазорі 3 – 41 %. Але при зазорі 2,6 мм порошок швидше переходить зі стадії зняття матеріалу з верхівок мікропрофілю до розгладжування западин, що і призводить до виникнення шаржування поверхні деталі. Оптимальний зазор для цього порошку буде в межах 3 мм.

Дослідження зміни опорної поверхні мікропрофілю, отриманого після різних режимів МАО показали, що на початковому етапі МАО здійснюється переважне диспергування і згладжування мікрорівнин на шорсткуватій поверхні до величини Ra, мінімально досяжної для використовуваного магнітно-абразивного порошку. Після формування мінімальної шорсткості із збільшенням часу МАО відбувається збільшення величини Ra, зв'язане з розполіровкою мікрозападин шорсткуватої поверхні. Загальні результати щодо обробки поверхні різними видами та розмірами порошоків представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Загальні результати

Форма та розмір порошку	Оптимальний робочий зазор, мм	Шорсткість поверхні Ra, мкм
Феромап 400/315 мкм	3-3,6	0,083-0,096
Феромап 630/400 мкм	3-3,8	0,033-0,052
Феромап 315/200 мкм	2,6	0,119
Феромап 200/100 мкм	2,6	0,084
ДЧК630/400 мкм(новий)	3,6	0,32
ДЧК630/400 мкм(б/у)	4,2	0,53
Полімам-М400/315 мкм(округлий)	2,6-3	1,54
ПР Р6М5 300/250 мкм	3-3,4	0,61-0,65

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА УСТАНОВКИ З КОАКСІАЛЬНО НАПРАВЛЕНИМИ ПОЛЮСНИМИ НАКОНЕЧНИКАМИ ТИПУ «КІЛЬЦЕВА ВАННА» ДЛЯ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ

4.1. Зміст ідеї

Ідеєю проекту є розробка установки типу кільцева ванна та технології її виготовлення. Дана установка призначена для підвищення якісних характеристик плоских деталей після їх використання. Планується, що установка буде займати не багато місця, приблизно 500мм² та оброблювати інструмент розмірами не більший ніж 8 – 10 мм.

На відміну від існуючих методів фінішного оброблення деталей (алмазне шліфування, віброабразивне оброблення та ін.) та устаткувань, які це роблять, запропонований метод магнітно-абразивного оброблення дозволяє покращити якість деталі комплексно, а не якийсь окремий показник окремо, а установка, як зазначалося вище, буде займати небагато місця і одночасно оброблювати до двох деталей. Окрім того такий метод обробки характеризується високою точністю та якістю обробленої поверхні, що безумовно надає цьому методу перевагу над іншими.

Таким чином, запропонована ідея дозволяє підприємству не купувати нові, досить дорогі деталі, а переточити старі та експлуатувати його. Дана установка дозволить дуже швидко відполірувати, відновити та покращити якісні характеристики деталі. Після полірування якість оброблюваної поверхні збільшиться. За рахунок малих габаритів установки не потрібно відводити для неї багато місця.

4.2. Можливі напрямки застосування

Запропонована ідея розрахована на підприємства, які знаходяться в невеликих містах та селах, де в людей не так багато коштів для купування нових деталей.

Розробка нової універсальної установки дозволить уникнути затрат у часі (обробка ведеться приблизно 3-5 хв), великої кількості витрачених грошей на нові деталі і великої кількості робочого місця.

4.3. Основні вигоди, що може отримати користувач товару

Користувач отримує переваги одразу в декількох напрямках, а саме: в часі та витрачених коштах, в габаритах установки та якості відновлених деталей. Після магнітно-абразивного оброблення (МАО) стійкість деталі збільшується в 1,8 раз, відбувається збільшення твердості приповерхневого шару на глибину 150 – 170 мкм, на поверхні відсутні мікронерівності, відсутня рихлість і за рахунок обрання раціональних умов оброблення можна підвищити роботоздатність деталі в 2,5 – 3 рази. Крім того, вигода користувача в

тому, що використання даної установки не потребує високої кваліфікації працівника, що значно знижує затрати.

Зведені параметри запропонованої ідеї наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Опис ідеї старап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Розробка установки з коаксіально направленими полюсними наконечниками типу «кільцева ванна» для магнітно-абразивного оброблення деталей	1. Машинобудування	Значно менша кількість грошей, потрібна для роботи устаткування та на оплату праці, ніж на купування великої кількості нових деталей; дуже малий час обробки
	2. Автомобілебудування	Потрібна чистота деталі, не видно слідів шліфування на задній поверхні, відсутність мікронерівностей
	3. Авіаційна промисловість	Може одночасно обробляти дві деталі, дуже практичне та не габаритне устаткування, підвищена якість та стійкість деталі

4.4. Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї

Порівняння проводилось за такими техніко-економічними характеристиками як економічні, технічні, надійності, технологічні та експлуатаційні. Дані критерії входять до методик оптимізації технологічних процесів та є такими, що висвітлюють найбільш об'єктивне положення в галузі машинобудування.

До основних конкурентів можна віднести наступні компанії: Supfina, OTEC Präzisionsfinish GmbH, Salvagnini. Компанія Supfina спеціалізується на алмазному шліфуванні та випускає устаткування LCM Crank. Даний метод набув широкого розповсюдження за рахунок формування в тонкому поверхневому шарі стискаючих напружень, величина яких залежить від умов оброблення. Дані зміни зумовлюють зміцнення поверхневого шару, зростає втомна міцність, підвищується твердість поверхневого шару, що важливо для підвищеної працездатності деталі. Але при недотриманні режимів оброблення відбувається протилежний ефект і в поверхневому шарі формуються несприятливі розтинаючі напруження, внаслідок чого на поверхні можуть виникати мікротріщини, крім того розміри даного устаткування дуже великі, і потрібно багато місця для його встановлення.

Компанія OTEC Präzisionsfinish GmbH спеціалізується на обробці у вільному абразиві та випускає устаткування OTEC DF70. В процесі оброблення деталі здійснюють планетарний рух в абразивному середовищі з метою забезпечення рівномірного оброблення деталі та

полірування поверхонь. Під час оброблення різні частини довгомірних деталей знаходяться на різній глибині в робочому середовищі, що супроводжується різними величинами сил, які діють на ці оброблювані елементи, що спричиняє нерівномірне оброблення по довжині оброблюваних деталей. При шліфуванні твердого сплаву виникають не достатні зусилля притискання зерен до оброблюваних поверхонь, що може значно знизити продуктивність роботи та збільшити час оброблення.

Компанія Salvagnini спеціалізується на струминно-абразивному обробленні та випускає устаткування Metalfinishing Turbo 1x9w. Даний метод оброблення підвищує міцність та роботоздатність деталей. Суть процесу струминно-абразивного оброблення полягає в тому, що на оброблювану поверхню діє зі значною швидкістю струмінь абразивних зерен, які виконують зміцнення поверхні та зміну її мікрогеометрії. Відзначимо, що при обробленні деталей, які мають складну просторову форму має місце низька ефективність оброблення всіх поверхонь, що відбувається через направлену дію потоку на оброблювану поверхню. Для запобігання даному недоліку необхідно використовувати декілька різнонаправлених струменів або задавати йому складну траєкторію руху, що значно ускладнює конструкцію устаткування. Відзначимо, що на деталі можуть утворюватись сколювання, викришування в результаті постійних мікроударів зерен по оброблюваній поверхні. Складним є контролювання зміни форми, також даний метод оброблення поверхонь може приводити до погіршення їх шорсткості, що негативно впливає на якість виробів.

Порівняння з виробниками-конкурентами наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Supfina	OPEC Präzisionsfinishing GmbH	Salvagnini			
1.	Економічні		LCM Crank	OPEC DF70	Metalfinishing Turbo 1x9w			Малі капіталовкладення, незначна кількість

							оплати праці	
2.	<i>Технічні</i>						Габарити устаткування, точність, простота конструкції	
3.	<i>Надійності</i>						Відсутність великої кількості елементів	
4	<i>Технологічні</i>					Можливість обробки деталей величиною до 8-10мм	Можливість обробки різних деталей	Рівномірне оброблення по всій довжині деталі, високі показники ефективності.
5	Експлуатаційні						Стабільність роботи	

4.5. Технологічний аудит ідеї проекту

Технологія виготовлення продукту є одним з ключових факторів успішності ідеї на ринку. Для оброблення деталі, як правило, застосовують два види установок для MAO, які відрізняються за кінематичною схемою процесу та типом магнітів. При першій схемі MAO відносно практично нерухомої оброблюваної деталі рухаються з різною швидкістю два диски з розташованою на торцях сіткою з постійних магнітів на яких розташовується МАП товщиною 5 – 7 мм. При другій схемі використовуються електромагніти з полюсними наконечниками, а відносно переміщення МАІ та оброблюваних деталей здійснюється за рахунок руху деталі, що включає рух оправки вздовж магнітної зони верстату та обертання її з закріпленою деталлю навколо власної осі.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
1	Установка з коаксіально направленими полюсними наконечниками типу «кільцева ванна» для магнітно-абразивного оброблення деталей	Технологія 1: між двома дисками встановлюється оброблювана деталь, диски рухаються з різною швидкістю з розташованою на торцях сіткою з постійних магнітів на яких розташовується МАП.	Технологія наявна.	Повністю доступна
		Технологія 2: використовуються електромагніти з полюсними наконечниками, відносно переміщення оброблюваних деталей здійснюється за рахунок руху інструменту, що включає рух оправки вздовж магнітної зони верстату та обертання її з закріпленою деталлю навколо власної осі	Технологія наявна.	Повністю доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Технологія 2				

Висновок. Розглянувши можливі варіанти забезпечення ідеї проекту обрано Технологію 2. Друга схема має ряд переваг перед першою, найбільша з них – це забезпечення рівномірного оброблення складнопрофільних деталей, оскільки відносний рух МАІ та поверхонь оброблюваних деталей забезпечується складною траєкторією руху оправки в робочій зоні, яка має кільцеву форму та можливість керувати жорсткістю МАІ, змінюючи силу струму в обмотках електромагнітів. Магнітне поле в даному випадку виконує роль віртуальної зв'язки, жорсткість якої можна регулювати в широких межах, наближуючи інструмент за своїми властивостями до вільного абразиву або до жорстко зв'язаного.

4.6. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	3..5
2	Загальний обсяг продаж, ум.од/рік (Україна)	1,5..2 млн у.о.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Особливі соціально-економічні умови
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Не виявлено
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	25..40

Таким чином, можна зробити висновок, що на ринку не так багато наявних гравців, що пропонують продукцію з високою додатковою вартістю. Незважаючи на нестабільну ситуацію в країні об'єми ринків стоматологічних послуг, ювелірних послуг, авіа- та верстатобудування в Україні. Попри занепад більшості державних підприємств, лікарень, на підприємствах приватних відбувається перехід до більш сучасного обладнання. Наприклад, майже в усіх приватних лікарнях є сучасне обладнання, яке користується великим попитом і потрібне обладнання, яке буде якісно та швидко оброблювати використаний інструмент.

Вхід на український ринок українського виробника є досить простим. Навіть враховуючи присутність світових компаній-лідерів через значні показники девальвації національної валюти будь-яке внутрішнє виробництво має перевагу перед імпортерами. Таке підприємство на внутрішньому ринку може виступати і в ролі експортера. Адже в сучасних економічних умовах це дозволяє конкурувати і за межами країни. Слід взяти до уваги і високу додаткову вартість виробників-конкурентів.

Потенційні групи клієнтів, їх характеристики та перелік вимог то товару наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ n/n	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Устаткування не великих габаритів	Машинобудуванн, які знаходяться в невеликих містах	Акцент на зменшенні витрат за рахунок малих габаритів. Мала собівартості операції.	- до продукції: устаткування повинно мати належну міцність - до компанії-постачальника: можливість швидкої доставки
2	Малі затрати у часі	Машинобудування , автомобілебудування, Авіаційна промисловість.	Акцент на високій швидкості оброблення інструменту.	- до продукції: висока точність та якість - до компанії-постачальника: можливість забезпечити устаткуванням належної точності
3	Переточка старої деталі	Машинобудування , які знаходяться в невеликих містах.	Підприємства, що знаходяться в невеликих містах зацікавлені в переточці старої деталі, щоб не платити великі гроші за новий.	- до продукції: якість, точність, правильність форми - до компанії-постачальника: можливість забезпечити деталлю конкретний об'єм виробництва

4.7. Аналіз ринкового середовища

Нижче наведено таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. №№ 4.6-4.7).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Загальний спад попиту на оброблену продукцію	Новий, тільки виготовлена деталь буде коштувати дешевше або так само як і переточена.	Розробка нового устаткування для обробки або нової технології виготовлення деталі.
2	Залежність від постачальників деталей для устаткування	Невелика кількість постачальників деталей регулюють ринок, володіють значною переговорною силою.	Довгострокова співпраця з постачальниками, створення взаємовигідних умов співпраці.
3	Нове устаткування	Поява нової установки, яка буде коштувати дешевше.	Перегляд технології виготовлення та вдосконалення обладнання

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Вдосконалення власної установки	Можливість оброблення більшої кількості інструментів, технології їх виготовлення, підвищення показників ефективності	Постійний розвиток технологій
2	Вихід на нові ринки	Збільшення об'єму продажів, співпраця з новими підприємствами та країнами.	Пошук нових ринків збуту та партнерів
3	Впровадження франшиз, філіалів та відділів в різних регіонах	Створення власних центрів сервісу, обслуговування та виготовлення продукції, розвиток об'ємів виробництва	Своєчасне проведення аудиторських та маркетингових досліджень

Загальні риси конкуренції на ринку наведено в табл. 4.8.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Тип конкуренції олігополія	На ринку представлені переважно великі міжнародні компанії, їх кількість невелика. Практично відсутні малі підприємства.	Боротьба за галузі на які завжди буде попит там де великі компанії мають дуже високу ціну.
2. За рівнем конкурентної боротьби міжнародний	Компанії виробники представлені в різних країнах світу.	Розвиток логістичних і транспортних систем.
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Переважно виробники спеціалізуються на виготовленні установки. В меншій мірі присутня міжгалузева конкуренція.	Концентрація над конкретними ідеями.
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Найбільшого значення має призначення товару.	Представлення на ринку різних видів установки.
5. За характером конкурентних переваг - цінова/не цінова	Конкуренція як за рахунок перспективних технологій так і за рахунок зниження цін.	Забезпечити компромісне рішення
6. За інтенсивністю - марочна	На ринку висока роль бренду.	Приділити увагу маркетинговій компанії для впізнаваності на ринку.

Перелік факторів конкурентоспроможності наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ n/n	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Оригінальна ідея створення негабаритного устаткування	Розглянута установка відрізняється від інших виготовлених досить малими розмірами, її можливо поставити практично в будь-якому місті.
2	Швидкість обробки	Дана установка дозволяє обробити інструмент за 3-5 хв, чого не можливо сказати про інші.
3	Відсутність конкурентів всередині країни	Мінімальна залежність цін на внутрішньому ринку від курсу валют, затрат на транспортування тощо.
4	Використання ефективного методу обробки деталей	МАО комплексно покращує якісні характеристики деталей, тоді як інші методи покращують тільки один або декілька показників

Висновок. З огляду на конкурентну ситуацію вихід ідеї на ринок можливий, проте слід розраховувати на ті галузі, де конкуренти мають найменший вплив.

4.8. SWOT-аналіз

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.10) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.6-4.7).

Таблиця 4.10. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: - позитивне ціноутворення на внутрішньому ринку; - прогресивна конструкція установки; - ефективний технологічний процес; - малий час обробки; - мала вартість роботи устаткування та переточеної деталі.	Слабкі сторони: - відсутність власної сировинної бази; - висока частка імпорту для забезпечення виробництва; - складність виходу на нові ринки;
Можливості: - Вдосконалення власної науково-технічної бази; - Вихід на нові ринки;	Загрози: - Загальний спад попиту на оброблену продукцію; - можливість створення нового обладнання;

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) 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.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.11).

Таблиця 4.11. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Забезпечення надійних і незалежних постачальників продукції	Невелика кількість виробників, що спеціалізуються на випуску деталей, не складають конкуренції на ринку інструменту (Китай). Логістичні системи та об'єми продукції розвинуті на високому рівні.	2..3 місяці.
2	Освоєння власного заготівельного виробництва.	Велика кількість виробників деталей, на внутрішньому ринку також.	Для досягнення конкурентної точності необхідно 2..3 роки
3	Вихід на нові ринки збуту (міжнародні)	Можливо за умов розвитку об'ємів виробництва та маркетингу.	2..5 років

Висновок. В результаті аналізу можна зробити висновок, що освоєння власного заготівельного виробництва є перспективним і дало б змогу бути незалежними в питанні заготовок. Проте це потребує значних наукоємких затрат та часу для реалізації, що на початкових етапах є недоцільним. Тому обрано альтернативний шлях – розвиток відносин з виробниками потрібних нам деталей для установки, що не є конкурентами на ринку верстатобудування.

4.9. Розробка ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.12).

Таблиця 4.12. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	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
1	Машинобудування, яке знаходяться в невеликих містах	Зацікавлені	Високий	Висока, не цінова	Доступно
2	Авіаційна, автомобілебудування, приладобудування	Зацікавлені	Середній	Висока, не цінова	Складно доступно
3	Ремонтні заводи, майстерні, депо і т.п.	Зацікавлені	Середній	Цінова, порівняно низька	Доступно
Які цільові групи обрано: машинобудування, автомобілебудування, які знаходяться в невеликих містах					

Висновок. За результатами аналізу потенційних груп споживачів прийнято стратегію диференційованого маркетингу.

4.10. Стратегія конкурентної поведінки

Результат аналізу наведено в табл. 4.13.

Таблиця 4.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ n/n	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*
1	Проект пропонує один із способів вирішення відомих проблем, дуже близький до вже відомих.	Пошук і розвиток клієнтської бази є одним з основних аспектів розвитку компанії.	Спільні характеристики товару продиктовані чинними стандартами та нормами підприємств.	Заняття конкурентної ніші

Висновок. Стратегія заняття конкурентної ніші є найбільш актуальною, тому що за наведених технологій та конструкцій деталей знижується його собівартість. Це відкриває нові можливості для клієнтів, які раніше не користувались даними деталями (дає змогу застосовувати нові матеріали, оптимізувати технологічні процеси, знизити витрати тощо). Такі ніші є не освоєними конкурентами і цей факт дозволяє зарекомендувати себе на ринку.

4.11. Маркетингова концепція товару

Формування маркетингової концепції товару наведено в табл. 4.14.

Таблиця 4.14. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Досить не великих габаритах установки	Простий та якісний пристрій малих розмірів	Відсутність додаткової вартості товару; Низькі логістичні витрати
2	Висока швидкість оброблення	3 – 5 хв і можна далі використовувати інструмент	Якісна деталь без сколів та мікронерівностей
3	Не платити за нову деталь	Переточена деталь не поступається якісними характеристиками новому	Швидкість обробки, установку може освоїти не висококваліфікований робітник

4.12. Визначення цінових меж товару

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.15.). Аналіз проводиться експертним методом.

Для порівняння за одиницю ціни прийнято вартість устаткувань компаній конкурентів – 40000 грн., а за переточку – 150 грн.

Таблиця 4.15. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	0.05..0.8	0.9..1.5		0,65..0,95

Висновок. Межі ціни встановлено таким чином, щоб запропонований товар міг охоплювати як конкурентні галузі, так і нові, де використовують товари-замінники.

4.13. Визначення оптимальної системи збуту

Визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.16)

Таблиця 4.16. Формування системи збуту

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
	Надають вибір постачальникам з широким асортиментом продукції та логістичною доступністю	Забезпечення в необхідних об'ємах різних підприємств-клієнтів.	В межах регіону, країни	Власна система збуту

Висновок. Обрано використання власної системи збуту для безпосереднього контакту з клієнтом. За потреби допускається використовувати залучену систему збуту.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі наведено вирішення наукової задачі, пов'язаної з підвищенням якості деталей при використанні фінішного оброблення, а саме методу магнітно-абразивного оброблення (МАО) площин.

5. Було проведено аналіз відомих видів постійних магнітів та їх властивостей і, як результат, обрано магніт з найбільшою силою намагнічування і стійкістю до розмагнічування сплаву неодим + залізо + бор ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$). У цих магнітів лише два недоліки – крихкість та низька робоча температура. Так як в нашому експерименті робота ведеться без биття та в межах низьких температур було обрано саме цей вид магнітів.

6. Розроблено експериментальну модель торцевої головки для оброблення деталей площин.

7. Для різних видів порошків було експериментально обрано оптимальний робочий зазор, подачу та частоту обертання, при яких шорсткість поверхні мінімальна. Показано різницю між використанням сухого порошку та з ЗОМСТ, в роботі використовувався Асфол. Виявлено, чим менше шорсткість вихідної поверхні деталі, тим менше буде і шорсткість після обробки. Можна сказати, що порошки, які мають осколкову форму краще підходять для обробки площин, а порошки округлої форми, такі як Полімам-М 400/315 та ПР Р6М5 300/250 не зрізають поверхневий шар, а тільки пластично деформують його. Було показано, що при неправильному виборі робочого зазору порошок може не тільки не обробити поверхню, а зробити її ще гірше, чим вона була до цього, на поверхні можна чітко побачити сліди від шаржування; при збільшенні подачі шорсткість поверхні має тенденцію до збільшення; відхилення частоти обертання торцевої головки від оптимальної 900 об/хв призводить до погіршення шорсткості.

8. Для більш розширеного аналізу стану мікрогеометрії поверхні обробки виконували аналіз, контролювали та визначали залежності зміни величини опорної довжини профілю від відносної висоти мікронерівностей мікропрофілю $t_p=f(p)$. Також для даної залежності було визначено відповідні точки перегину, що відповідають максимальній величині зміни щільності відносної опорної довжини профілю і фактично визначають значення рівня мікропрофілю p , на який здійснюється перехід від вершин мікропрофілю до западин. Тобто можна наглядно побачити, на якому рівні порошок оброблює западини, а на якому впадини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ульяненко Н.В. Підвищення працездатності твердосплавного інструменту шляхом застосування магнітно-абразивного оброблення та нанесення зносостійких покриттів: дис. ... канд. техн. Наук : 05.03.01 / Ульяненко Наталія Валентинівна. – Київ, 2006. – 160 с.
2. Солоненко В.Г. Повышение работоспособности режущих инструментов поверхностным пластическим деформированием / В.Г. Солоненко, И.В. Двудненко // СТИН. – 2001. – №4. – С. 17 – 21.
3. Лошак М.Г., Фридман В.М., Смагленко Ф.П. и др. Влияние режимов алмазного шлифования на напряженное состояние и прочность твердого сплава ВК6// Синтет. Алмазы. – 1973. - вып. 1. - С. 23-27.
4. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов / Лошак М.Г. – К.: Наук.думка, 1984. – 328 с.
5. Dhirendra K. S. Experimental investigations into forces acting during a magnetic abrasive finishing process / K. S. Dhirendra, V. K. Jain. // Int J Adv Manuf Technol. – 2006. – №30. – С. 652–662.
6. Harsh K. Magnetorheological nano-finishing of diamagnetic material using permanent magnets tool / K. Harsh, G. Vishwas. // Precision Engineering. – 2018. – №51. – С. 30–39.
7. Jain V. K. Chemo-mechanical magneto-rheological finishing (CMMRF) of silicon for microelectronics applications / V. K. Jain, P. Ranjan. // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 2019. – №59. – С. 323–238.
8. Wang Y. Q. Magnetorheological polishing using a permanent magnetic yoke with straight air gap for ultra-smooth surface planarization / Y. Q. Wang, S. H. Yin. // Precision Engineering. – 2014. – №13. – С. 1–9.
9. Оликер В. Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий / В. Е. Оликер. – Москва: "Металлургия", 1990. – 176 с.
10. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
11. Буше Н. А. К вопросу о процессах, происходящих на поверхности трения металлических материалов. – В кн.: О природе трения твердых тел. Минск, «Наука и техника», 1971. с. 75-77.
12. Зверовщиков В.З. Точностные характеристики центробежно-абразивной обработки деталей незакрепленным шлифовальным материалом // Новые промышленные технологии. – 1997. – Вып.3. – С. 22 – 29.

13. Byelyayev O. Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung: Phd-Thesis, Otto von Guericke. – Magdeburg, 2008. – P. 150.
14. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Майборода Віктор Станіславович. – К., 2001. – 404 с.
15. Ульяненко Н.В. Підвищення працездатності твердосплавного інструменту шляхом застосування магнітно-абразивного оброблення та нанесення зносостійких покриттів: дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Ульяненко Наталія Валентинівна. – Київ, 2006. – 160 с.
16. Carlos Julio Cortés Rodríguez Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing / Carlos Julio Cortés Rodríguez. – Kassel: Kassel University press GmbH, 2009. – P. 189.
17. Гусев В. В. МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ / В. В. Гусев. // Наукові праці ДонНТУ. – 2011. – С. 145–151.
18. Кучеренко С.В. Моделирование процесса магнитно-абразивного полирования/С.В. Кучеренко, В.В. Гусев// Инженер. Студентський науково-технічний журнал. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. - №11. - С.65-67.
19. Гусев В. В. Особенности формирования микрорельефа при магнито-абразивной обработке внутренних поверхностей из керамики по сравнению с твердым сплавом / В. В. Гусев. // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2014. – С. 91–95.
20. Майборода В.С. Магнитно-абразивная обработка специальных деталей. Диссертация ... канд.техн.наук. – Киев, - 1988. – 170 с.
21. Коновалов Е.Г., Саулевич Ф.Ю. Основы электроферромагнитной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1974. – 272 с.
22. Способ магнитно-абразивной обработки изделий: А.с. 319454 СССР, МПК В 24b 37/00 /Ф.Ю.Сакулевич.– №1379685/25-8; Заявлено 03.11.69; Опубл. 02.11.71, Бюл.№33. –2с.
23. Устройство для магнитно-абразивной обработки: А.с.409840 СССР, М.Кл. В 24В31/10, В 23р 1/00 /Д.Я.Горфинкель, Г.А.Амнуэль.– №1795012/25-8; Заявлено 29.05.72; Опубл.05.01.74, Бюл. №1. – 2с.ил..
24. Пат.3898769 США, МКИ В24В 5/22, В24D 3/00, В24D 17/00. Methodandapparatusforcentersmagnetic-abrasivepolishing: Пат.3898769 США, МКИ В24В 5/22,

B24D 3/00, B24D 17/00/ В.Г.Мakedonski, А.Д.Кochemidov, I.M.Dumanov, S.G.Payakov –№ 461,440; Заявлено 12.03.73; Оpubл. 16.04.74; Бюл. № 2 - 6с.ил.

25. Пат.2.261.098 Франция. Pисpositif de profilage de disques de moujage. / Josef Ribas//Bulletin Officiel de la Propriete Industrielle. – 1975. -№42. – P.11994.

26. Оликер В.Е.Физико-технические основы создания порошков эвтектических сплавов для процессов магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий. Автореф.дис....докт.техн.наук. – Киев, 1988. – 45 с.

27. Оликер В.Е. Применение, классификация и тенденции развития абразивной обработки ферромагнитными порошками. – Киев:ИПМ АН УССР. Препринт, 1984. – 66с.

28. Барон Ю.М. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса абразивной обработки деталей машин в магнитном поле. Автореф.дисс....канд. техн.наук. – Л., 1969. – 23 с.

29. Устройство для чистовой обработки поверхностей заготовок ферромагнитными порошками в магнитном поле: А.с.428928 СССР, М.Кл. В 24b 31/10 / Г.С.Шулев, Б.П.Борисов. – №1813989/25-8; Заявлено 24.07.72; Оpubл. 25.05.74., Бюл. №19. – 3с.

30. Устройство для магнитно-абразивной обработки тел вращения: А.с.814684 СССР, М.Кл. В 24b 31/10 / Ю.С.Кочура, А.А.Мизери. –№2785726/25-8; Заявлено 27.06.79; Оpubл. 23.03.81., Бюл. №11. – 3с.ил.

31. Устройство для магнитно-абразивной обработки: А.с.931414 СССР, М.Кл. В 24В 31/10 / Ю.А.Базарнов, Ф.Ю.Сакулевич, В.В.Смоляк. –№2832648/25-8; Заявлено 26.10.79.; Оpubл. 30.05.82., Бюл. № 20. – 4с.ил.

32. Устройство для обработки ферромагнитными порошками в магнитном поле: А.с.504631 СССР, М.Кл. В 24b 31/10 / Л.Г.Усаков.– №32031801/25-8; Заявлено 07.06.74.; Оpubл. 28.02.76., Бюл. №8. – 2с.ил.

33. Устройство для обработки ферромагнитными порошками в магнитном поле: А.с.606716 СССР, М.Кл. В 24В 31/10 / Л.Г.Усаков. –№ 2429755/25-8; Заявлено 14.12.76.; Оpubл. 15.05.78., Бюл. №18. – 3с.ил.

34. Приспособление для магнитно-абразивной обработки: А.с.655515 СССР, М.Кл. В 24В 31/10 / Ю.С.Кочура, А.А.Мизери и др. –№2562111/25-8; Заявлено 30.12.77.; Оpubл.05.04.79., Бюл. №13. – 2с.ил.

35. Устройство для абразивной обработки деталей ферромагнитными порошками в магнитном поле: А.с. 657978 СССР, М.Кл. В 24b 31/10/ Л.Д.Ключников, Ф.Ю.Сакулевич. – № 1238565/25-8; Заявлено 02.05.75; Оpubл.02.02.77., Бюл. №26. – 2с.ил.

36. Yamaguchi Hitomi, Shiumura Takeo Nihon Kikaigakkaironbunshu. (Магнитно-абразивная обработка внутренних поверхностей труб.) // Jap. Soc. Mech. Eng. C. – 1995. – 61. - №591. - P.4470-4475.
37. Yamaguchi Hitomi, Shiumura Takeo, Kaneko Takehiro A new internal finishing process by applying magnetic abrasive finishing through the use of the pole rotation system. – Processing principle with a few finishing characteristic. // Int. J. Jap. Soc. Precis. Eng. - 1995. – 29. - №4. – P.309-310.
38. Yamamoto Tojohisa, Umehara Noritsugi, Kato Kojj, Ataka Matsuo, Watanaba Kazuo // Nihon Kikaigakkaironbunshu. (Магнитно-абразивная обработка внутренней полости шестигранных труб) // Jap. Soc. Mech. Eng. C. – 1992. – V.58. - №553. – P.2767-2772.
39. Барон Ю.М. Технология магнитно-абразивной обработки. – Л.: Машиностроение, 1975. – 128 с.
40. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с.
41. Устройство для объемной полировки: А.с.403537 СССР, М.Кл. В 24b 31/10 / Е.Г. Коновалов, Ф.Ю. Сакулевич Л.М. Кожуро и др. – №1666214/25-8; Заявлено 03.06.71.; Оpubл. 26.10.73., Бюл. №43. – 4с.ил.
42. Устройство для объемной полировки: А.с. 462707 СССР, М.Кл. В 24b 31/10 / Ф.Ю. Сакулевич, Л.М. Кожуро, Г.А. Семенюк и др. – №1948081/25-8; Заявлено 24.07.73.; Оpubл. 05.03.75., Бюл. №9. – 3с.ил.
43. Устройство для объемной полировки: А.с. 480535 СССР, М.Кл. В 24b 31/10 / Ф.Ю. Сакулевич, Л.М. Кожуро, А.А. Кособуцкий. – №1999104/25-8; Заявлено 25.02.74.; Оpubл. 15.08.75., Бюл. №30. – 2с.ил.
44. Технология за полиране на детайли от переждаеме стомама / Б.Македонски, Х.Атанасов, М.Манолов и др. // Технология на машиностроенето. – София: ЦМИ, 1978. – С.67-72.
45. Ипатов С.Д. Исследование возможности применения магнитно-абразивного процесса для финишной обработки деталей газотурбинных двигателей // Магнитно-абразивное полирование деталей: Труды науч.-техн. конф. – Мн.: БелНИИНТИ, 1976. – С.45-50.
46. Способ магнитно-абразивной обработки деталей сложной формы: А.с.607717 СССР, М.Кл. В 24В 31/10 / А.К. Елисеев. – №1951527/25-8; Заявлено 03.08.73.; Оpubл. 25.05.78., Бюл. № 19 - 2с.ил.

47. Устройство для магнитно-абразивной обработки деталей: А.с.461829 СССР, М.Кл. В 24б 31/10 / Д.Я.Гофринкель, Г.А.Амнуэль.–№1804372/25-8; Заявлено 03.07.72.; Опубл. 28.02.75., Бюл.№8. – 2с.
48. Dehoff F., Krull R., Mattke W. Aspekte zur Anwendung der magnetabrasiven Bearbeitnsmethode in der Fertungstechnik// 25 Int.Wiss.Kolloq.:27-30 Oct.,Heft 6. – Plemenau. – 1980. – P.141-144.
49. Dehoff F., Krull R., Mattke W. Magnetabrasiven Entgraten der Zahnstirnkanten von Zahnradern//Werkstatt undBetr. – 1984. – V.117. - №2. – P.77-79.
50. Koja Takazawa, Takeo Shinmura,Eiju Hatano Advanced Development of Magnetic-Abrasive Finishing and Its Application // Ikutoki Technical University SME Technical Paper, MR 85-325, 1985.
51. Олендер Л.А., Кособуцкий А.А., Мурков О.С. Магнитно-абразивное полирование шариков // Магнитно-абразивная обработка деталей машин. Тр. науч.-техн.конф. – Мн.:БелНИИНТИ. – 1979. – С.47-48.
52. Пат.2.8277.740 США. Polishing Treatment for Article Surfaces / L/E/Lee// Official Gazette of the US Patent Office. –1958/ - V/728. - №4. – P.723.
53. Устройство для чистовой обработки: А.с.282925 СССР, М.Кл. В 24б 31/10 /В.А.Блюмерг, Ю.М.Барон, Э.И.Кремель. –№1223618/25-8; Заявлено 04.03.68.; Опубл. 28.09.70., Бюл. №30. – 3с.ил.
54. "Магнитно-абразивная обработка материалов // В.В.Джемелинский, В.С.Майборода, О.В.Степанов и др./ Памятка по изучению курсов "Производство и эксплуатация режущего инструмента" и "Новое в технологии машиностроения". – Киев: КПИ, 1990.- 32 с.



Міністерство освіти і науки України
 Національний технічний університет України
 “Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського”

Магнітно-абразивне оброблення плоских поверхонь індукторами на постійних магнітах

Автор:
 студент гр. МІ-61м
Храпін С. І.

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

Метою дослідження є розробка торцевої головки на постійних магнітах для обробки площин та експериментальне дослідження впливу величини робочого зазору, частоти обертання та подачі на зміну шорсткості R_a та зміну величини опорної довжини профілю t_p

Для досягнення цілей було вирішено ряд **задач**:

<p>Проведено аналіз відомих видів постійних магнітів та їх властивостей і, як результат, <u>обрато</u> кращий з них.</p>	<p>Обрано магнітно-абразивний порошок, який максимально <u>продуктивно</u> обробляє поверхню.</p>	<p>Визначено вплив процесу MAO, в якому використовується МАП різних видів на якість поверхні.</p>
<p>Досліджено вплив величини робочого зазору, частоти обертання та подачі на зміну шорсткості R_a та зміну величини опорної довжини профілю t_p від відносної висоти <u>мікронерівностей</u> мікропрофілю.</p>	<p>Розроблено рекомендації о можливості застосування полірувальних головок торцевого типу на постійних магнітах при фінішному обробленні плоских деталей з феромагнітних матеріалів.</p>	

Механічні методи фінішного оброблення деталей

**Алмазне
шліфування**

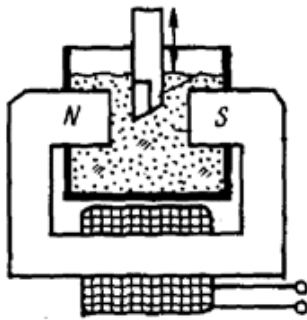
**Вібро-
абразивне**

**Струменево-
абразивне**

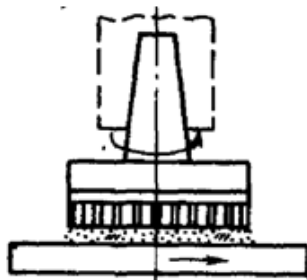
**Абразивними
щітками**

**У вільному
абразиві**

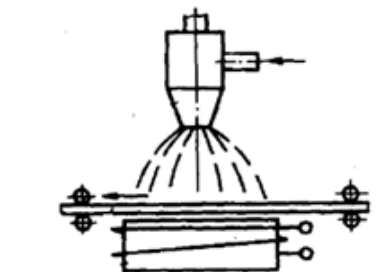
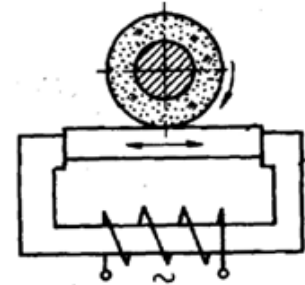
**Магнітно-
абразивне**



Магнітне поле формує із феромагнітної абразивної маси різальний інструмент з керованою жорсткістю



Магнітне поле формує із феромагнітної абразивної маси різальний інструмент з керованою жорсткістю, створює сили різання і повідомляє різальному інструменту рухи різання



Магнітне поле в зоні обробки інтенсифікує або покращує якісні характеристики існуючих абразивних способів обробки

Види та властивості постійних магнітів

Феритові

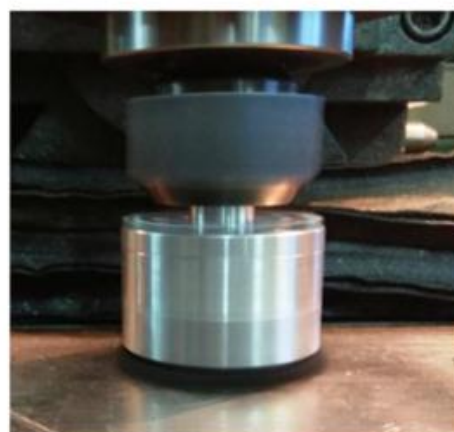
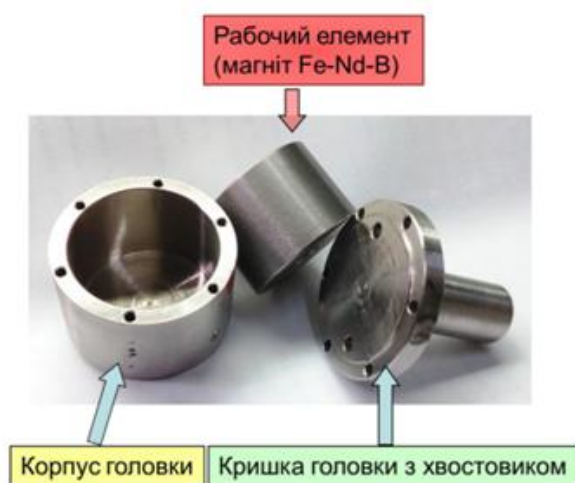
Альніко

Самарієві

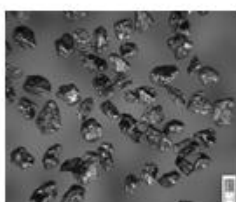
Магнітопласти

Неодимові

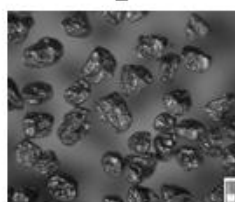
Конструкція торцевої головки для оброблення плоских поверхонь



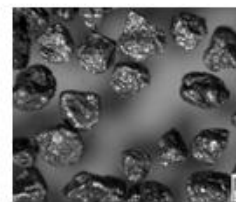
Магнітно-абразивні порошки



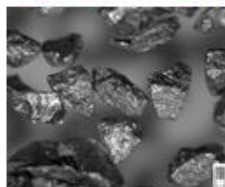
Феромап 200/100 мкм



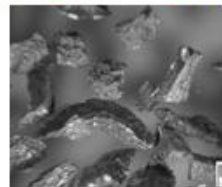
Феромап 315/200 мкм



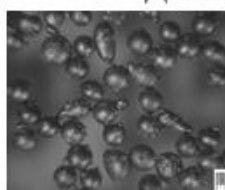
Феромап 400/315 мкм



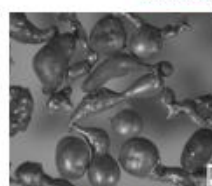
ДЧК 400/315 мкм (б/у)



ДЧК 400/315 мкм (новий)



ПР Р6М5 315/250 мкм



Полімам М_{сф} 400/315 мкм

Обладнання для МАО та для вимірювань шорсткості поверхні

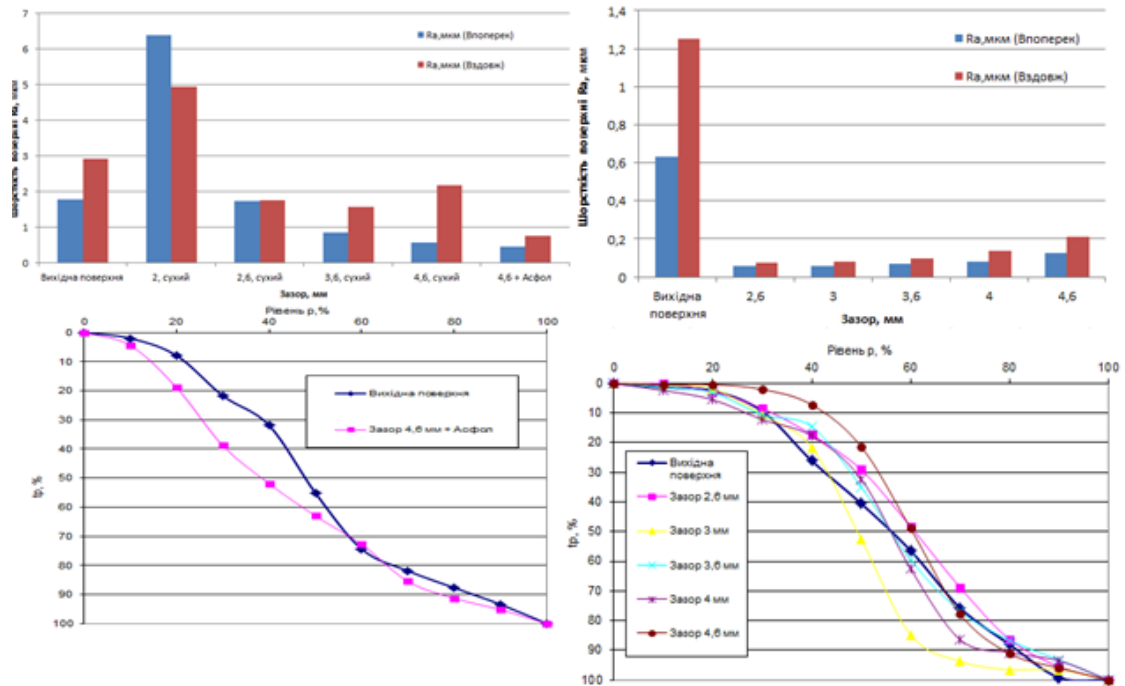


Профілограф-профілометр 252



**Широко-універсальний
інструментальний верстат
моделі 6Б75ВФ1**

Залежність величини шорсткості R_a від робочого зазору (Феромап 400/315 мкм)



Фотографії поверхонь після МАО



Вихідна поверхня



Зазор 2 мм



Зазор 2,6 мм



Зазор 3,6 мм

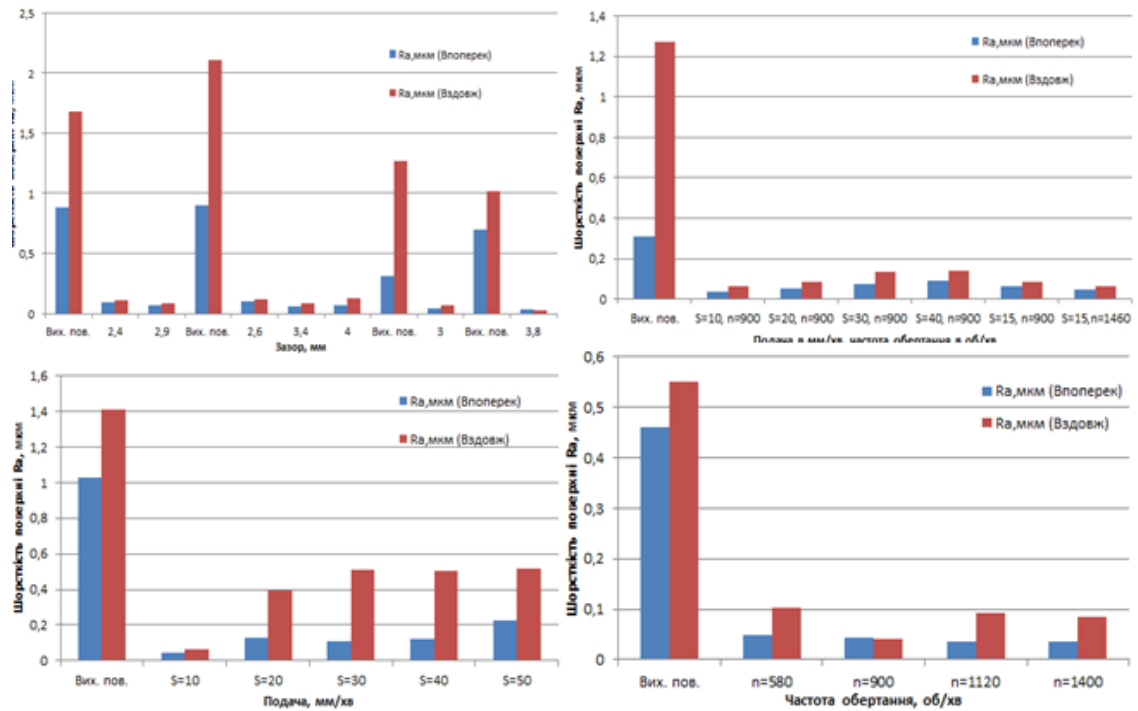


Зазор 4,6 мм



Зазор 4,6 + Асфол мм

Залежність величини шорсткості R_a від робочого зазору (Феромап 630/400 мкм)



Фотографії поверхонь після МАО



S=10 мм/хв
n=900 об/хв



S=20 мм/хв
n=900 об/хв



S=30 мм/хв
n=900 об/хв



S=40 мм/хв
n=900 об/хв



S=15 мм/хв
n=900 об/хв

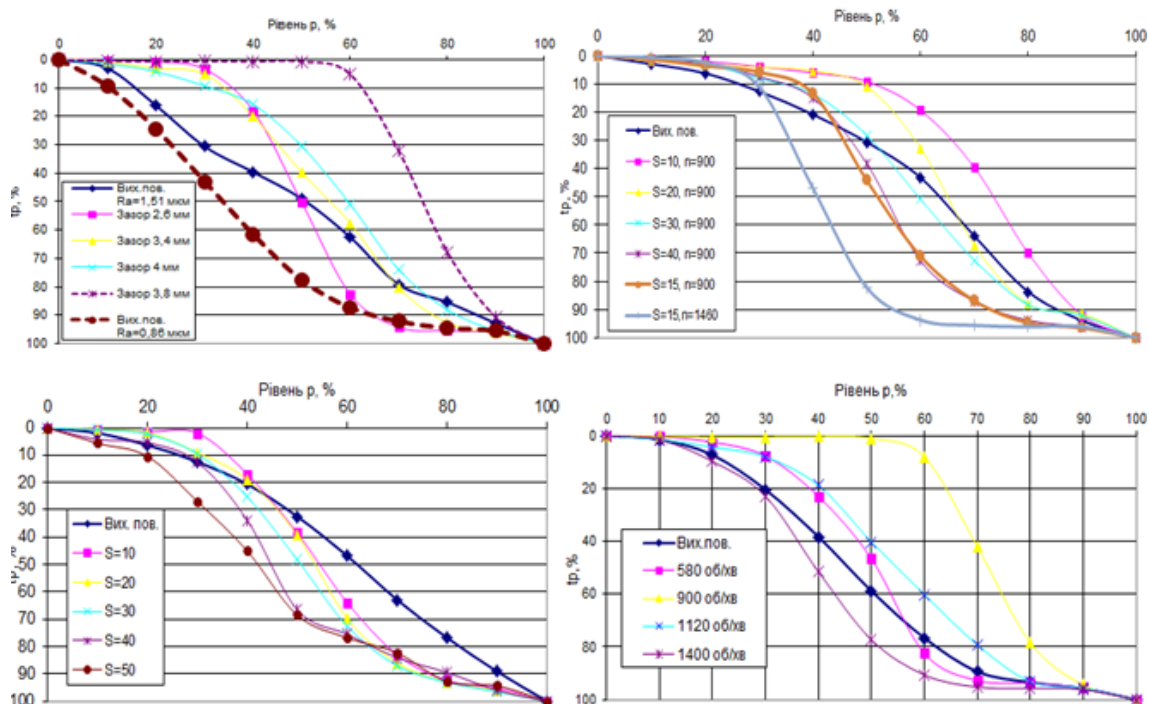


S=15 мм/хв
n=1460 об/хв (середина)

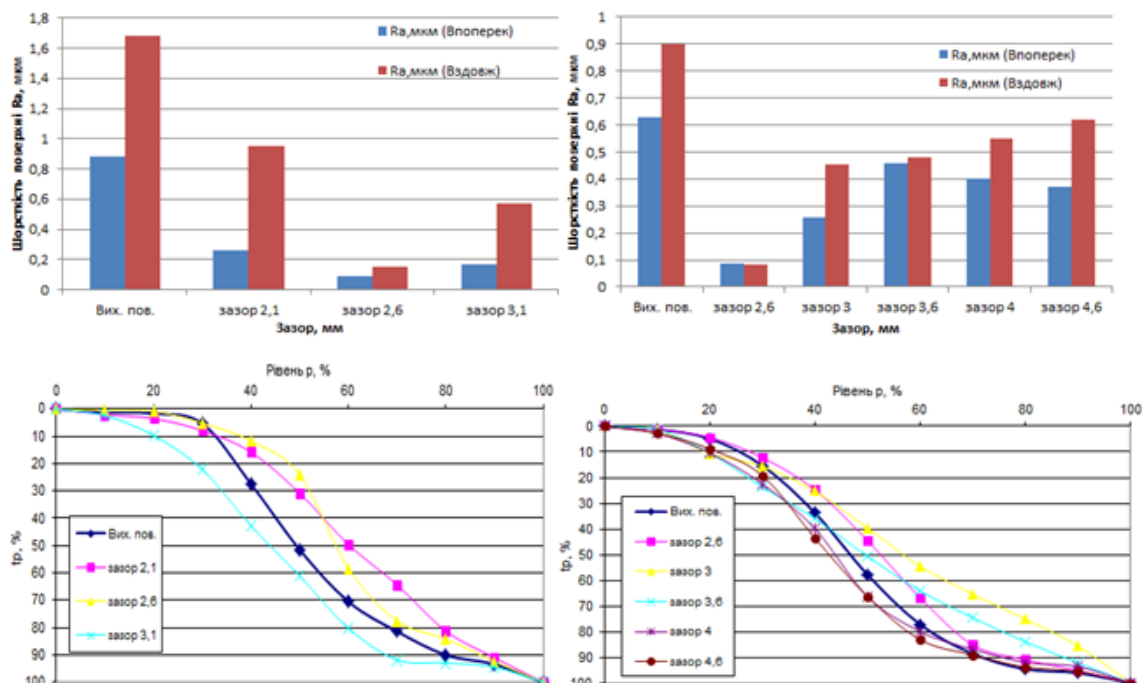


S=15 мм/хв
n=1460 об/хв (край)

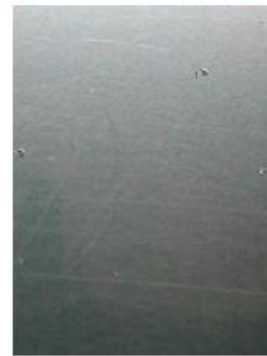
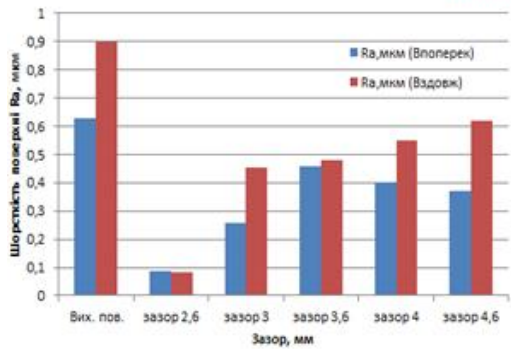
Зміна величини t_p при різних рівнях r (Феромап 630/400 мкм)



Залежність величини шорсткості Ra від робочого зазору (Феромап 315/200 мкм)



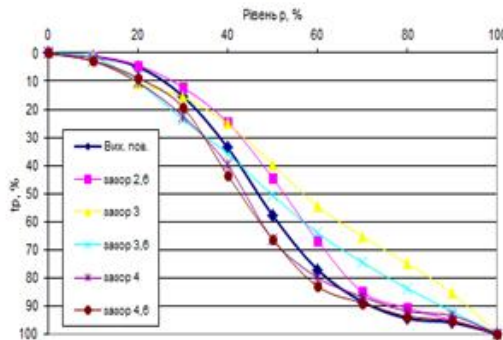
Залежність величини шорсткості R_a від робочого зазору (Феромап 299/100 мкм)



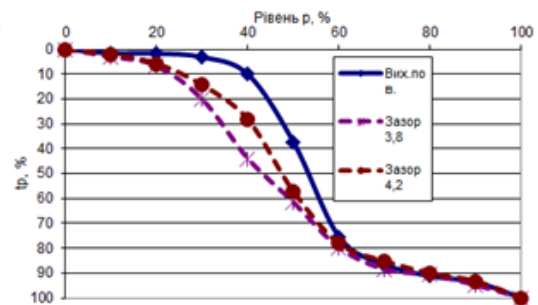
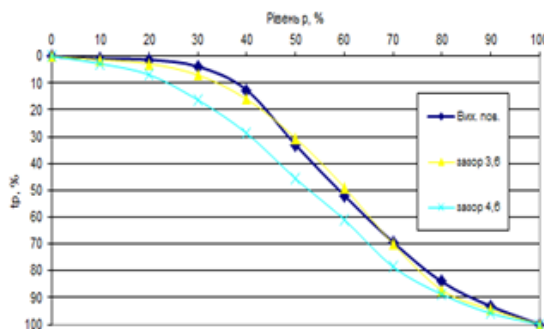
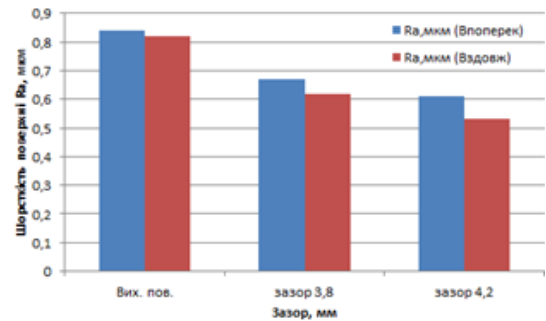
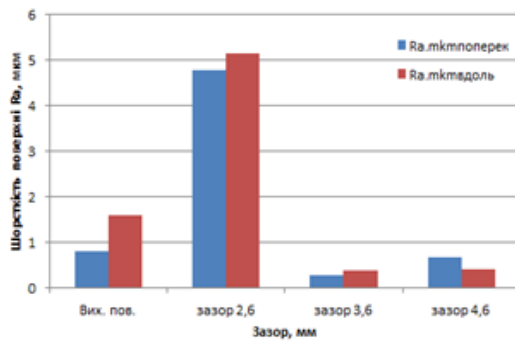
Зазор 2,6 мм



Зазор 3,6 мм



Залежність величини шорсткості R_a від робочого зазору (ДЧК 630/400 мкм)



Фотографії поверхонь після МАО

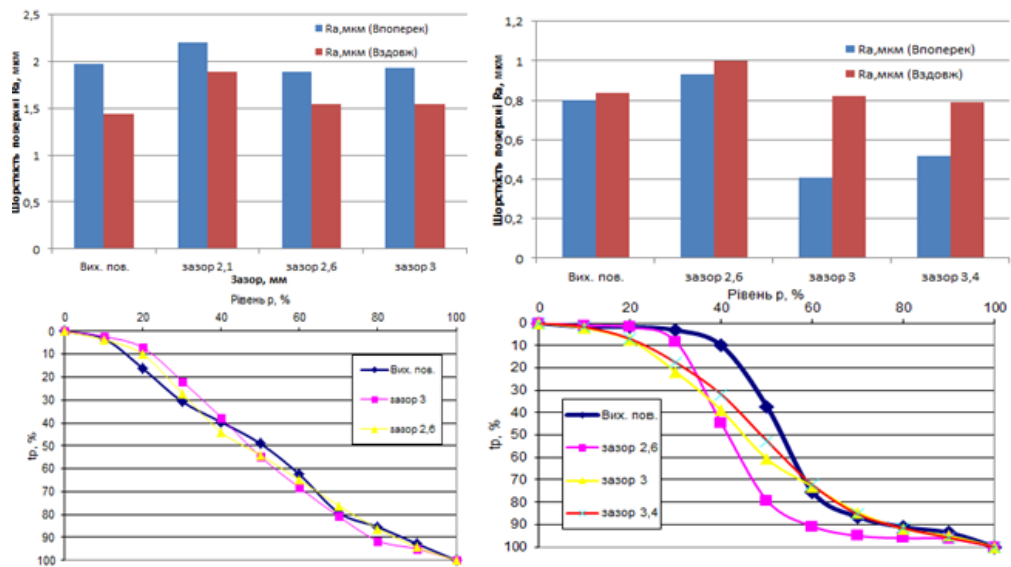


Зазор 2,6 мм



Зазор 3,6 мм

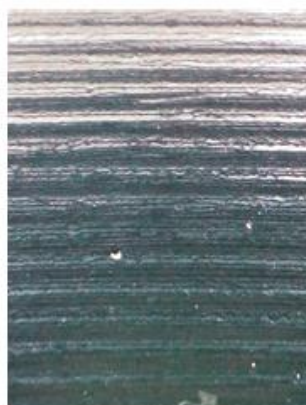
Залежність величини шорсткості R_a від робочого зазору (Полімам-М 400/315 мкм та ПР Р6М5 300/250)



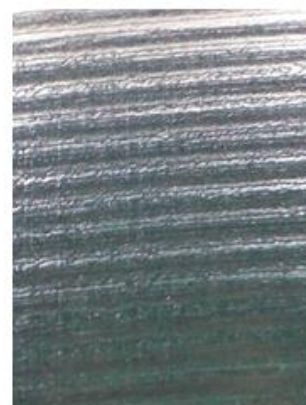
Фотографії поверхонь після МАО



Зазор 2,1 мм



Зазор 2,6 мм



Зазор 3 мм

Форма та розмір порошку	Оптимальний робочий зазор, мм	Шорсткість поверхні Ra, мкм
<u>Ферромап 400/315 мкм</u>	3-3,6	0,083-0,096
<u>Ферромап 630/400 мкм</u>	3-3,8	0,033-0,052
<u>Ферромап 315/200 мкм</u>	2,6	0,119
<u>Ферромап 200/100 мкм</u>	2,6	0,084
<u>ДЧК630/400 мкм</u> (новий)	3,6	0,32
<u>ДЧК630/400 мкм (б/у)</u>	4,2	0,53
<u>Полімам-М 400/315 мкм</u> (округлий)	2,6-3	1,54
<u>ПР Р6М5 300/250 мкм</u>	3-3,4	0,61-0,65

ВИСНОВКИ

1. Було проведено аналіз відомих видів постійних магнітів та їх властивостей і, як результат, обрано магніт з найбільшою силою намагнічування і стійкістю до розмагнічування зі сплаву неодим + залізо + бор ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$).
2. Було розроблено експериментальну модель торцевої головки для оброблення деталей площин.
3. Для різних видів порошків було експериментально обрано оптимальний робочий зазор, подачу та частоту обертання, при яких шорсткість поверхні мінімальна. Було показано різницю між використанням сухого порошку та з ЗОМСТ.
4. Для більш розширеного аналізу стану мікрогеометрії поверхні обробки виконували аналіз, контролювали та визначали залежності зміни величини опорної довжини профілю від відносної висоти мікронерівностей мікропрофілю $t_p=f(p)$.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ