

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

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

«На правах рукопису»
УДК 621.923

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-науковою програмою «Інструментальні системи
інженерного дизайну»**

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: «Магнітно-абразивне оброблення медичних імплантатів»

Виконав:

студент VI курсу, групи МІ-91мн
Коцун Юрій Володимирович _____

Науковий керівник:

професор кафедри КМ, доктор технічних наук
Майборода Віктор Станіславович _____

Рецензент:

доцент кафедри ТМ, кандидат технічних наук
Кореньков Володимир Миколайович _____

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

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-наукова програма «Інструментальні системи інженерного дизайну»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Коцун Юрію Володимировичу

1. Тема дисертації «Магнітно-абразивне оброблення медичних імплантатів», науковий керівник дисертації Майборода Віктор Станіславович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: магнітно-абразивне оброблення сферичних заготовок з кобальт-хромового сплаву при схемі оброблення в кільцевій ванні

4. Предмет дослідження: параметри поверхневого шару сферичних заготовок отримані після полірування магнітно-абразивним методом

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Провести літературний огляд та проаналізувати наявні методи обробки поверхонь складної форми медичних сплавів. Визначити вплив якості та типу фінішного оброблення на кінцеві властивості готового виробу. Оцінити ступінь можливої автоматизації розглянутих методів та їх адаптивність до конкретних випадків.

2. Спроекувати сферичну заготовку з хвостовиком та виготовити п'ять заготовок точінням за технічним кресленням з дотриманням всіх розмірів та вимог точності. Виміряти отримані точінням параметри поверхневого шару заготовок включно з їх масою.

3. Провести оцінку результатів обробки шляхом технічного вимірювання досліджуваних параметрів поверхневого шару. Зіставити отримані результати вимірювання з даними для еталонного компоненту протезу.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація згідно роботи, п'ять досліджуваних сферичних зразків.

7. Орієнтовний перелік публікацій: тези доповіді на науковій конференції

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Літературний огляд та аналіз наявних методів фінішного оброблення	01.04.2020	
2	Проектування та підготовка об'єкту дослідження шляхом токарної обробки	01.07.2020	
3	Вимірювання отриманих параметрів поверхневого шару та ваги після точіння	01.09.2020	
4	Магнітно-абразивне полірування поверхонь деталей	01.10.2020	
5	Вимірювання отриманих даних та формування порівняльних діаграм	01.12.2020	
6	Маркетинговий аналіз	01.02.2021	
7	Створення презентації та оформлення звіту	01.04.2021	

Студент

(підпис)

Юрій КОЦУН

Науковий керівник

(підпис)

Віктор МАЙБОРОДА

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація за темою «Магнітно-абразивне оброблення медичних імплантатів» включає 68 сторінок пояснювальної записки, рисунків – 24, таблиць – 22, використаних джерел – 31, ілюстрації, що включають слайдів презентації графічної частини та п'ять досліджуваних зразків головки протезу.

Актуальність теми. Сьогодні в біомедичній інженерії все більшого розвитку набувають різні види нових матеріалів, а разом з ними і методи обробки. При їх імплантації в тіло людини гостро постає питання біосумісності. В той час як полімери, за рахунок їх властивостей, розглядаються з точки зору продуктів зносу, металеві компоненти можуть піддаватися негативному впливу оточуючого середовища, що в свою чергу призводитиме до корозії. Головним чинником для її запобігання є хімічний склад металевого сплаву, з якого вони виготовляються. Так при додаванні легуючих елементів знижується ризик електролітичного руйнування матеріалу. Не менш важливим фактором є якість поверхні, яка безпосередньо контактує з організмом людини, або піддається впливу тертям.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Магістерську дисертацію виконано на кафедрі конструювання машин Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського» у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

Мета дослідження: апробація можливості впровадження магнітно-абразивного методу фінішної обробки в технологічний процес виготовлення сферичного компоненту кульшового суглобу.

Задачі дослідження:

1. Провести літературний огляд та проаналізувати наявні методи обробки поверхонь складної форми медичних сплавів. Визначити вплив якості та типу фінішного оброблення на кінцеві властивості готового виробу.

Оцінити ступінь можливої автоматизації розглянутих методів та їх адаптивність до конкретних випадків.

2. Спроектувати сферичну заготовку з хвостовиком та виготовити п'ять заготовок точінням за технічним кресленням з дотриманням всіх розмірів та вимог точності. Виміряти отримані точінням параметри поверхневого шару заготовок включно з їх масою.

3. Провести оцінку результатів обробки шляхом технічного вимірювання досліджуваних параметрів поверхневого шару. Зіставити отримані результати вимірювання з даними для еталонного компоненту протезу.

4. Провести аналіз потенційного ринку та клієнтів. Оцінити можливі причини виникнення затримок та проблем в ході виконання проекту. Здійснити порівняльний аналіз методу з конкуруючими методами, окреслити переваги та недоліки кожного.

Об'єкт дослідження: процес магнітно-абразивного оброблення діамагнітних деталей складної форми при застосуванні схеми обробки в кільцевій ванні.

Предмет дослідження: зміна властивостей поверхневого та при поверхневого шару до та після обробки заготовок.

Методи дослідження. Виконані дослідження полягають в аналізі шорсткості поверхні заготовки за допомогою конфокальної мікроскопії, оцінці значень внутрішніх напружень з використанням рентгенівського дифрактометра та визначенні зміни маси до та після обробки шляхом зважування на високоточних вагах.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше було досліджено можливість впровадження магнітно-абразивного оброблення в технологічний процес виготовлення медичних імплантатів.

2. Визначено параметри обробки для сферичної заготовки кобальт-хромового сплаву.

Практичне значення отриманих результатів: параметри оброблення можуть стати поштовхом при подальших дослідженнях даного методу, а отримані експериментальні дані можуть бути використані при формуванні технологічного процесу на сучасних підприємствах-виробниках компонентів медичних імплантатів, що сприятиме розвитку в даній галузі.

Особистий внесок здобувача полягає в: проектуванні конструкції заготовки та підготовка її шляхом точіння на верстаті з ЧПК, вимірювання та аналіз досліджуваних параметрів матеріалу заготовки.

АННОТАЦІЯ

Коцун Ю. В. Магнітно-абразивне оброблення медичних імплантатів

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 131 – Прикладна механіка (Інструментальні системи інженерного дизайну). Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2021.

В ході роботи проведено літературний аналіз наявних технологій фінішного оброблення, які можуть бути застосовані в технологічному процесі виготовлення компонентів медичних імплантатів, було розглянуто всі їх переваги та недоліки.

Відповідно до завдання було спроектовано сферичну заготовку з хвостовиком та виготовлено методом точіння з кобальт-хромового сплаву в кількості п'ять штук. Після вимірювань початкових параметрів поверхні заготовки були оброблені магнітно-абразивним методом на верстаті з кільцевою ванною кафедри Конструювання машин НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Після полірування проводилися фінальні вимірювання параметрів шорсткості, внутрішніх напружень та маси.

Отримані дані було проаналізовано та зіставлено з еталонною кулькою у вигляді відповідних діаграм. За отриманими результатами зроблено висновки та обґрунтовано рекомендації щодо їх покращення в майбутніх дослідженнях методу.

Ключові слова: магнітно-абразивне оброблення, біоінженерія, головка протезу кульшового суглобу

ANNOTATION

Kotsun Y. Magneto-abrasive machining of medical implants.

The dissertation for obtaining a master's degree in specialty 131 – Applied Mechanics (Engineering design). National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. – Kyiv, 2021

In the course of the work, a literature analysis of the available finishing technologies that can be used in the technological process of manufacturing components of medical implants was carried out, and all their advantages and disadvantages were considered.

In accordance with the task, a spherical billet with a shank was designed and made by turning from a cobalt-chromium alloy in the amount of five pieces. After measuring the initial parameters, the surfaces of the workpieces were processed by magneto-abrasive method on a machine with an annular bath of the Department of machine design of NTUU "I. Sikorsky KPI". After polishing, final measurements of roughness, internal stresses, and mass parameters were made.

The data obtained were analyzed and compared with the reference ball in the form of corresponding diagrams. Based on the results obtained, conclusions are drawn and recommendations for their improvement in future studies of the method are justified.

Keywords: magneto-abrasive machining, bioengineering, hip prosthesis head

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	6
1.1 Інноваційні методи охолодження інструменту.....	6
1.2 Ультразвукове точіння кобальт-хромових заготовок	7
1.3 Сучасні методи шліфування	9
1.4 Порівняння традиційних методів полірування.....	15
1.5 Шліфувальна головка для обробки складних форм.....	19
1.6 Магнітно-абразивне оброблення з ЧПК	22
1.7 Поєднання декількох типів обробки поверхні.....	27
1.8 Коротке викладення процесу МАП.....	29
1.9 Резюме	30
2 ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ	32
2.1 Стан питання	32
2.2 Матеріал заготовки	34
2.3 Підготовка заготовки.....	36
2.4 Магнітно-абразивне полірування в кільцевій ванні.....	40
3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ	43
3.1 Вимірювання шорсткості	43
3.2 Зміна маси деталі	52
3.3 Вимірювання внутрішніх напружень	53
4 РОЗРОБКА START-UP ПРОЕКТУ	56
5 ВИСНОВКИ ЗА РОБОТОЮ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

Людський організм це унікальна система із залежними один від одного структурами та підструктурами, що при нормальній та безперечній роботі функціонують повністю автономно та тривало. Цей складний механізм з його первозданими, створеними природою частинами повністю життєспроможний. Та часом трапляються збої в його роботі, що виражаються порушенням нормальної роботи тих чи інших органів та систем. В такому випадку приходить на порятунок медицина та, зокрема, ортопедія.

Багаторічні клінічні дослідження показують, що замінні деталі як правило є чужорідними для людського тіла та важко сприймаються ним. Будь-які прояви реакції на такі деталі ставлять під питання їх біосумісність. Саме тому більшість сучасних досліджень в цій галузі спрямовані на вивчення та мінімізацію таких проявів. Таким чином науковці з усього світу займаються створенням нових матеріалів, таких як метали, кераміка, полімери та спеціальні сплави. В цьому контексті проблеми біосумісності та відторгнення людським організмом є частково вирішеними. При цьому питання вибору оптимального методу механічної обробки поверхонь, котрі безпосередньо контактують з тканинами живого організму, залишається відкритим. Пари тертя, що відіграють важливу роль в машинах та механізмах для передачі різних видів руху, знайшли своє застосування також і в біомеханіці, як основа для передачі руху кінцівок в суглобах. Тому для поверхонь таких деталей ставляться високі вимоги до поверхневого та при поверхневого шару.

Якщо мова йде про складність форми оброблюваної поверхні, яку коли-небудь доводилося обробляти у виробництві, то людські суглоби, ймовірно, є однією з найскладніших форм, тому що вони були створені природою без таких звичних нам «правильних» форм. У той час як тазостегновий суглоб може бути спрощений до кулі з хвостовиком, колінний суглоб поєднує в собі кілька складних поверхонь, які не схожі ні на одну з відомих геометричних фігур. Для їх створення потрібне відповідне обладнання, наприклад, точ-

ні багатоосьові обробні центри з комп'ютерним управлінням, спеціальні інструменти, здатні адаптуватися до потрібної форми, шліфувальні верстати для гладкого шліфування з вільними абразивними частинками, полірувальне обладнання і т.д. Сучасні медичні сплави, такі як титан-алюміній-ванадій або кобальт-хром-молібден, вимагають застосування спеціальних і ефективних виробничих рішень. Сьогодні все більше і більше нових методів застосовуються для поліпшення і оптимізації звичайної обробки різанням, таких як фрезерування або токарна обробка. При цьому вдаються до використання спеціального середовища створеного в зоні різання, використання високошвидкісного різання (ВШР), а також накладання на різальний інструмент або заготовку додаткових коливальних рухів. Досягнення філігранної конструкція деяких медичних виробів в більшості випадків можливе тільки за допомогою прецизійних інструментів малих розмірів. Вони зазвичай мають розмір менше 0,5 мм в діаметрі і стабілізуються в п'ять - десять разів більш високою швидкістю різання та обертання шпинделя, в порівнянні з класичним фрезеруванням. Фрезерування ВШР також сприяє збільшенню стійкості інструменту.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Інноваційні методи охолодження інструменту

Обробка легованих сплавів, що завдяки їх унікальним властивостям є широко поширеними в ортопедії ускладнюється суттєвим зниженням стійкості інструменту, продуктивності процесу різання та погіршенням якості оброблюваної поверхні. З урахуванням вищеописаної проблематики було розроблено метод криогенного різання, що передбачає використання рідкого азоту при температурі -197°C в якості охолоджувальної рідини. Такий спосіб дозволяє покращити відведення тепла та зменшити протікання хімічної реакції між інструментом та матеріалом заготовки.

Шокрані та ін. дослідили вплив оброблювального середовища на при фрезеруванні матеріалу CopraBond K (466 HV) фрезою діаметром 12 мм при швидкості різання 200 м/хв. та подачі 636,6 мм/хв. В ході дослідження було зафіксовано значне поліпшення параметру шорсткості Ra при креогенному фрезеруванні на відміну від фрезерування з малою кількістю змащувально-охолоджувальної рідини та сухим фрезеруванням на 35% та 42% відповідно (Рис.1.1).

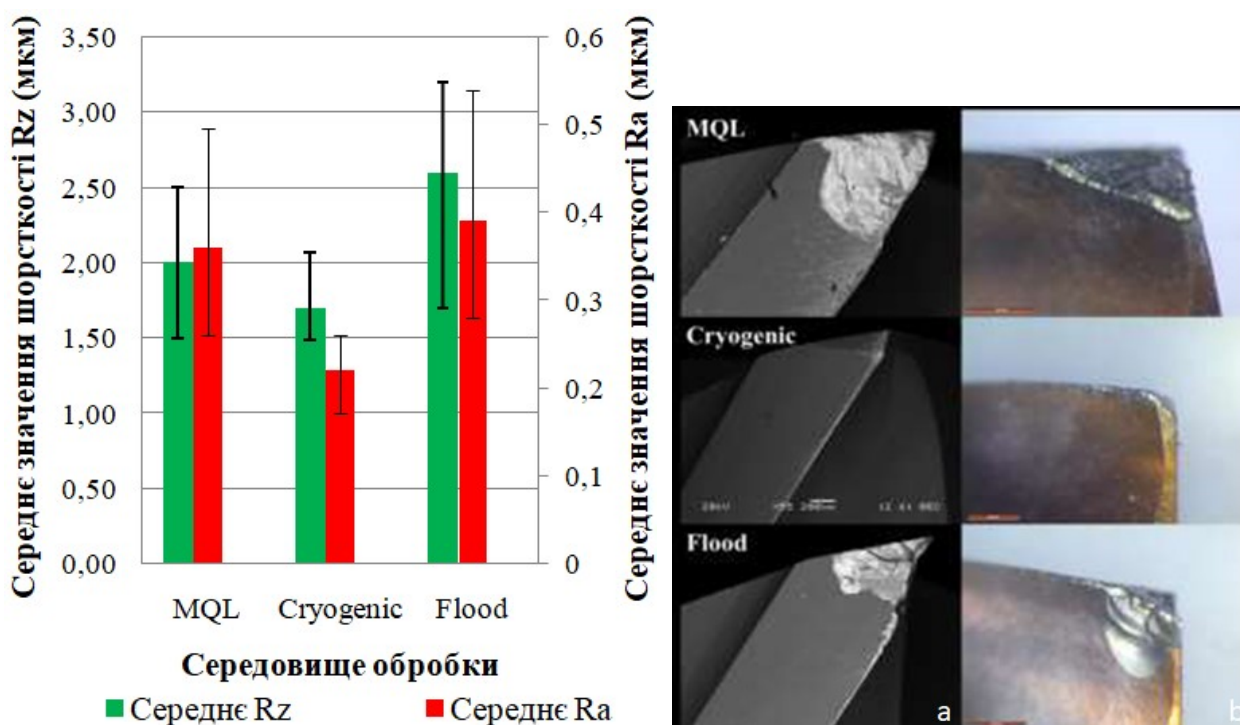


Рис. 1.1 – Діаграма середнього значення шорсткості в залежності від середовища обробки (криогенне (Cryogenic), фрезерування з малою кількістю змащувально-охолоджувальної рідини (MQL) та сухим (Flood) фрезеруванням) та зображення різальних кромek інструменту відповідно до середовища обробки

Значне зниження зносу різальної кромки та ефективний контроль ступеню зносу на передній поверхні інструменту є невід’ємними результатами дослідження [2].

1.2 Ультразвукове точіння кобальт-хромових заготовок

По справжньому гладка дзеркальна поверхня досягається, як правило, великою кількістю переходів між операціями такими як різання (фрезерування, точіння, стругання), шліфування (притирання, полірування), електрохімічна обробка, способи термічного видалення матеріалу (наприклад за допомогою лазера, іонного променю) тощо. Багатоступінчатий процес виготовлення є ресурсозатратним та призводить до здорожчання кінцевого виробу. Дана проблема може бути вирішена економічно та якісно за допомогою ультразвукового точіння. Даний метод вже встиг себе добре зарекомендувати та в порівнянні з традиційним точінням демонструє більшу продуктивність, точність обробки, кращі умови для подрібнення стружки та ін. Крім того такий метод ідеально підходить для точної обробки різанням крихких матеріалів, таких як скло, спечений карбід вольфраму, при цьому схильність матеріалу до крихкого руйнування нівелюється. Y. Song та ін. своєму досліді використовували різець з монокристалом алмазу для еліптичного вібраційного різання заготовки з кобальт-хрому. Інструмент в дослідженні характеризувався радіусом вершини 1 мм, переднім та заднім кутами загострення 10 та 15 градусів відповідно. Описана траєкторія коливальних рухів з частотою 15,48 кГц вершиною інструменту представляла собою коло з радіусом 1 мкм. Інші параметри обробки складали: швидкість різання 190 мм/хв, глибина різання 10

мкм та подача 20 мкм/об. Завдяки зменшенню сили різання знизилась інтенсивність холодного зміцнення, що призвело до підвищення щільності дислокацій на нанорівні. Зношення інструменту, особливо мікрозношення на ріжучих кромках знизилось за рахунок зменшеному температурному впливу на алмазний інструмент, що в свою чергу сприяло підвищенню якості поверхні деталі (Рис. 1.2). Чистота поверхні з відбиваючими властивостями оцінена найбільшою висотою нерівностей профілю $R_{\max}$ і складає 25 нм та зберігається для довжини обробки до 14 м. Рисунок 1.3 демонструє можливість практичного застосування еліптичного вібраційного точіння для дзеркальної обробки головки протеза кульшового суглобу [4].

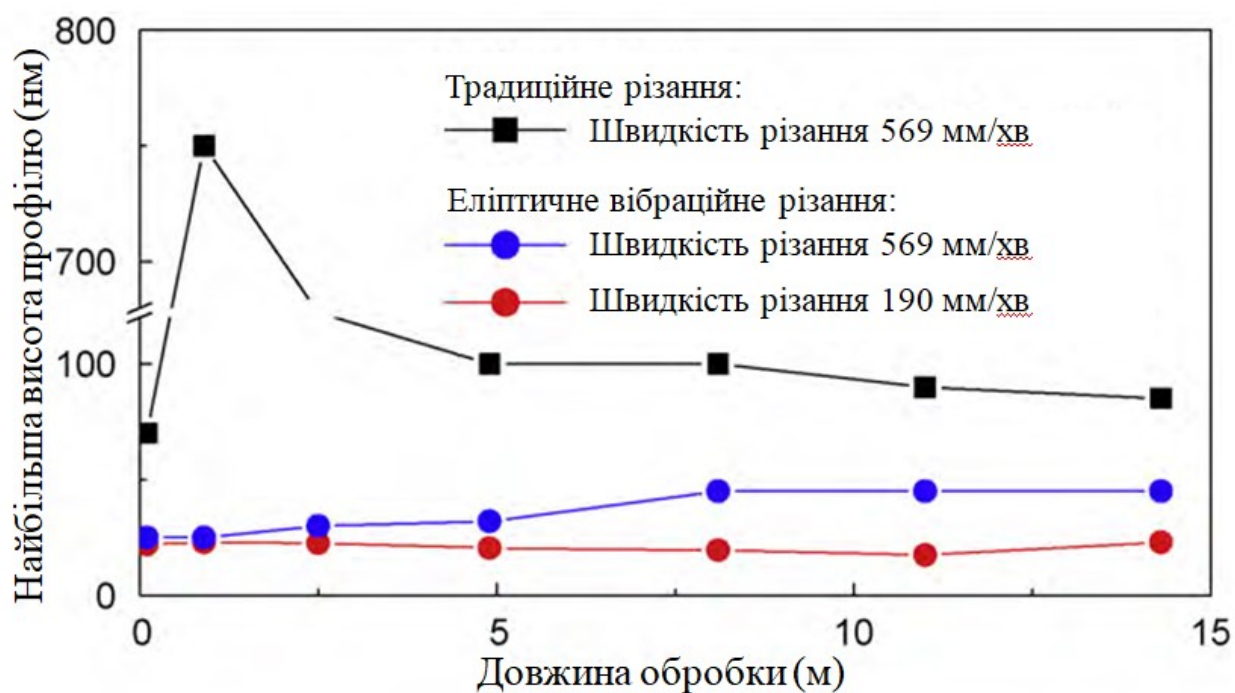


Рис. 1.2 – Шорсткість поверхні в залежності від довжини обробки з різними умовами обробки

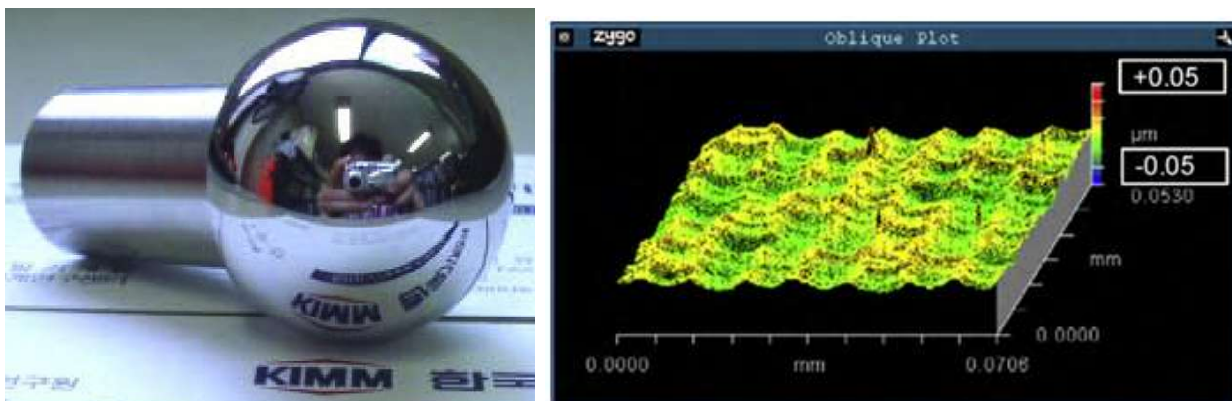


Рис. 1.3 – Точена куля із застосуванням ультразвукових еліптичних вібрацій

1.3 Сучасні методи шліфування

Незважаючи на великий науковий прорив в обробці матеріалів різанням, цей метод сам по собі ще не здатний задовольнити всі вимоги до властивостей імплантатів. Тому що для компонентів, що вимагають інтеграції в людське тіло, дуже важливою є загальна відсутність будь-яких задилок та гострих країв, а їх трибологічні властивості є основою функціональності і довговічності. При виборі процесу шліфування, вартість інструменту у вартості кожної заготовки знижується до мінімуму. Правка шліфувальних кругів забезпечує високу повторюваність при одночасному поліпшенні топографії поверхні. Продуктивність може бути збільшена за рахунок застосування пакета з подвійним шліфувальним кругом. У серійному виробництві формування геометрії шліфувального круга відбувається одночасно з процесом шліфування, що дозволяє забезпечити високу точність форми оброблюваної деталі [1]. Шліфувана поверхня більш стійка до зносу, ніж, наприклад, фрезерована і більш стійка до циклічних навантажень, особливо властивим парам ковзання, таким як суглоби людини. Шліфування абразивами в твердій зв'язці дозволяє створити бажані довільні поверхні вільної з мінімальними відхиленнями форми. Таким чином сьогодні прецизійне шліфування кругами з надзвичайно дрібними абразивними частинками, набуває все більшого розповсюдження.

Звичайна конструкція шліфувального круга не підходить для точного шліфування твердих матеріалів через більшу швидкість зношення, що виражається у зменшенні діаметра круга. Для субмікронних абразивів була розроблена інша зв'язувальна матриця - металева та металполімерна зв'язка. Деякі методи шліфування також сприяють утворенню захисного оксидного шару на поверхні матеріалу протеза, який відокремлює його від агресивного середовища людського тіла і запобігає елюції іонів. Серед таких методів вирізняється електролітичне шліфування (ЕЛШ) з одночасною правкою інструменту, яке включає також попереднє видалення товстого оксидного шару. Технологія ЕЛШ розширює можливості обробки надзвичайно твердих і крихких матеріалів тонкими шліфувальними дисками шляхом правки шліфувальних кругів під час процесу шліфування. Шліфувальна система ЕЛШ в основному складається з електролізного ланцюга, що містить провідний металевий шліфувальний круг, електрод, імпульсне джерело постійного струму та електроліт, як показано на рис. 1.4. Позитивний полюс джерела живлення з'єднаний з шліфувальним кругом, а негативний полюс з'єднаний з електродом.

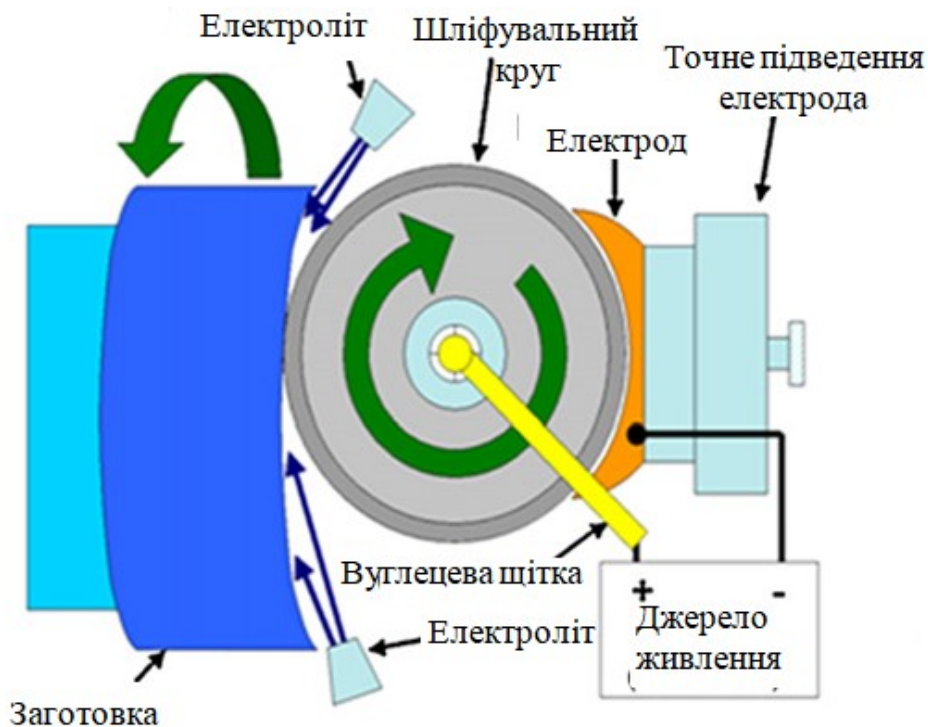


Рис. 1.4 – Установа для електролітичного шліфування

Невеликий зазор 0,1-0,3 мм утримується між диском і електродом для забезпечення проходу електроліту. Електроліз стимулюється при включенні живлення. В результаті електролізу іони металів виступають з поверхні диска, утворюючи шар оксиду металу. Постійний електроліз призводить до осадження оксидного шару на активній поверхні диска, що знижує його провідність і запобігає подальшому окисленню. [5]

У своїй роботі Kotani та його колеги розглянули питання впливу електролітичного струму силою 1 А і 10 А на якість обробленої поверхні. Порівняльна заготовка була пошліфована наждачним папером зі зменшенням зернистості при кожному переході від 320 до 1200, а потім відполірована колоїдним діоксидом кремнію. Швидкість обертання шліфувального круга становила 2000 об/хв, заготовки 860 об/хв. На рисунку 1.5 (зліва) показані значення шорсткості, отримані на всіх етапах. Варто відмітити, що обидва зразки показують більш низьке значення шорсткості після шліфування ЕЛШ, ніж полірований (Р) зразок. Зокрема, серія заготовок оброблених з силою струму 1А показала значення R_a менше 5 нм, що відповідає якості поверхні протезів тазостегнового суглоба при виготовленні. Електролітичне шліфування також сприяє збільшенню твердості при поверхневого шару. Вимірювання нанотвердості відбувалося на відстані близько 100 нм від краю заготовки з силою втиснення 2 мН за допомогою алмазної піраміди Віккерса. На стовпчастій діаграмі рисунок 1.5 (праворуч) продемонстровано більш високі значення твердості для серій 1 А та 10 А в порівнянні з серією полірованих заготовок. Це може бути викликано холодним зміцненням при обробці, утворенням товстого оксидного шару і дифузіїю вуглецю в результаті хімічної реакції між поверхнею заготовки і шліфувальним кругом.

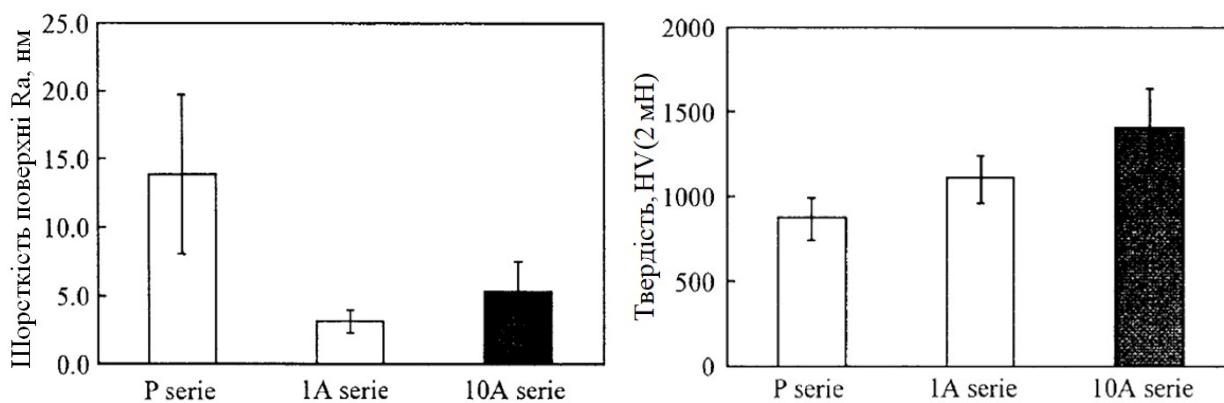


Рис. 1.5 – Результати вимірювання шорсткості (ліворуч) та твердості (праворуч)

Рентгенівський фотоелектронний спектроскопічний аналіз був застосований для перевірки останньої гіпотези. Виявилося, що шліфування при більш високому струмі призводить до формування більш товстих оксидних плівок Cr_2O_3 за рахунок більш інтенсивного електролізу, що пояснює найбільшу твердість зразка, шліфованого при 10 А. Дифузія вуглецю з алмазних шліфувальних зерен не була підтверджена в цьому дослідженні [6].

В якості альтернативи існуючим методам електрохімічного полірування виступають все нові і нові методи, в тому числі, наприклад, плазмове електролітичне полірування (ПЕП). ПЕП має кілька основних переваг в порівнянні з механічним та електрохімічним поліруванням: висока екологічна безпека за рахунок використання електролітів на основі водних розчинів солей з концентрацією 3-5%; можливість обробки деталей будь-якої конфігурації; дзеркальна поверхня з мікроскорсткістю Ra до 0,01 мкм; усунення некондиційного поверхневого шару і залишкових напружень, що поліпшує фізико-механічні та хімічні властивості поверхні. Відносно низька тривалість процесу полірування, значне скорочення ручної праці, а також можливість обробки високоміцних і пластичних матеріалів також не можуть бути залишені без уваги. Продуктивність і економічність технологічних операцій ПЕП-процесу в 5-6 разів вище, ніж при звичайній електрохімічній поліровці в кислих розчинах. Алексєєв та інші у своїй дослідницькій роботі вивчили умови обробки

кобальт-хромового сплаву за технологією ПЕП. Зразки розміром приблизно 25*8*5 мм були попередньо відшліфовані наждачним папером P1200. В результаті отримана шорсткість поверхні становила $Ra=0,12$ мкм. Обробка ПЕП проводилася при різних значеннях напруги та температури електроліту (70 °C, 80 °C і 90 °C). Напруга в ході процесу контролювалася трифазним регулювальним трансформатором та приймала поетапно такі значення: 240 В, 270 В і 300 В. В якості електроліту використовувався водний розчин сульфату амонію $(NH_4)_2SO_4$ з концентрацією 4%. Основними параметрами, що впливають на щільність струму в процесі ПЕП, є температура електроліту і робоча напруга. Вони визначають товщину парогазової оболонки, що утворюється навколо зразка, а, отже, потужність процесу. На Рисунку 1.6 зіставлені різні значення температури електроліту і відповідна щільність струму при зміні напруги.

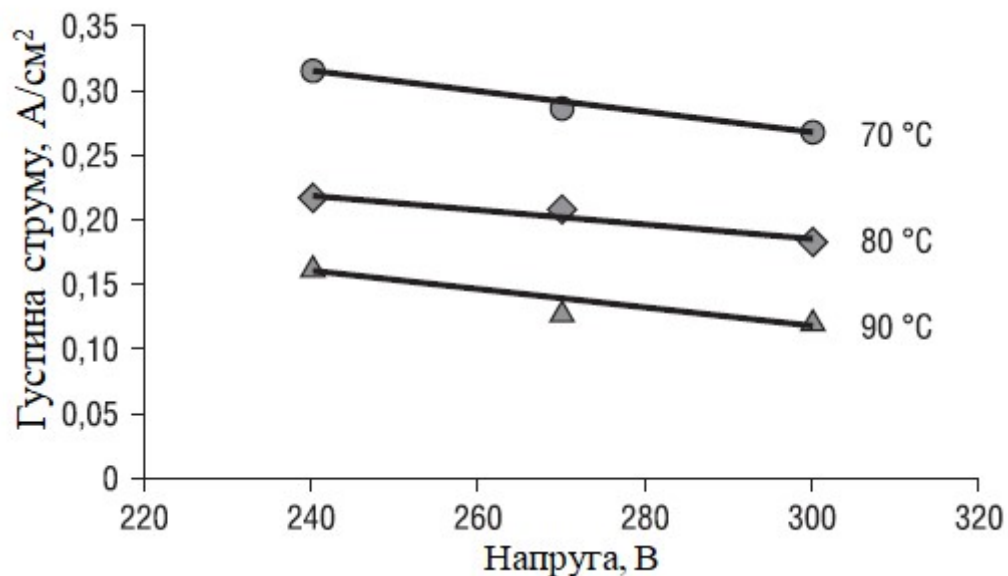


Рис.1.6 – Вплив напруги на зміну густини струму

Найбільша густина струму 0,27 - 0,32 А/см², відповідно максимальна продуктивність процесу, досягається при температурі електроліту 70 °C. З підвищенням температури електроліту до 90 °C щільність струму зменшується до значень 0,12 - 0,17 А/см², що пов'язано зі значним збільшенням па-

рогазової оболонки, що відокремлює оброблену поверхню від електроліту. В результаті обробки на всіх досліджуваних режимах на поверхні зразка спостерігається рельєфне покриття виступами. Їх походження можна пояснити структурною гетерогенністю, отриманою при литті. Отже, такі виступи негативно впливають на шорсткість поверхні. Результати показують, що при більшій щільності струму можна виявити виражені нерівності. Так, при її збільшенні вище $0,22 \text{ А/см}^2$, а також зниженні робочої напруги, менше 300 В, рельєфні виступи на обробленій поверхні утворюються більш інтенсивно в порівнянні з іншими режимами. Найкраща якість поверхні досягається при напрузі 300 В і щільності струму не більше $0,22 \text{ А/см}^2$. Лінійна діаграма на рисунку 1.7 демонструє зміну шорсткості при різних значеннях щільності струму. Параметр R_a безперервно зростає від 0,061 мкм при щільності струму $0,12 \text{ А/см}^2$ до 0,184 мкм при щільності струму $0,32 \text{ А/см}^2$.

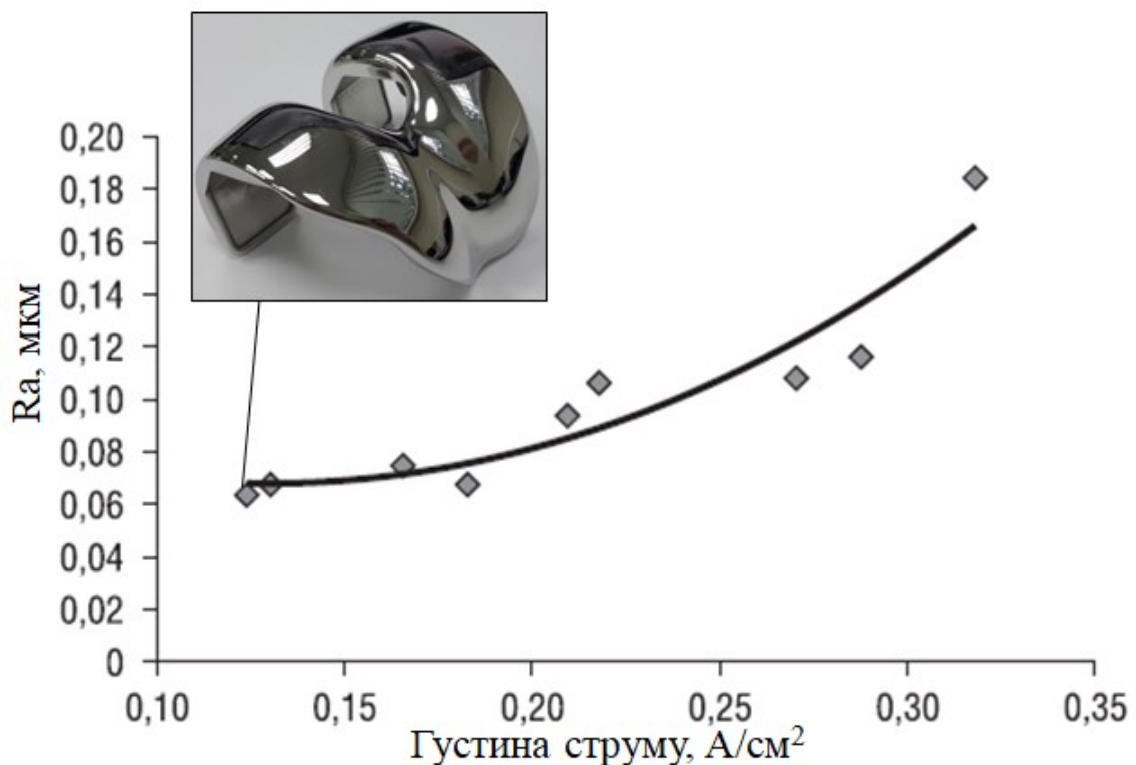


Рис. 1.7 – Вплив густини струму на шорсткість поверхні

Таким чином доцільно виконувати полірування при низькому значенні густини струму $0,12 \text{ А/см}^2$, напрузі 300 В та температурі електроліту - 90°C [7].

1.4 Порівняння традиційних методів полірування

Незважаючи на те, що не всі імпланти вимагають однієї і тієї ж обробки поверхні, в наші дні все більше і більше використовуються методів вигладжування шліфуванням. Наприклад, гвинти для медичного використання, виготовлені з нержавіючої сталі, кобальтових / хромованих сплавів або титану, зазвичай вимагають тільки легкого зняття задирок і округлення гострих країв, але жодним чином не порушуючи «зчеплюючі» властивості різьби. Пластини, штифти і стрижні вимагають інтенсивного заокруглення кромки, а також згладжування / полірування поверхні, що в подальшому полегшить їх обробку і дезінфекцію. Серед багатьох наукових робіт на тему "Полірування сталей" можна виділити деякі про медичні сталі. До них відносяться статті А. Celebik, V. Svetlicic та інших, в яких порівнюються різні методи обробки сплаву Co-Cr-Mo, а також їх вплив на біосумісність. В ході дослідження було відлито 18 зразків у вакуумі при температурі 1420°C . Після затвердіння зразки ретельно очищалися від суміші заливки і окалини піскоструминним методом з частинок оксиду алюмінію (250 мкм). Після піскоструменевої обробки всі підготовлені зразки електролітично полірувалися протягом 15 хвилин. Зразки були розділені на три групи по шість зразків у кожній. Перша група включала тільки електролітично поліровані зразки (EP). Друга група складалася з шести зразків, які після методу електричного полірування піддавалися подальшій механічній поліровці з використанням гумового диска, а потім оброблялися щітками за допомогою універсальної полірувальної пасти протягом однієї хвилини. Вони були названі зразками ВВ. Остання група, яка також включала шість зразків, була додатково відполірована оленячою шкірою протягом трьох хвилин після EP і полірування гумовим диском з пастою. Ці зразки називалися зразками DL.

Вимірювання результатів виконувалось за допомогою багатомодового растрового силового мікроскопа (РКМ) з V-подібною консольною вимірною голкою з нітриду кремнію з нормальною силою 3 Н/мм. Вимірювальні ділянки були розміром $13 \times 13 \text{ мкм}^2$, $30 \times 30 \text{ мкм}^2$ і $100 \times 100 \text{ мкм}^2$. Електролітично полірована поверхня сплаву з CoCr показана на рисунку 1.8. Отримана топографія є типовою для зразка після електролітичного полірування.

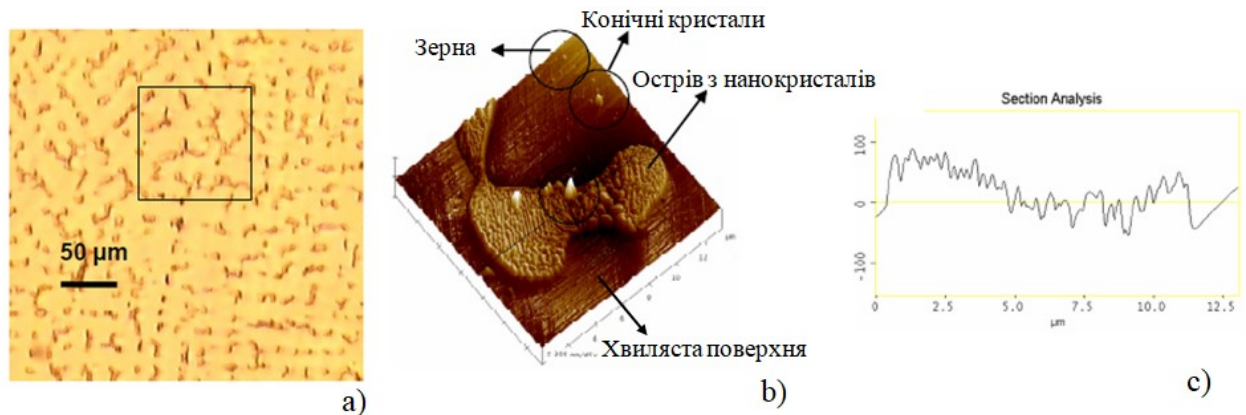


Рис. 1.8 – Електролітично полірована поверхня сплаву Co-Cr, отримана за допомогою оптичного (х400 збільшення) мікроскопа (а); РКМ-зображення ділянки $13 \times 13 \text{ мкм}^2$ (b) і профіль нерівностей тієї ж поверхні (c) [8]

На рисунку 1.8 (а) показана структура поверхні з існуючими світлими (дендритними) і темними (міждендритними) ділянками, які на рисунку 1.8 (б) відповідають хвилястій поверхні і острівцям з нанокристалітів. Кристалітові островки мають характерну довгасту форму і займають площу від 4 до 80 мкм^2 . Їх висота становить від 90 до 150 нм. Кристаліти в купах, розташовані в ламелярних структурах на відстані 160 або 320 мікрон один від одного всередині острова. Ця періодичність відображена задокументована в аналізі профілю поверхні і більш наочна при більш високій роздільній здатності на зображенні (с). Крім хвилястої поверхні і острівців нанокристалітів можна також спостерігати появу деяких високих конічних кристалітів (800-1000 нм) і дрібних зерен.

Поверхня механічно полірованої групи ВВ представлено на рисунку 1.9. На хвилястій поверхні тепер видно численні паралельні подряпини з V-подібним профілем шириною 0,5-2 мкм і глибиною 15-100 нм, віддалені один від одного на 13-27 мкм.

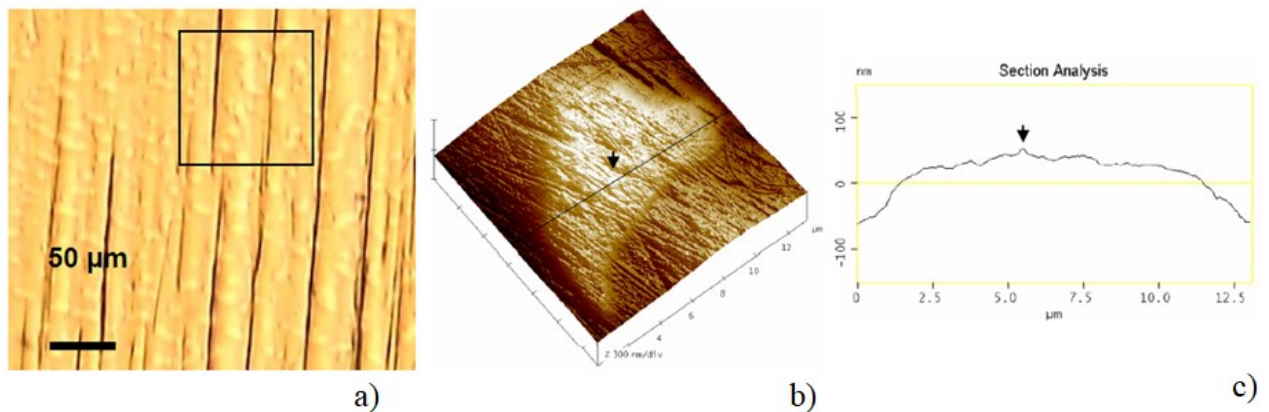


Рис. 1.9 – Поверхня механічно полірованої заготовки (ВВ), отримана за допомогою оптичного (х400) мікроскопа (а); 13х13 мкм РКМ зображення (b) показує згладжений острів, з рештою кристалітових виступів (с) [8]

Ефект механічного полірування на кристалітових островах добре помітний, так як острови зберігають свій округлий контур, але їх шорсткість значно знижується при наноаналізі поверхні. Кристалітових кластерів більше не спостерігається (більше немає ялинкоподібного малюнка), оскільки їх було механічно згладжено до висоти 40 нм.

На рисунку 1.10 представлена типова топографія зразка, який був додатково відполірований оленьчою шкірою (DL) доповнивши тим самим метод ЕР. Хвиляста поверхня тут також має численні подряпини, проте відстані між ними менше, ніж у зразків групи ВВ. Зокрема, контури згладжених кристалічних островів також замінюються паралельними подряпинами, які найкраще проявляються при аналізі профілю (Рис. 1.10с).

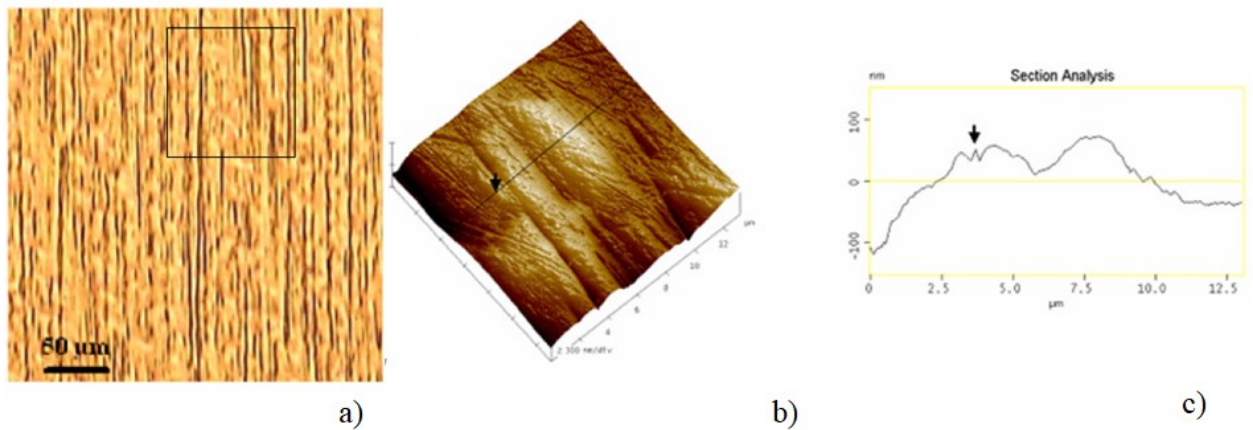


Рис. 1.10 – Поверхня механічно полірованої заготовки (DL), отримана за допомогою оптичного (х400 збільшення) мікроскопа (а); РКМ-зображення ділянки 13х13 мкм показує згладжений острів з подряпиною на ньому (b); аналіз профілю з виступом вершини кристаліту (стрілка) (с) [8]

Для зразка DL механічна поліровка призвела до видалення вершини кристаліту і, таким чином, сприяла появі подряпин всередині кристалітового острова. Проте вершина нерівностей, зазначена стрілкою на рисунку 1.10с що відповідає виступаючому кристаліту, що залишився. Значення середньої квадратичної шорсткості профілю R_q , середнє арифметичне відхилення профілю R_a та загальна висота профілю R_t наведені в таблиці 1 для трьох описаних методів полірування.

Таблиця 1.1 – Параметри шорсткості поверхні R_t , R_q і R_a для відповідних методів полірування

Метод полірування	R_t (нм)	R_q (нм)	R_a (нм)
Електролітичне полірування (EP)	918,9	89,28	70,53
Полірування щітками (BB)	537,23	77,97	61,72
Оленьча шкіра (DL)	616,17	86,93	65,64

Хоча механічне полірування (зразки ВВ та DL) згладило вершини кристалічних кластерів і, отже, зменшило висоту острова, все ж з'являються нові подряпини, які збільшують шорсткість поверхні. Таким чином, ефект згладжування не міг істотно сприяти зниженню шорсткості. Середня квадратична шорсткість профілю нерівностей є найбільш вживаним параметром для аналізу шорсткості поверхні, що представляє стандартне відхилення висоти профілю відносно деяких середніх значень, але не враховує відстань між вершинами нерівностей. Наприклад, поверхня з декількома вираженими вершинами нерівностей може мати те ж значення R_q , що і поверхня з великою кількістю маленьких піків. Тому важливо розрахувати інші параметри, що враховують вершини і западини, а також форму профілю і відстань між найбільшим піком профілю і найглибшою западиною профілю, такі як наприклад R_t та R_a [8].

1.5 Шліфувальна головка для обробки складних форм

При обробці з ЧПК різанням відносно невеликі розміри інструменту (фрези, токарного різця) дозволяють потрапити в усі заглиблення і порожнини заготовки, слідуючи при цьому шляхом, визначеним програмним керуванням. На відміну від різального інструменту протікання процесу шліфування, суттєво обмежує його можливості через досить великий діаметр шліфувального круга (Рис. 1.11).

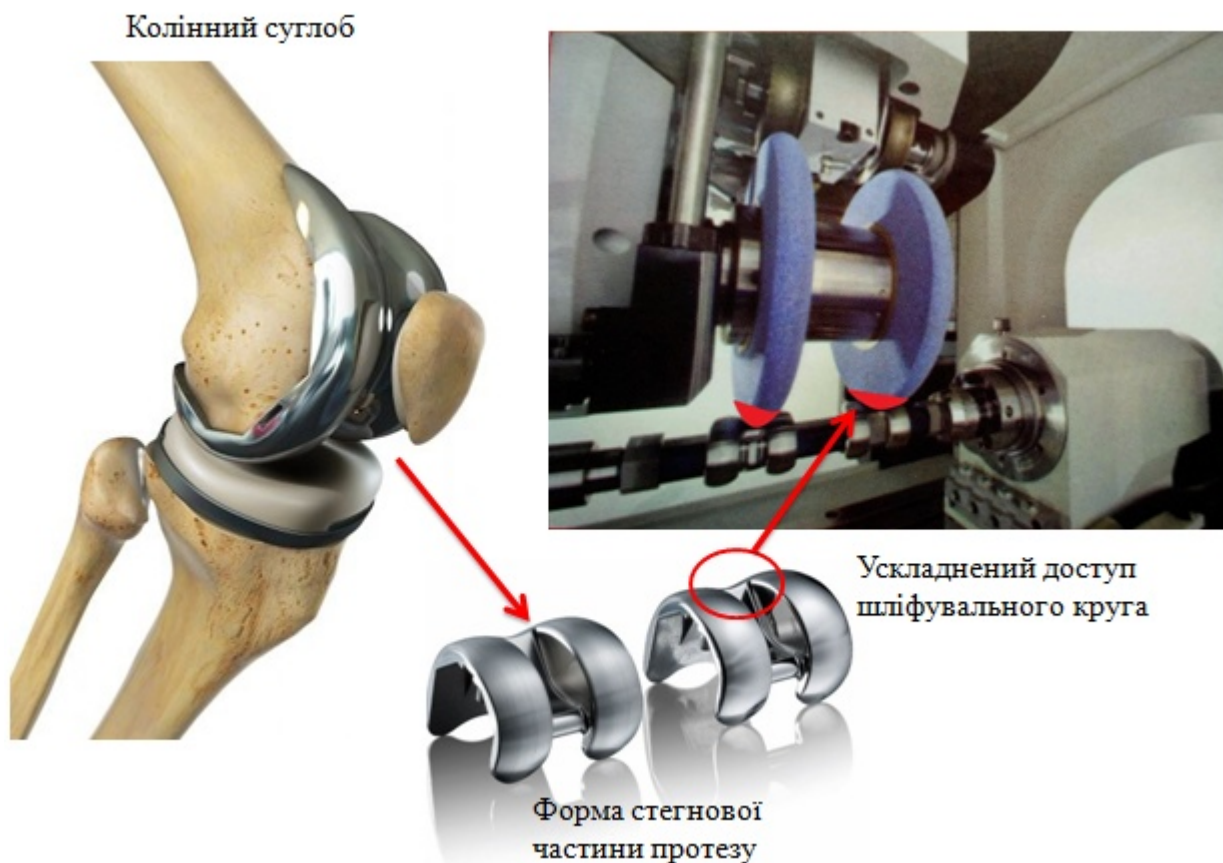


Рис. 1.11 Форма стегнового компонента та проблематика при шліфуванні

Опуклі форми відносно добре шліфуються в порівнянні з увігнутими, в яких можуть залишитися ділянки, недоступні для шліфувальних кругів. Одним з рішень описаної проблеми може служити шліфування за допомогою сферичної шліфувальної головки на п'ятиосьовому верстаті. В таких умовах шліфувальна система набуває необхідної гнучкості і забезпечує можливість потрапляння в усі заглиблення і западини заготовки, властиві імплантатам. Такі властивості свого часу дослідили С. Tournier, С. Iabassen, А. Guiot і Y. Quinsat. Дослідження, представлене у вашій статті, присвячене шліфувальній обробці спеціальним інструментом колінних протезів з кобальтово-хромованого сплаву (КС 28) і універсальної сталі (С10) для порівняння поведінки сплаву Co-Cr.

Особливість досліджуваного інструменту в порівнянні зі звичайним шліфувальним диском полягає в тому, що він складається з шліфувального

ковпачка, встановленого на гумовому корпусі, що надає шліфувальній головці певну еластичність.



Рис. 1.12 – Будова сферичної шліфувальної головки

Дослідження базується на наступних параметрах обробки: швидкість різання V_c і подача V_f . Кожен з параметрів обробки приймав два значення ($V_{c1} = 50$ м/хв, $V_{c2} = 200$ м/хв, $V_{f1} = 250$ мм/хв, $V_{f2} = 1000$ мм/хв) за якими було проведено чотири випробування на кожному з матеріалів. Для оцінки профілів нерівностей вимірювання проводилися вздовж і поперек слідів шліфування на кожному зразку. Отримані значення наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 2 – Значення шорсткості для відповідних параметрів процесу

Mat.	V_c m/min	V_f mm/min	$Ra_{\perp}$ μm	$Ra_{//}$ μm	$Rt_{\perp}$ μm	$Rz_{\perp}$ μm	Sa μm
KC28	50	250	0.06	0.08	0.59	0.44	0.12
	50	1000	0.12	0.09	0.81	0.62	0.27
	200	250	0.08	0.05	0.74	0.48	0.35
	200	1000	0.06	0.06	0.50	0.38	0.14
C10	50	250	0.13	0.13	1.28	0.76	0.28
	50	1000	0.19	0.15	1.32	0.93	0.32
	200	250	0.12	0.08	1.00	0.69	0.3
	200	1000	0.12	0.16	1.38	0.7	0.3

З таблиці видно, що значення шорсткості для сплаву Co-Cr нижче, ніж для сталі, незалежно від напрямку вимірювання. Збільшення швидкості різання V_c збільшує середнє арифметичне відхилення профілю (Sa), але зменшує параметри профілю $Ra_{\perp}$ і $Ra_{//}$. Збільшення швидкості подачі V_f , з іншого боку, призводить до зниження параметра Sa, але при цьому збільшується середнє арифметичне відхилення для профілю. Для забезпечення високої продуктивності має сенс збільшити швидкість подачі і, крім того, швидкість різання, щоб забезпечити також оптимальну якість поверхні. Але в будь-якому випадку така шліфувальна операція повинна супроводжуватися тонким алмазним поліруванням, спираючись на вимоги до медичних імплантатів [9].

1.6 Магнітно-абразивне оброблення з ЧПК

Міцно зв'язані абразивні частинки не забезпечують інструменту достатньої гнучкості, яка є такою важливою при роботі з поверхнями складної форми. Шліфування вільними шліфувальними частинками є гнучким, але не може бути особливо ефективним, так як жорсткість інструменту втрачається. У зв'язку з цим в 1938 році вперше було запропоновано використовувати ферромагнітний абразивний порошок, пов'язаний з магнітним полем. В даний

час різні схеми магнітно-абразивної обробки (МАО) детально вивчаються і впроваджуються в промислове застосування. Ланцюги частинок, що утворюються уздовж ліній магнітного поля, точно дублюють складну форму заготовки. Рух джерела магнітного поля по відношенню до заготовки призводить до видалення матеріалу на мікрорівні і утворення відповідних текстур поверхні. Вивчалася магнітно-абразивна обробка кобальт-хромового сплаву і модифікація його поверхневого шару [10]. В якості заготовок магнітні диски з CoCr, які були прикріплені до магнітного тримача служили для створення ланцюжка магнітних частинок між північним і південним полюсами нормально до оброблюваної поверхні (Рис. 1.13).

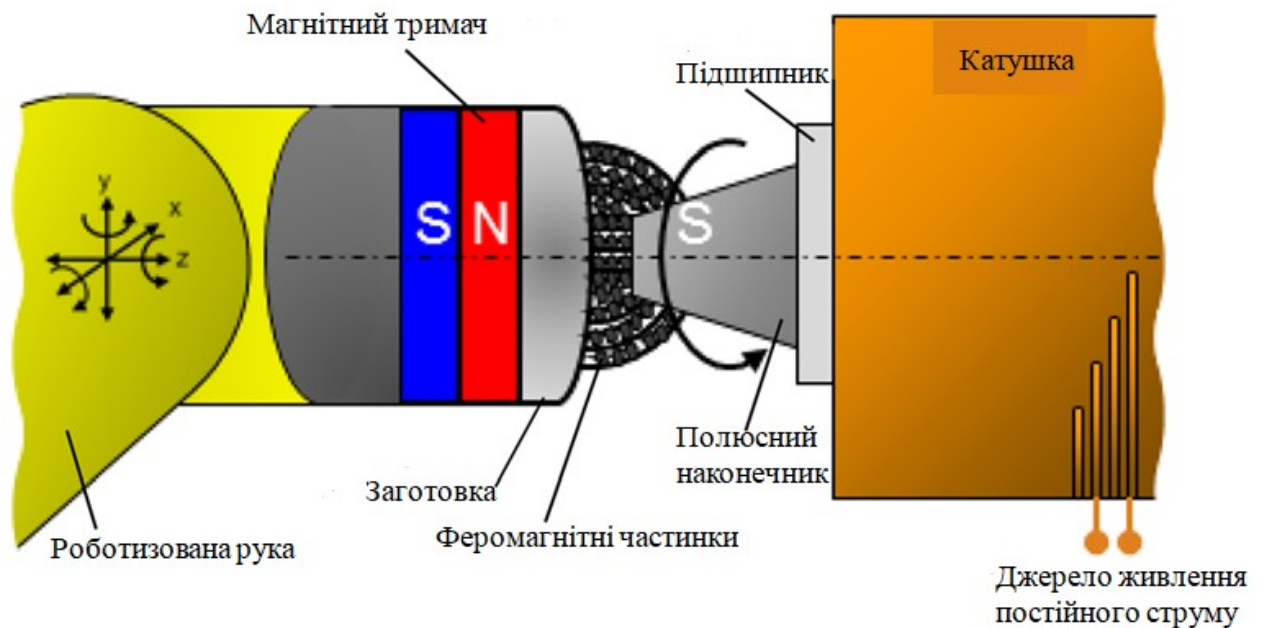


Рис. 1.13 – Принцип МАО з роботизованою рукою

Обертання наконечника полюса призводить до відносного руху суміші феромагнетичних частинок і шліфувального порошку на поверхні заготовки. Рух подачі здійснюється роботизованою рукою з шістьма ступенями свободи, що значно розширює область обробки і дозволяє обробляти деталі вільної форми. Жорсткість зв'язку частинок в ланцюгах залежить від напруженості магнітного поля. При зменшенні напруженості магнітного поля частинки не

можуть повністю відтворювати обертальний рух полюсного наконечника, проте набувають рухливості всередині утворених ланцюгів, змінюючи своє положення та вивільняючи нові частинки абразиву внаслідок тертя на поверхні заготовки. Оброблена таким чином поверхня, в свою чергу, являє собою скупчення коротких, переривчастих слідів абразивного різання. Аналогічна поведінка спостерігається при внутрішній МАО немагнітних труб кілька мікрометрів в діаметрі з використанням суспензії з феромагнітними частинками. Коли сила магнітного поля ще менше, магнітні частини відскакують від оброблюваної поверхні, внаслідок чого полірування не відбувається. Для аналізу зміни шорсткості та напрямку слідів обробки поверхня оцінювалася в п'яти точках за допомогою оптичного профілометра з розміром вимірюваної ділянки 150 мкм x 100 мкм. Отримані дані були оброблені за допомогою гаусівського фільтра високих і низьких частот 30 мкм і 0,828 мкм. Експеримент [10] для отримання чотирьох різних поверхонь базується на контролі магнітної сили, що діє на феромагнітні частинки і залежить від кількості частинок, струму збудження, швидкості подачі і швидкості вершини полюсного наконечника. Використовувалися частинки заліза з двома різними діапазонами розмірів 0-45 мкм і 45-150 мкм. Швидкість подачі заготовки становила 1, 10 і 50 мм/с, швидкість вершини полюсного наконечника - 100, 150 та 500 хв⁻¹ (Таблиця 1.3). Двоступенева фінішна обробка була застосована для четвертого дослідження, задля отримання коротких переривчастих слідів абразивного різання. Щоправда на першому етапі бажаний напрямок слідів обробки було досягнуто з дещо підвищеним показником шорсткості.

Таблиця 1.3 – Параметри МАО [10]

Експерименти	1	2	3	4	
				а	б
Розміри алмазних частинок, мкм	0-0,25	0-0,25	0-0,5	0-0,25	

Частка алмазних частинок, мг	50			
Розмір феромагнітних час- тинок, мкм	45 – 150		0 – 45	
Частка феромагнітних час- тинок, мг	500		500	300
Швидкість подачі, мм/с	50	10	1	1
Довжина обробки, мм	43			
Швидкість обертання по- люсного наконечника, min ⁻¹	100	100	500	500
Робочий зазор, мм	1			
Сила струму, А	2,5		2,5	1,0
Густина магнітного потoku, Т	0,23		0,23	0,13
Час обробки, хв	15		15	45

Другий етап зменшив параметр шорсткості S_a , не порушуючи поверхневого шару. Процес обробки було розпочато в центрі заготовки і спрямовано вгору і, згодом, вниз на довжину 43 мм. Після завершення обробки деталь промивали в деіонізованій воді і етанолі, потім протирали бавовняною тканиною і, в кінці, очищали ацетоном. На малюнку 13 показаний градієнт шорсткості середнього арифметичного відхилення профілю S_a , висоти нерівностей профілю S_z і перекосу S_{sk} виміряних в 5 точках після кожного експерименту. Дані є середніми значеннями вимірювань для всіх положень (відхилення відповідають $\pm$ стандартному відхиленню, 1σ). Експерименти 1-3 демонструють поліпшення шорсткості після МАО, крім того, профіль перекосу прагне до нуля. Стан 4 характеризується значно меншим видаленням матеріалу і глибиною слідів, що залишилися після обробки. В результаті, незалежно від зміни поверхневого шару, насправді немає ніякого впливу на S_a , S_z або

Ssk. Але після виключення глибоких подряпин з вимірювальної діляни 100 мкм x 150 мкм $Sa = 3 \pm 0,2$ нм, $Sz = 3 \pm 9$ нм і $Ssk = 0,7 \pm 0,2$ нм для ділянки вимірювання 100 мкм x 60 мкм; ці значення аналогічні випробуванням 1-3. Оброблена поверхня зразка 4а характеризується короткими переривчастими слідами абразивного різання. Малі феромагнітні частинки в меншій мірі піддаються впливу магнітної сили, що в свою чергу зменшує сили різання. Фінішна обробка 4б проводилася при ще більш слабкому магнітному полі з меншим струмом збудження і сприяла видаленню піків шорсткості, зберігаючи при цьому напрямок обробки. Ґрунтуючись на результатах експериментів можна говорити про можливість фінішної обробки з МАО в межах нанометра. Для ланцюжків із жорстко з'єднаних магнітних частинок поверхневий шар заготовки є відображенням циклоїдного руху частинок, що виникає в результаті обертального руху полюсного наконечника і лінійного руху заготовки [10].

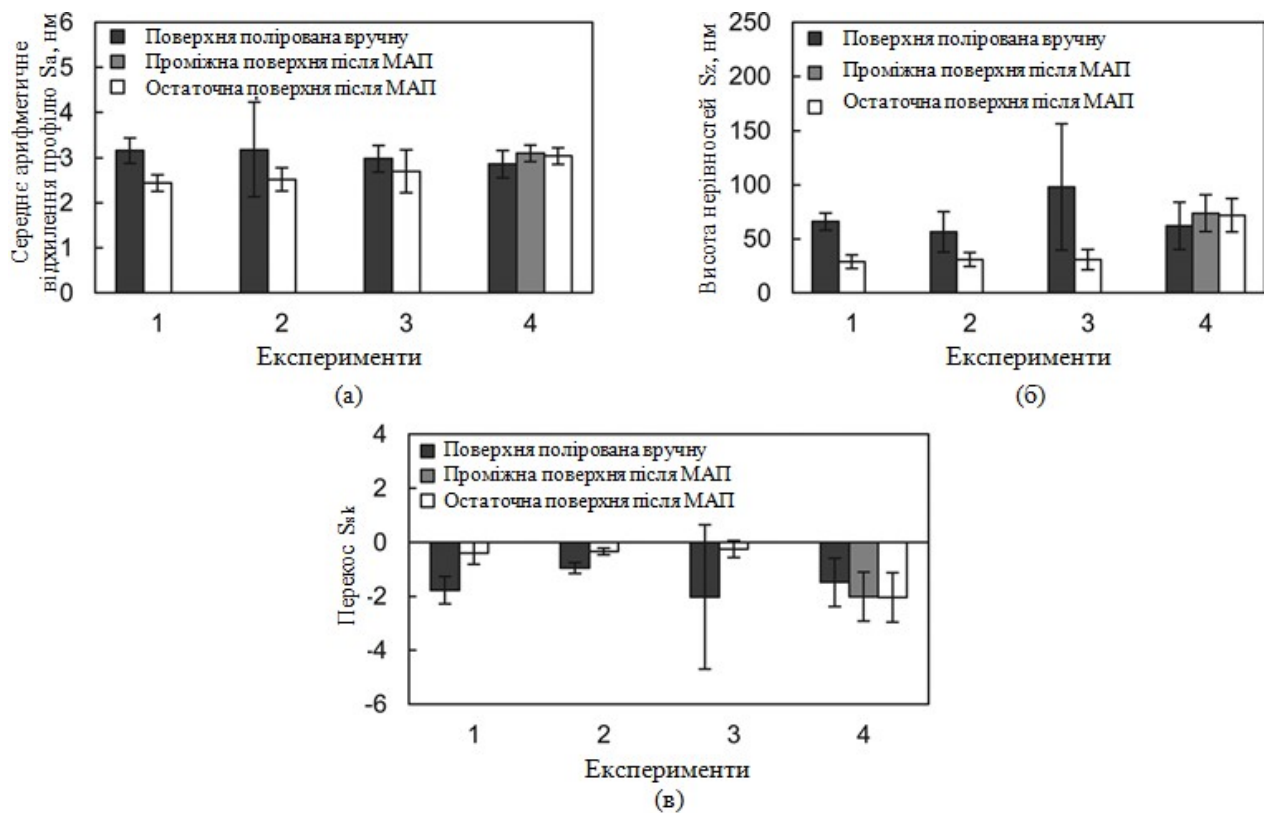


Рис. 1.14 – Середнє арифметичне відхилення профілю (а), максимальна висота профілю (б) і перекос (с) в залежності від експерименту [10]

З описаних вище випробувань видно, що за допомогою МАО можна задовольнити вимоги, які часто пред'являються до якості поверхні медичних протезів. Установка, розглянута в статті [10], дозволяє розширити спектр форм оброблюваних немагнітних заготовок.

1.7 Поєднання декількох типів обробки поверхні

Описані вище види підготовки поверхні вимагають інтегрованого використання і логічної систематичної послідовності. Різноманітність існуючих фінішних технологій дає можливість вибору, але в той же час ускладнює його. Дослідження 1991 року викладача стоматологічного факультету Університету м. Анкара показало, що поєднання декількох видів обробки поверхні також не можна виключати. Для цього з кобальтово-хромованого сплаву було відлито 10 конічних виливків (з діаметром основи, вершини та висотою 0,6 см, 0,8 см і 0,8 см відповідно). Останнім етапом підготовки стала піскоструменева обробка. Для порівняльного аналізу використовувалися різні методи полірування та їх комбінації, наведені в таблиці 1.4 [11].

Таблиця 1.4 – Методи полірування та їх комбінації [11]

Група	Технологія
1	необроблена
2	A
3	A+B
4	A+B+F
5	A+B+C
6	A+B+C+D
7	A+B+C+D+E
8	A+B+C+D+E+F
9	A+B+C+D+E+F+G
10	A+B+C+D+E+F+G+H
11	A+B+C+D+E+F+G+I

A – піскоструминна обробка I; B – жорсткий шліфувальний диск; C – шліфувальний диск середньої жорсткості; D – піскоструминна обробка II; E – елек-

тролітичне полірування; F – жорстка резина; G – тверді повстяні диски з полірувальною пастою; H – жорстка щітка з оксидом алюмінію; I – повстяний диск та м'яка щітка з полірувальною пастою.

При переходах від більших абразивних частинок до більш дрібних напрямків обробки постійно змінювався, повертаючи заготовку на 90 градусів відносно попередніх слідів обробки. Час обробки шліфувальними кругами становив 90 секунд на кожному переході, змінюючи при цьому напрямки через 45 секунд. Піскоструминна обробка тривала 45 секунд. Електролітичне шліфування проводилося при струмі від 2 до 3 ампер з п'ятихвилинним утриманням в кислотному розчині. Тверда гума, повстяний диск, жорстка і м'яка щітка були застосовані протягом 90 секунд кожен. Залишки полірувальної пасти були видалені в ультразвуковій ванні. Якість поверхні оцінювалася на основі середнього значення ($\bar{x}$) середньої висоти нерівностей профілю R_z , найбільшої висоти нерівностей профілю $R_{\max}$ і середнього арифметичного відхилення профілю R_a (Таблиця 1.5). Стандартне відхилення (s) для окремих величин показує розбіжність показів та їх відхилення від середнього значення.

Таблиця 1.5 – Середнє значення шорсткості поверхні (в мкм)

Група	R_a		R_z		$R_{\max}$	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	5,77	0,4761	23,99	1,7691	36,8	3,5378
2	3,5	0,065	17	0,3004	22,23	0,8831
3	0,922	0,0408	5,18	0,2702	7,84	0,9175
4	0,199	0,0143	1,284	0,0648	1,67	0,081
5	0,185	0,0138	1,125	0,1142	1,922	0,3173
6	1,243	0,0411	7,628	0,4022	9,225	0,4435
7	1,884	0,2602	7,376	0,8544	12,403	1,5684
8	0,227	0,0087	1,297	0,0576	1,598	0,0922
9	0,236	0,009	1,274	0,0581	1,598	0,1156
10	0,147	0,0065	0,763	0,0423	1,039	0,0986
11	0,141	0,0092	0,649	0,0255	0,723	0,0864

При порівнянні результатів виявилось, що якість поверхні безпосередньо залежить від кількості видів обробки і їх логічного порядку. Таким чином, при поліровці груп 10 і 11 були отримані найгладкіші поверхні. Тим не менш, обробка з повстяним диском і м'якою щіткою з полірувальною пастою дещо переважає жорстку щітку з оксидом алюмінію. Особливість обробки твердою гумою, яка була додатковою для груп 4 і 8, полягає в тому, що, на відміну від абразиву, вона не залишає подряпин, а заповнює їх, створюючи гладку поверхню. Для групи 7 також було встановлено, що ефективність електролітичного полірування багато в чому залежить від стану поверхні до початку процесу. Виходячи з аналізу результатів, варто відзначити, що кожна наступна фаза полірування може бути виконана тільки в тому випадку, якщо будуть повністю видалені всі сліди попередньої.

1.8 Коротке викладення процесу МАП

Концепція магнітно-абразивної обробки поєднує в собі велику кількість методів шліфування і полірування, таких як видалення задирок, згладжування, очищення і т.д., в яких магнітне поле застосовується безпосередньо в зоні обробки. Основний принцип заснований на використанні феромагнітних зерен в робочому зазорі, утвореному між магнітом і заготовкою. Магніт може бути електричним або постійним. Останній зарекомендував себе в МАО феромагнітних заготовок з високими показниками магнітної проникності, таких як наприклад залізо. В таких умовах частинки розташовуються уздовж ліній магнітного поля та концентруються на заготовці. Магнітні індуктори такого типу мають ряд переваг, серед яких невеликі розміри, простота конструкції і дешевизна [12].

Електромагніти знаходять більш широке застосування в різних схемах обробки. Вони включають в себе всі оброблювані форми, зокрема зовнішні та внутрішні циліндричні, сферичні поверхні, поверхні вільної форми, різьби та інші. Однією з особливостей є керована магнітна індукція в робочому зазорі, яка може бути змінена шляхом регулювання струму в котушках намаг-

нічування. Це, в свою чергу, впливає на силу зв'язування ланцюгів частинок і, отже, на жорсткість самого інструменту, а також полегшує розмагнічування робочої області, задля її очищення або заміни абразиву. Щітка, утворена з абразивних частинок, повинна мати достатню жорсткість, щоб зрізати вершини нерівностей на поверхні заготовки. З усієї маси абразиву тільки невелика його частка знаходиться в контакті з заготовкою. Вони затуплюються в процесі обробки, що підкреслює необхідність їх регулярного перемішування. Таким чином, при слабкому магнітному полі рухливість частинок збільшується, що призводить до їх кращого перемішування. Такий процес може бути порівняний з піскоструминною обробкою. Обробка з міцно зв'язаними частинками більше відповідає традиційному шліфуванню. МАО проявляється в двох механізмах деформації: мікрорізання, шляхом видалення наностружки і пластичною деформацією поверхневого шару. Крім того, низька температура процесу, яка виключає структурні перетворення в оброблюваній деталі, є одним з основних переваг процесу. Щоправда інтеграція більшої кількості функцій в дану систему може негативно вплинути на вагу і розмір намагнічувальної котушки. З цього також впливає потреба в блоках управління і додатковому джерелі живлення, що ускладнює загальний блок керування устаткування.

1.9 Резюме

Безперервний розвиток методів обробки відкриває все нові можливості та перспективи. Підвищення стійкості інструменту завдяки сучасним процесам охолодження і змащення сприяє значному зростанню продуктивності процесу, а також позитивно впливає на якість оброблюваної поверхні. Крім того, кількість переходів може бути зменшено за рахунок розширення можливостей традиційної чорнової обробки за допомогою додаткових вібраційних рухів інструменту. Одночасно зменшаться також і сили різання. Новий підхід до шліфування, наприклад електролітичне шліфування дозволяє не тільки зберегти форму заготовки і при цьому поліпшити шорсткість її повер-

хні, але і, що особливо важливо для виробів медичного призначення, створити на її поверхні товстий оксидний шар, який сповільнюватиме хімічну реакцію з агресивним середовищем.

Якщо порівнювати електролітичне полірування, полірування шкірою і полірування щітками, то останній вид виявляється особливо ефективним. Додягнуті значення шорсткості всього на одну соту мікрометра перевищують норми. Шліфувальні головки особливо добре зарекомендували себе для обробки деталей складної форми. При цьому показники якості поверхні не поступаються показникам плоского шліфування. Значно кращі результати показує поверхня довільної форми після магнітно-абразивного полірування з ЧПК. Спектр можливостей даного методу полірування завдяки своїй унікальності не обмежується лише комбінацією з дорогим програмним керуванням, але і дозволяє виконувати ті самі завдання з використанням кільцевої ванни, наповненої абразивним порошком.

Провівши літературний огляд та проаналізувавши наявні методи обробки поверхонь складної форми, можна дійти висновку, що для розширення можливостей сучасного виробництва необхідним є більш докладне вивчення даного питання та експериментальне дослідження альтернативних методів. Оскільки окреслені питання потребують комплексного підходу та аналізу доцільним буде вивчення проблеми технологічного процесу виготовлення медичних імплантатів та апробація нових методів на характерних для цієї галузі сплавах.

Для введення описаних технологій в такий відповідальний виробничий процес як виробництво протезів, необхідно більш глибоке вивчення їх особливостей. Дані, які вже були отримані, можуть служити відправною точкою в індустрії імплантатів.

2 ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Стан питання

Протягом багатьох століть обробка різанням залишається одним з найпопулярніших і найнеобхідніших видів обробки матеріалу. За довгі роки свого існування вона з успіхом розвивалася з огляду на якість і продуктивність, які сьогодні забезпечують тривалий процес обробки одним інструментом з максимальною точністю. З'являлося все більше і більше нових методів, які доповнювали або повністю змінювали виробничі процеси. Їх різноманіття ставить перед планувальником технологічного процесу складну задачу вибору необхідної та оптимальної, особливо коли справа доходить до медичного сектора, тому що руйнування компонентів такого відповідального типу може коштувати здоров'я, а іноді навіть людського життя. Медичні сплави, такі як кобальт-хром-молібден або титан-алюміній-ванадій, важко піддаються різанню та вимагають особливої уваги під час виробничого процесу. Серед медичних сталевих компонентів, таких як тазостегнові, колінні, плечові або стоматологічні імплантати, сплав CoCr займає гідне місце завдяки своїй високій стійкості до зношення та довговічності. Ці параметри можуть бути значно підвищені на окремих етапах підготовки.

Виробничий процес імплантатів залежить від багатьох факторів, серед яких істотну роль відіграють особливості форми їх компонентів, ступінь навантаження при використанні і навіть вік пацієнта, якому вони будуть згодом імплантовані. Щоправда чітко можна вирізнити основні стадії їх підготовки (рис. 2.1). Вихідний матеріал являє собою литу деталь або поковку, виконану за допомогою відповідних виробничих процесів. Сучасні методи лиття дозволяють виготовляти деталі максимально наближені до кінцевого продукту з високою геометричною точністю. Таким чином знижується необхідність у великій кількості подальших переходів і, крім того, витрати часу і матеріалів. Для деталей, які в процесі експлуатації піддаватимуться динамічним навантаженням першим кроком виготовлення обирається кування замість лиття,

для отримання дрібнозернистої структури. В якості проміжного етапу виробництва імплантатів служить обробка лезовим інструментом, що дозволяє надати необхідну кінцеву форму. До найбільш популярних методів в ортопедії відносяться: токарні, фрезерні, свердлильні та ін. операції



Рис. 2.1 – Основний процес виготовлення імплантатів [13, 14, 15 ,16]

Шліфування зазвичай використовується в якості підготовки до фінішної обробки. Притирання, полірування, вигладжування, галтування і т.д. є одними з методів оздобного полірування. Останнім відповідальним кроком є контроль якості. Серед основних параметрів, які контролюються є: шорсткість, корозія, наявність тріщин і відхилень форми. Якість поверхні пар тертя штучних суглобів впливає на їх довговічність і корозійну стійкість.

В якості спрощеної альтернативи описаному виробничому процесу може бути заміщено деякі з етапів обробки та об'єднано в один відносно молодий метод, який вже добре зарекомендував себе у виробництві ріжучого інструменту. Магнітно-абразивна обробка може використовуватися як для шліфування, так і для тонкого полірування, в залежності від розміру використовуваних абразивних частинок. Якщо її буде інтегровано як окремий процес виробничого ланцюга, то він виглядатиме так, як показано на рисунку 2.2. Тому метою роботи є вивчення зміни параметрів поверхневого шару до та після чистової обробки.



Рис. 2.2 – Альтернативний процес виготовлення імплантатів [13, 16, 17]

Початкові параметри поверхні заготовки були визначені токарною обробкою. Після окремих змін застосованих до досліджуваного об'єкту відбувався їх контроль та аналіз.

2.2 Матеріал заготовки

Матеріалом заготовки слугував кобальт-хромовий сплав (ASTM F75) за DIN ISO 5832-12. Заготовка була попередньо піддана куванню, що дозволило отримати дрібнозернисту структуру з рівномірним розподіленням карбідів складних сполук (Co_{23}C_6 , Cr_{23}C_6 та Mo_{23}C_6) в міждендритному просторі та на границях зерен. За рахунок підвищеного значення отриманої втомної міцності такий матеріал добре себе зарекомендував в протезуванні тазостегнових суглобів. Порівняльна таблиця 2.1 механічних параметрів відливої та кованої заготовок демонструє основні їх відмінності.

Таблиця 2.1 – Основні механічні параметри двох способів виготовлення сплаву CoCrMo [18, 19, 20]

Механічні параметри Способи виготовлення	Твердість (HV)	Модуль пружності (ГПа)	Межа текучості $R_{p0,2}$ (МПа)	Межа міцності R_m (МПа)	Відносне видовження* A (%)	Втомна міцність (МПа)
Лиття	250-350	210	450	655	8	190-400
Кування	350-500	250	517-827	897-1172	12-20	500-970

*Вимірювана довжина = $5,65 \sqrt{S_0}$ або 50мм, де S_0 площа вихідного перерізу в мм²

Також не можна не відмітити позитивний вплив дрібнозернистої структури на точкову та щілинну корозію, за рахунок зменшення кількості втомних тріщин. Хром в сплаві також сприяє підвищенню стійкості до корозії, в той час як молібден підсилює матрицю та рафінує зерна. Його концентрація коливається між 4% в дендритному та 6% у міждендритному просторі. Інші елементи, що наявні в структурі наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад кобальт-хромового сплаву (Co-28Cr-6Mo) ASTM F75

Елемент	Co	Cr	Mo	W	Ni	Mn	Si	Fe	C	N	P	Al	S
Граничний вміст Масова частка у %	58,9-69,5	27,0-30,0	5,0-7,0	0,2	2,5	1,0	1,0	0,75	1,0	0,25	0,02	0,3	0,01

2.3 Підготовка заготовки

Для подальших експериментів було підготовлено п'ять точених заготовок згідно креслення, котрі представляють собою основну кулеподібну частину діаметром 28 мм максимально наближену до реального імпланта та хвостовик для зручного закріплення заготовки (див. рис 2.3). Обробка проводилась на токарному верстаті з ЧПК Okuma LB3000 EX II M C 1000 університету Отто-фон-Геріке (Німеччина) в дві установки. При першій установці було проточено хвостовик діаметром 10 мм та уступ ($\varnothing 16$ мм) з кобальт-хромового прутка з підведенням МОЗТС. Після другого встановлення отримували кулеподібну частину. Якомога нижчий показник шорсткості сферичної частини був отриманий після чистового точіння. Для порівняння впливу якості вихідної поверхні заготовки А, В, С, D було виготовлено при швидкості різання 40 м/хв, подачі 0,08 мм/об та глибині різання 0,05 мм, а кульку F при швидкості різання 50 м/хв, подачі 0,05 мм/об та глибині різання 0,05 мм.

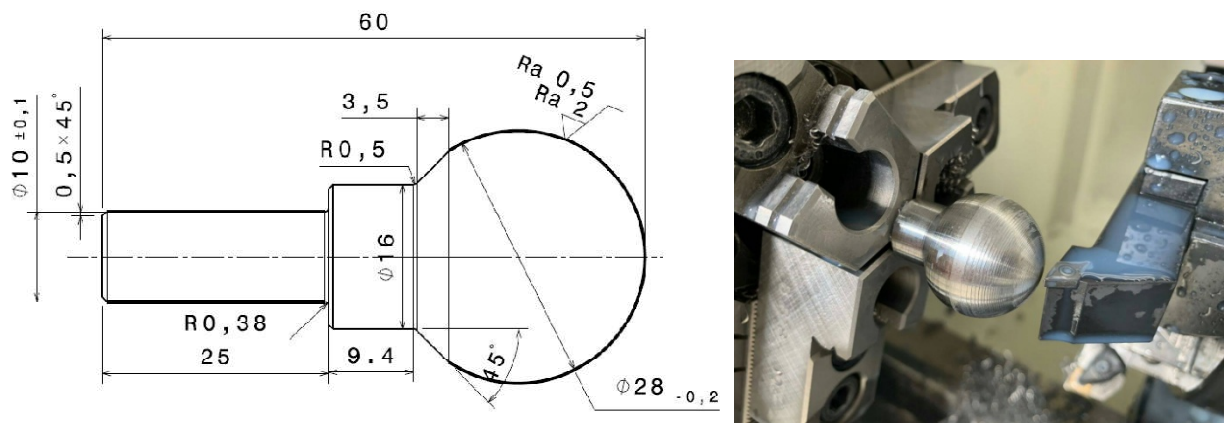


Рис. 2.3 – Креслення заготовки кулі (ліворуч) та її фото в затиснутому положенні в трьохкулачковому патроні при обробленні (праворуч)

Отримані значення шорсткості фіксувалися за допомогою конфокального мікроскопу 3D-Konfokalmikroskop Nanofocus μ surf expert (рис. 2.4) університету Отто-фон-Геріке (Німеччина).



Рис. 2.4 – Конфокальний мікроскоп 3D-Konfokalmikroskop Nanofocus μ surf expert [23]

Даний прилад базується на точковому освітленні поверхні та блокуванні розсіяного світла поза фокусною площиною. Він дозволяє відтворити тривимірну топографію поверхні досліджуваного об'єкта. Стратегія вимірювання відповідала вказівкам стандарту ISO 7206-2. Вимірювання охоплювали п'ять зон на сферичній поверхні. Для цього кулю було поділено на чотири сектори по 90° кожен. Згідно стандарту вимірювання слід проводити по одному в кожному з секторів приблизно 30° від полюсу кулі та одноразово на самому полюсі, як показано на рис. 2.5. Зображення топографії поверхні демонструють типовий вид нерівностей, які виникають після точіння. Вони відрізняються періодичністю профілю з чітко вираженими западинами та вершинами.

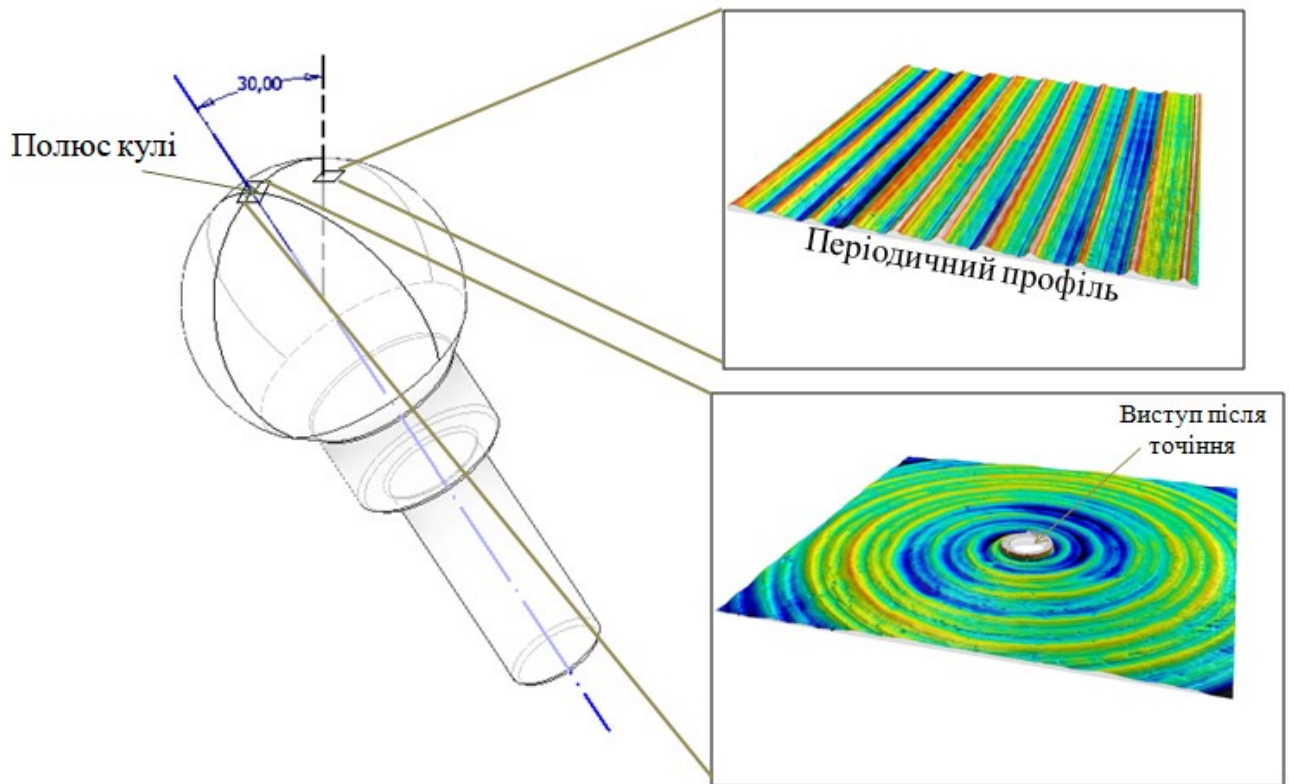


Рис. 2.5 – Позиціонування заготовки при вимірюванні за допомогою конфокальної мікроскопії

При точінні торцевої поверхні в точці де швидкість різання прямує до нуля (поблизу осі обертання заготовки) з'являється характерний виступ. Він особливо негативно впливатиме в майбутньому на трибологічні властивості продукту, що призводить до раптового пошкодження чаші суглобу і відповідно до проникнення продуктів зносу в людське тіло. Середні значення параметрів шорсткості середнього арифметичного відхилення профілю (R_a) та середня висота нерівностей профілю (R_z) отримані після точіння склали для заготовок A-D 0,4975 мкм та 2,5538 мкм, а для заготовки F 0,2993 мкм та 1,5925 мкм відповідно.

Вимірювання залишкових напружень проводилось на рентгенівському дифрактометрі Xstress DR45 (рис. 2.6) в двох напрямках: перпендикулярно осі симетрії заготовки (відповідає положенню 0 градусів – σ_0) і паралельно осі симетрії (відповідає положенню 90 градусів – σ_{90}).



Рис. 2.6 – Вимірювання внутрішніх напружень на приладі Xstress D45

Принцип дії приладу полягає в здатності рентгенівських променів відбиватися від плоских сіток, утворених атомами в кристалічній ґратці металу. Це сприяє утворенню дифракційного відбиття, інтенсивність якого характеризує відстань між площинами кристалу. Такий процес описується рівнянням Вульфа-Брегга:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin\theta,$$

де n – ціле число, що описує порядок дифракційного відбиття, λ – довжина хвилі монохроматичного рентгенівського променя, d – відстань між відбиваючими площинами, θ – кут, що утворюється між площиною відбивання та падаючим (відбитим) променем.

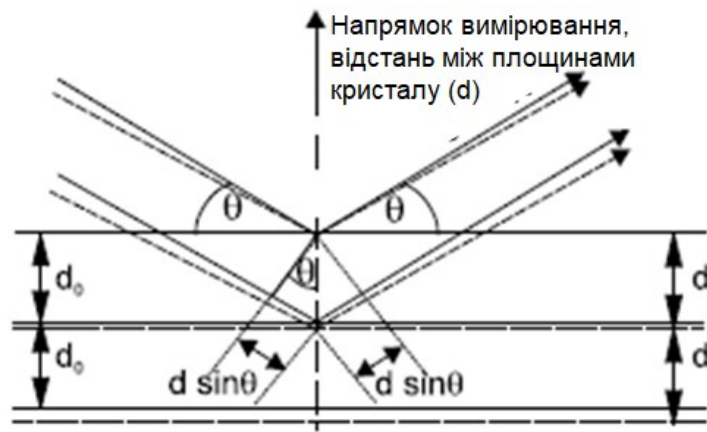


Рис. 2.7 – Дифракція хвилі рентгенівського променю [24]

Значення d є характеристикою елементарної комірки кристалу конкретного досліджуваного матеріалу. Таким чином при вимірюванні внутрішніх напружень зразку фіксується значення кута відбивання та за рівнянням Вульфа-Брегга вираховується відстань між площинами кристала, яка в свою чергу порівнюється з характерним показником того чи іншого матеріалу.

Обрахунок отриманих значень в програмному забезпеченні XTronic відповідає новому європейському стандарту рентгенівського випробування залишкових напружень EN 15305.

2.4 Магнітно-абразивне полірування в кільцевій ванні

Полірування виконувалося на магнітно-абразивному верстаті з кільцевою ванною. Магнітне поле даного верстату генерується електромагнітом та може бути налаштоване відповідно до вимог обробки. Робочий зазор утворюється кільцевими електромагнітами, величина якого визначається різницею в діаметрі цих елементів. В якості носія абразивного інструменту слугують феромагнітні частинки величина зерен, форма та тип яких може бути різним. Феромагнітний порошок Полімам-Т зернистістю 200/100мкм використовувався в якості носія алмазної пасти. Занурена сферична частина заготовки в кільцеву ванну повністю пронизується лініями магнітного поля.

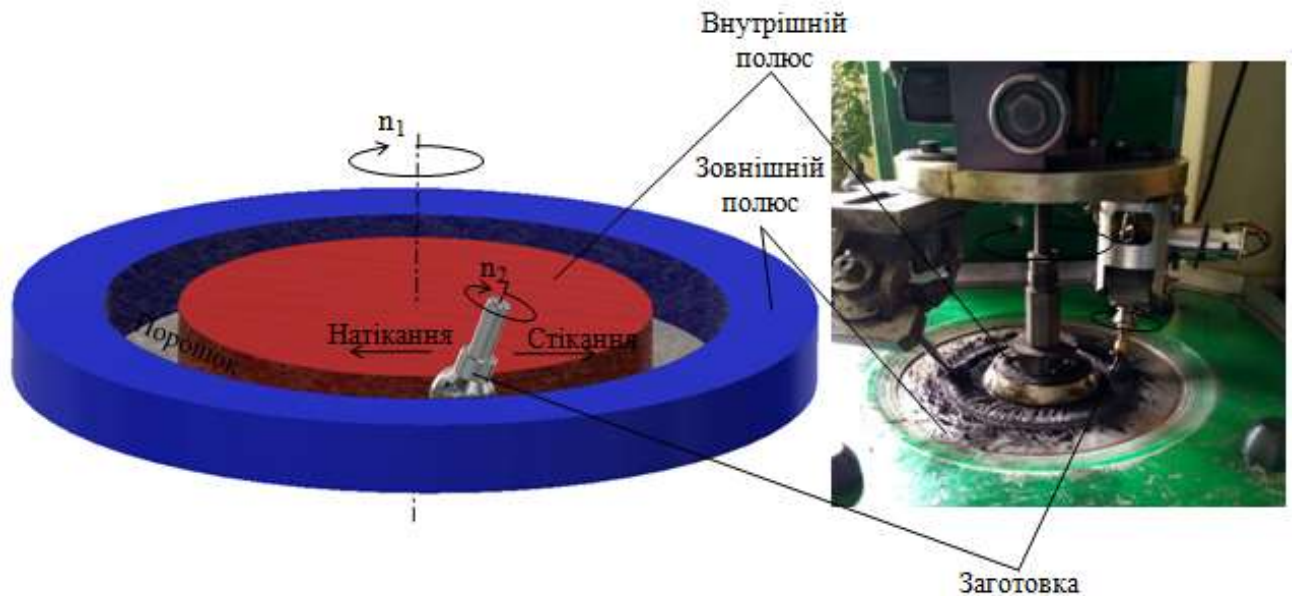


Рис.2.7 – Будова та принцип дії МАП в кільцевій ванні

Таким чином значно розширюється спектр оброблюваних деталей, включаючи діаманти. Магнітна індукція в робочому зазорі була налаштована на 0,25 Тл, чим забезпечувалось необхідне перемішування порошку і до того ж достатня жорсткість інструменту задля оптимального протікання процесу. Швидкість обертання заготовки навколо своєї осі складала 520 об/хв та 250 об/хв навколо осі кільцевої ванни.

Загальний час обробки становив дві хвилини для кожної кульки. Довгі заготовки і свердла зі стружковивідними канавками для досягнення однорідної і рівномірної їх обробки можуть бути розміщені під певним кутом щодо площини ванни за допомогою кутової шкали. Заготовка оберталася один раз з натіканням абразивної маси та один раз зі стіканням при основному русі протягом однієї хвилини, як показано на рисунку 2.6. Такі заходи були прийняті для того, щоб рівномірно відполірувати всю поверхню кулі, як на полюсі, так і біля хвостовика. Стрижень, занурений в порошкову масу, забезпечує рівномірний розподіл феромагнітних частинок в робочій зоні, шляхом їх підйому після кожного проходження заготовки по контуру ванни. Після полірування заготовки очищалися від залишків абразиву на поверхні.

Щоб оцінити повторюваність результатів і досягти чистоти досліду, всі заготовки оброблялися при одних і тих же налаштуваннях. Пробна кулька F використовувалася для налаштування верстату МАО. Як і після точіння, вимірювання шорсткості, ваги та власних напружень були останніми етапами експерименту.

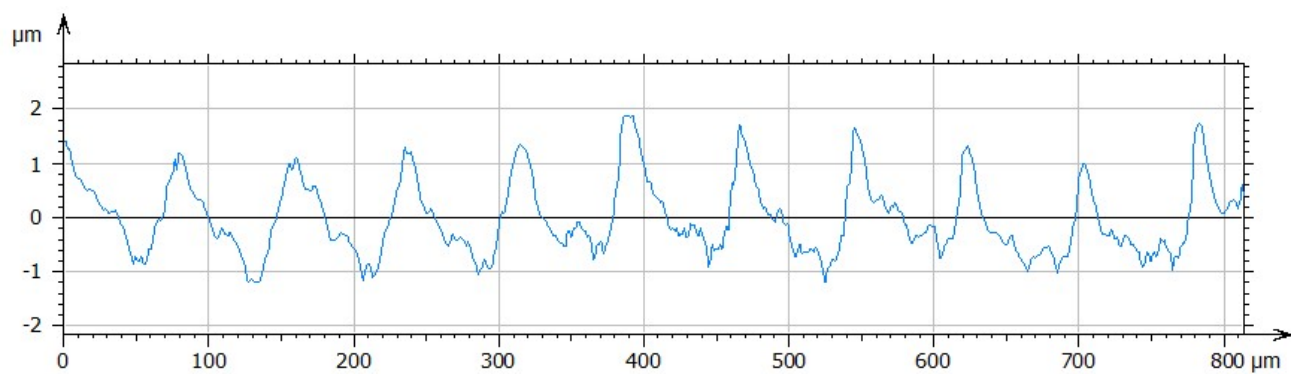
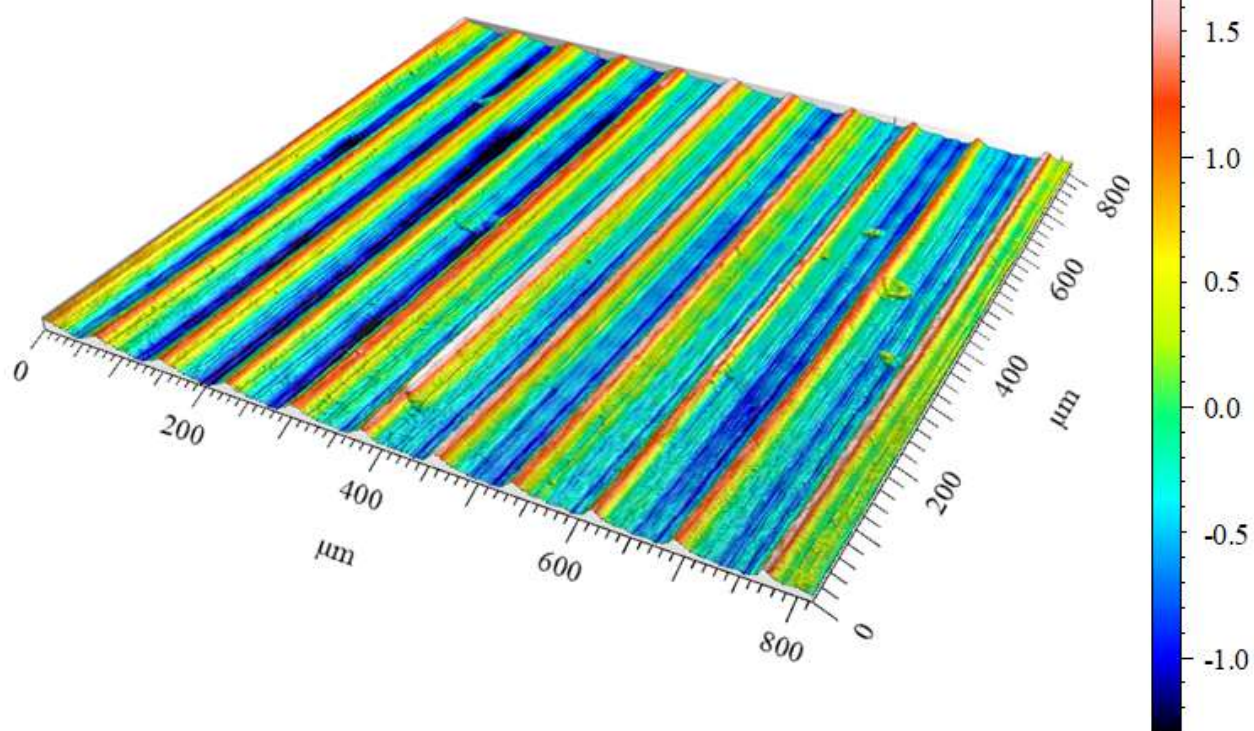
3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

3.1 Вимірювання шорсткості

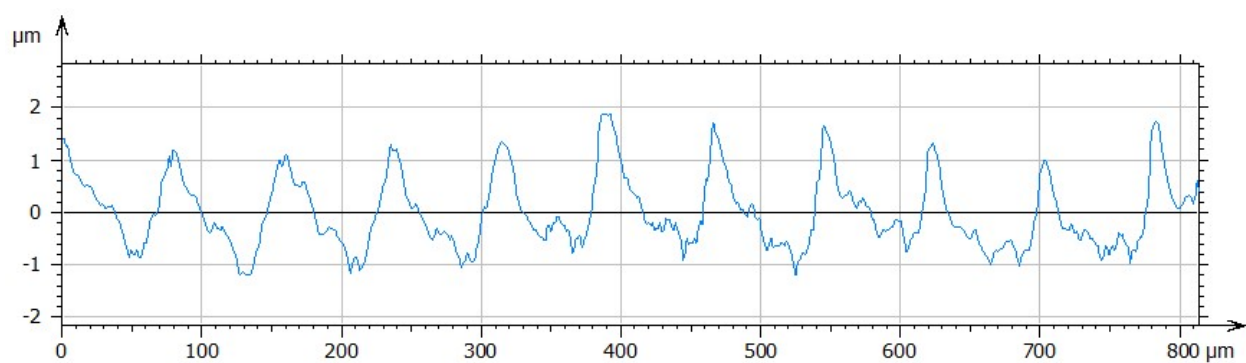
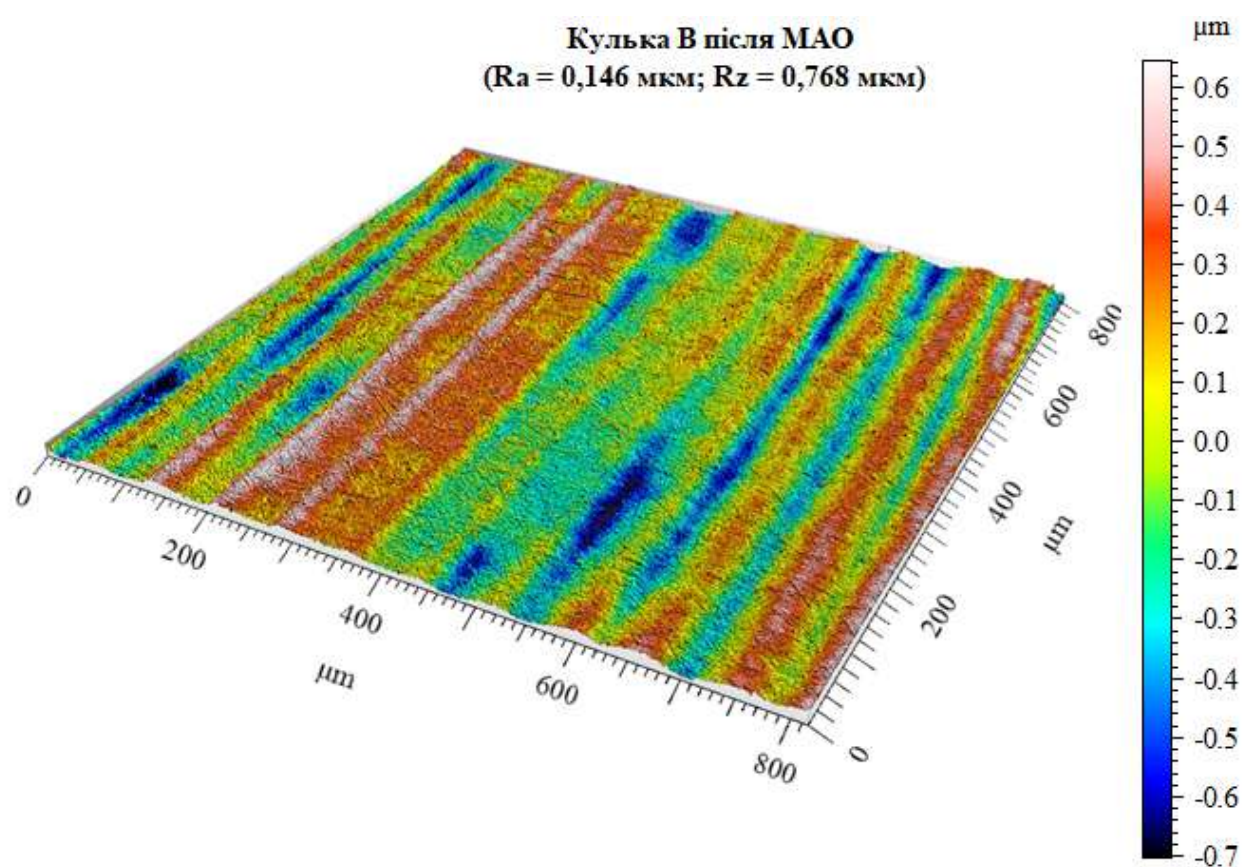
Зовнішній вигляд поверхні після МАП відрізняється характерним блиском. Сліди від точіння в більшій мірі видалені за рахунок згладження вершин нерівностей абразивними частинками. На кульках А-D біля хвостовика видно залишки канавок від токарного різця. Виступ на полюсі було згладжено. Через взаємодію заготовок з шліфувальним порошком були залишені нові подряпини, які натомість мають значно меншу глибину. Найбільше видалення матеріалу спостерігалось на пробній кульці F, яка довше інших перебувала в робочій зоні ванни. Сліди від попередньої обробки на ній були повністю видалені.

Якість поверхні після магнітно-абразивного полірування вимірювалося так само, як і після токарної обробки. Із зображень поверхні кулі і профілю шорсткості видно значне згладжування вершин нерівностей до їх повного вирівнювання. Проте, після фінішної операції все ще проявляються деякі нерівності у вигляді глибоких западин, залишених токарним різцем, як це видно на рисунку 3.1. Обробленій поверхні притаманні характерний блиск і гладкість. Подряпини, що залишилися після шліфувального порошку дрібні і лежать в межах до 100 нанометрів. Окрім цього все ж простежуються глибокі западини, залишені, вірогідно, після точіння.

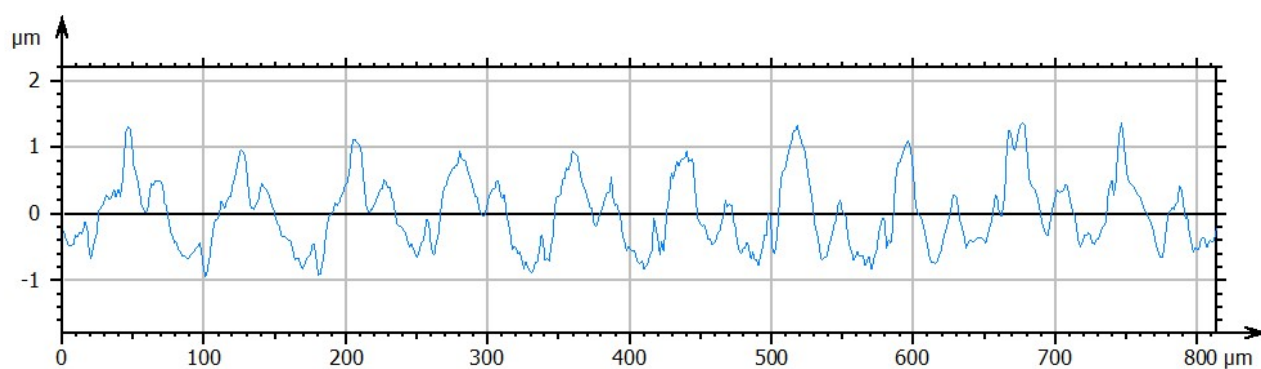
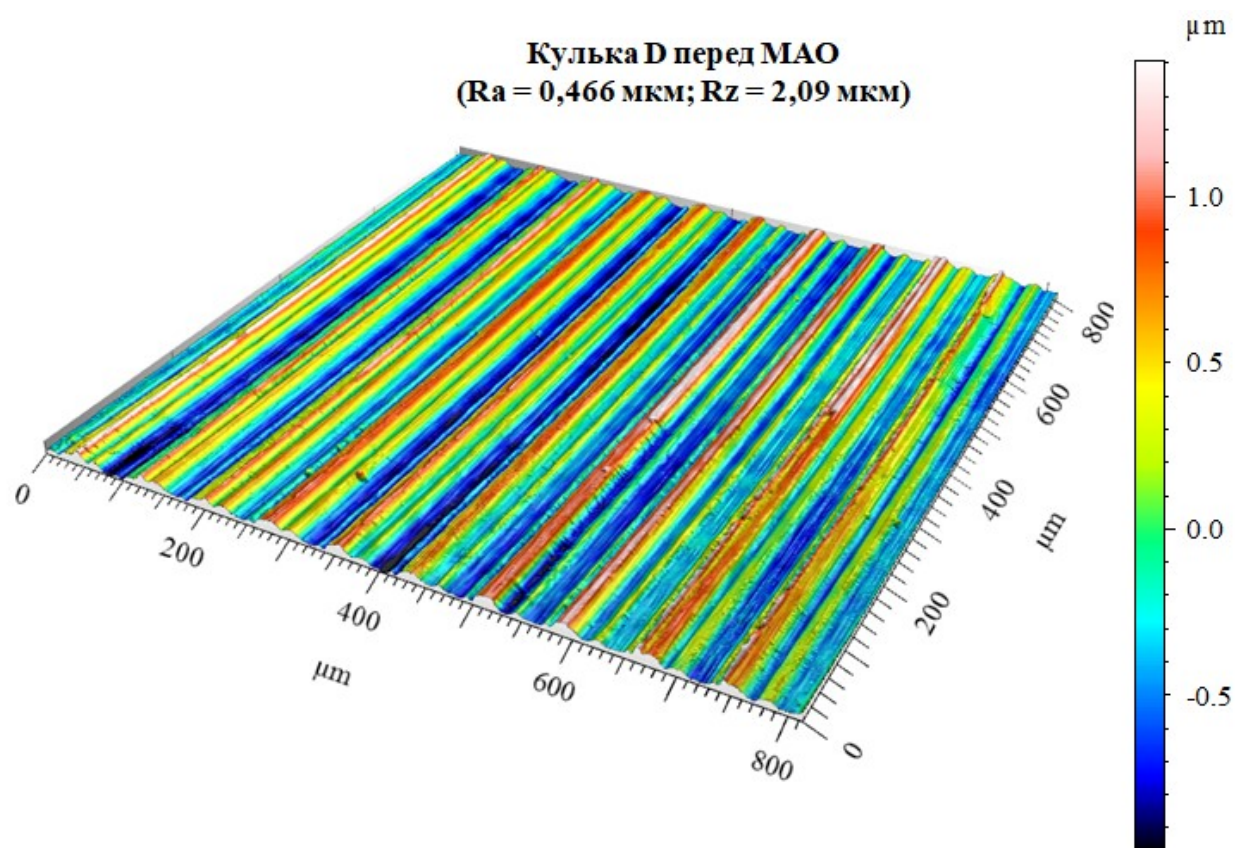
Кулька В перед МАО
($R_a = 0,578 \text{ мкм}$; $R_z = 2,69 \text{ мкм}$)

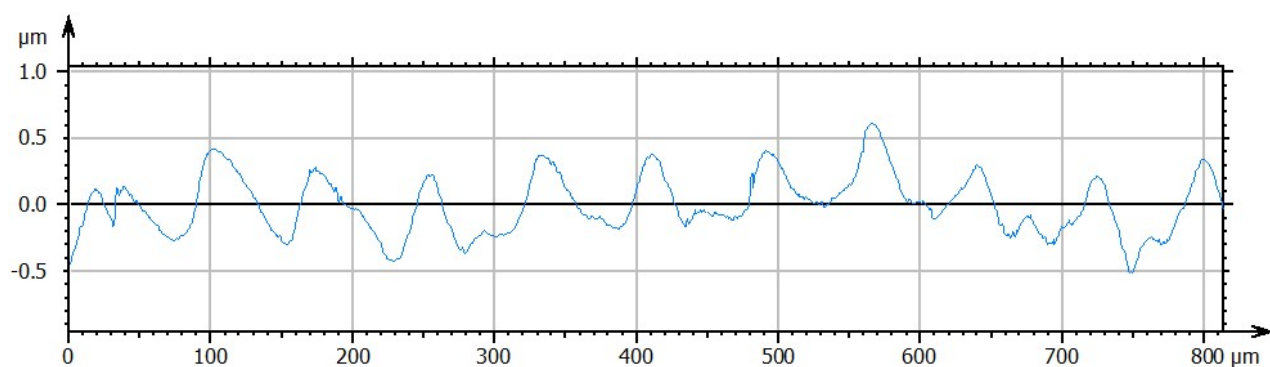
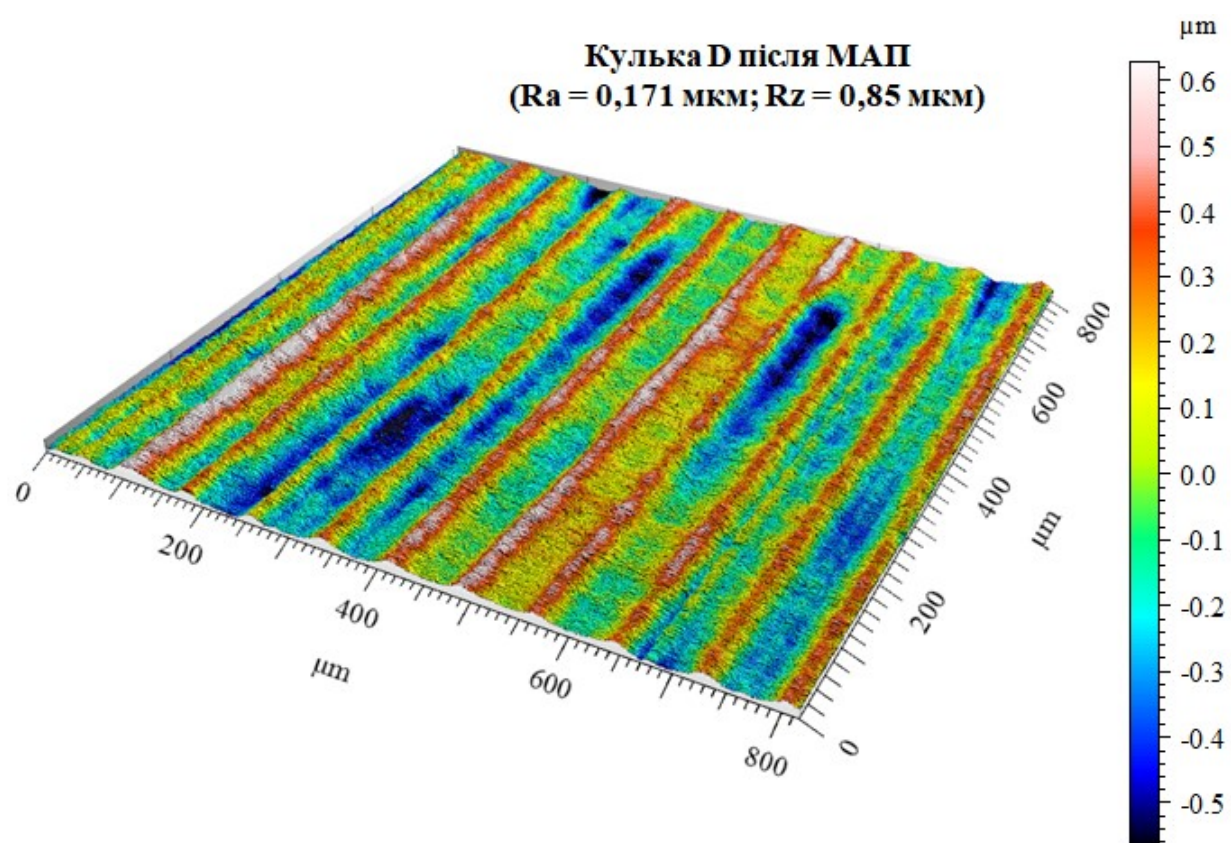


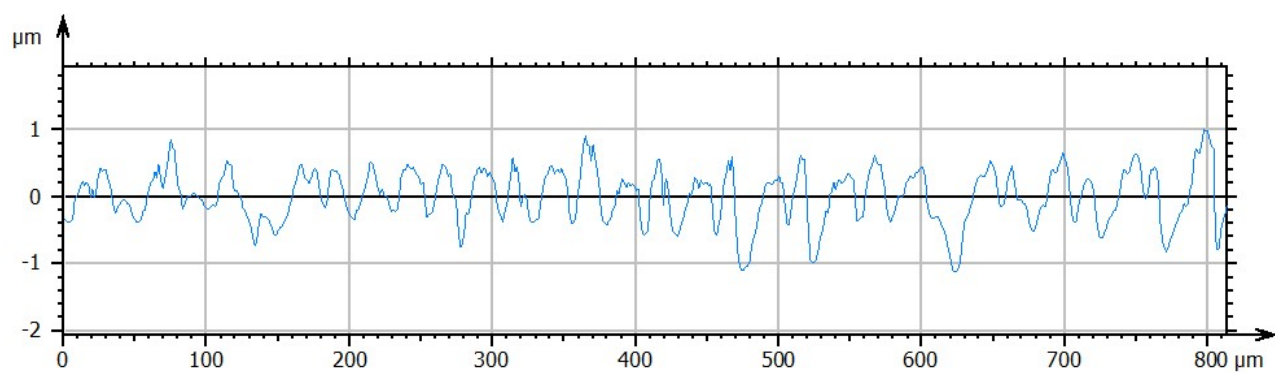
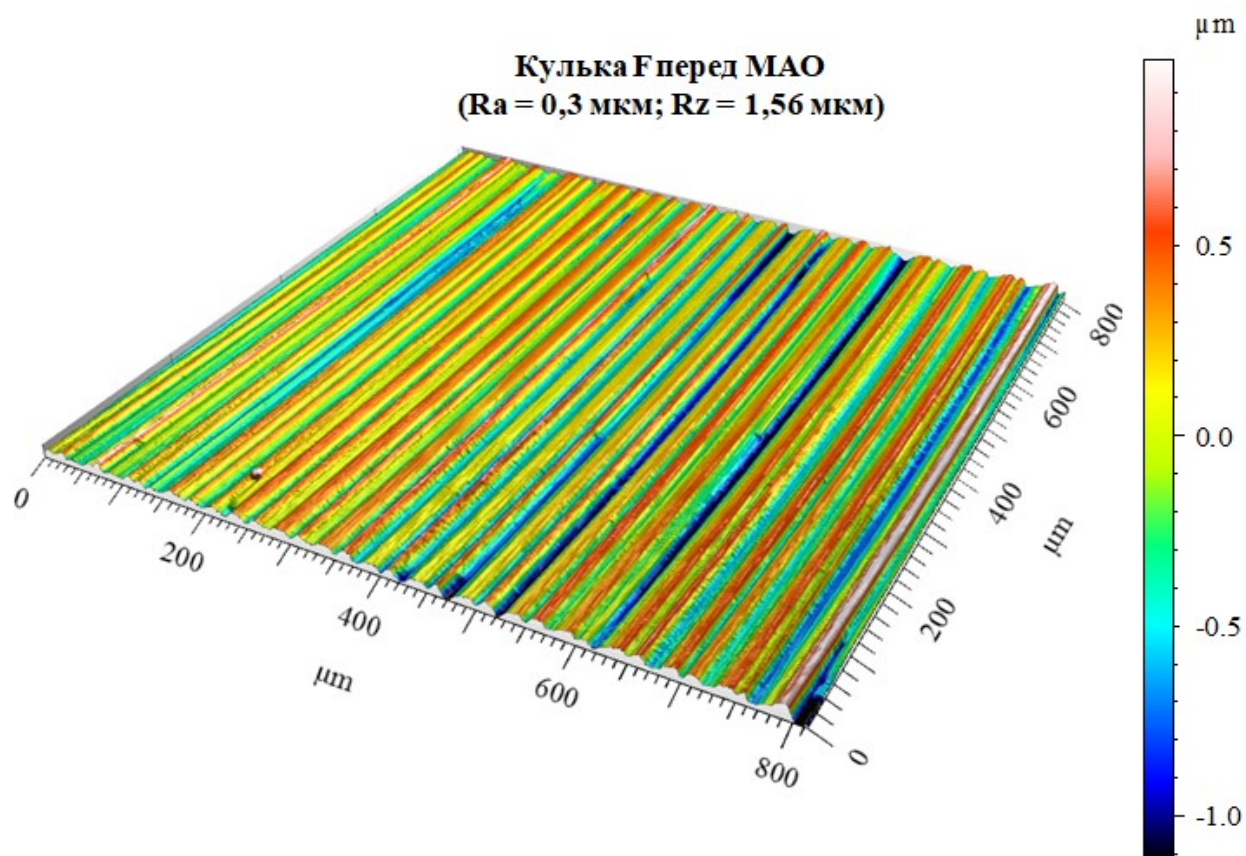
Кулька В після МАО
($R_a = 0,146 \text{ мкм}$; $R_z = 0,768 \text{ мкм}$)

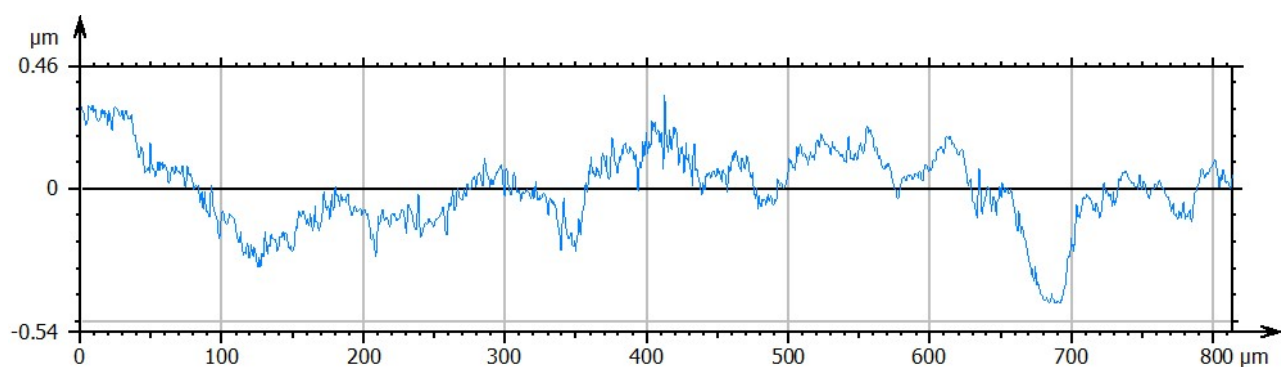
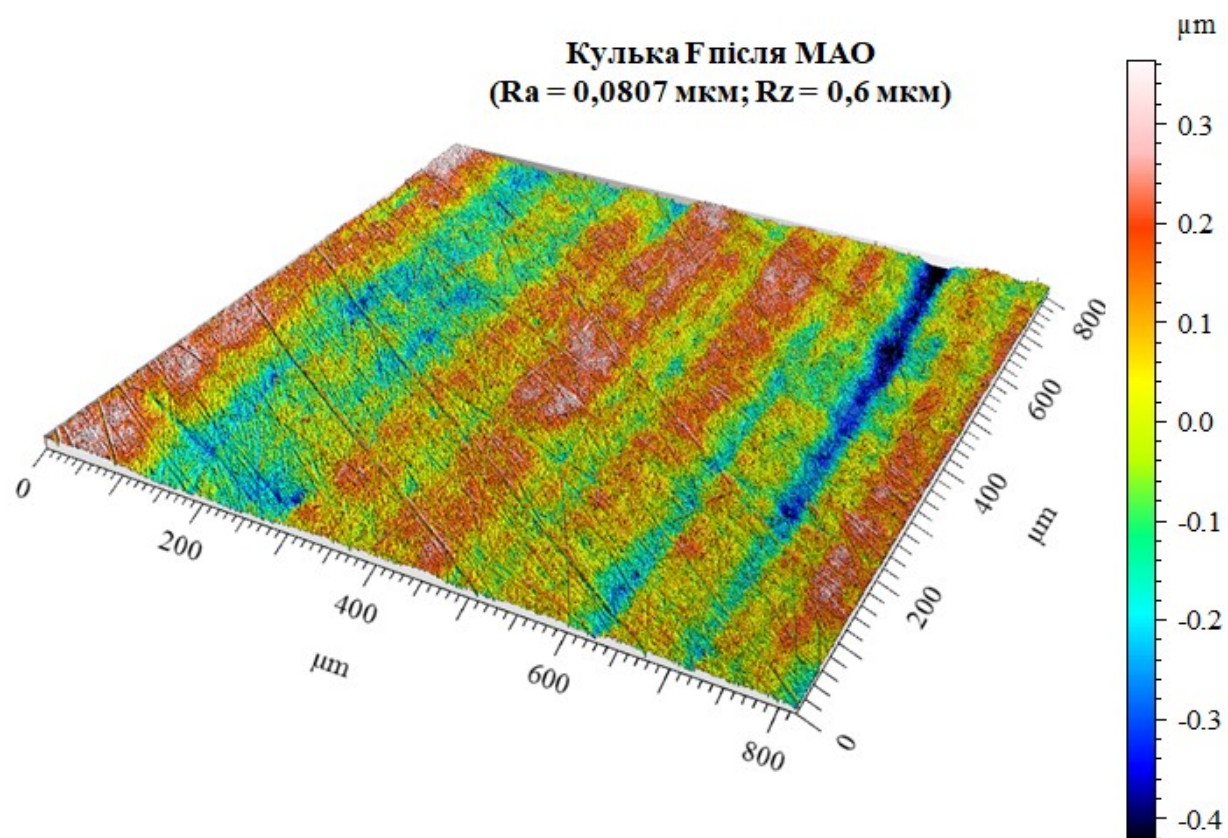


Кулька D перед МАО
($R_a = 0,466 \text{ мкм}$; $R_z = 2,09 \text{ мкм}$)









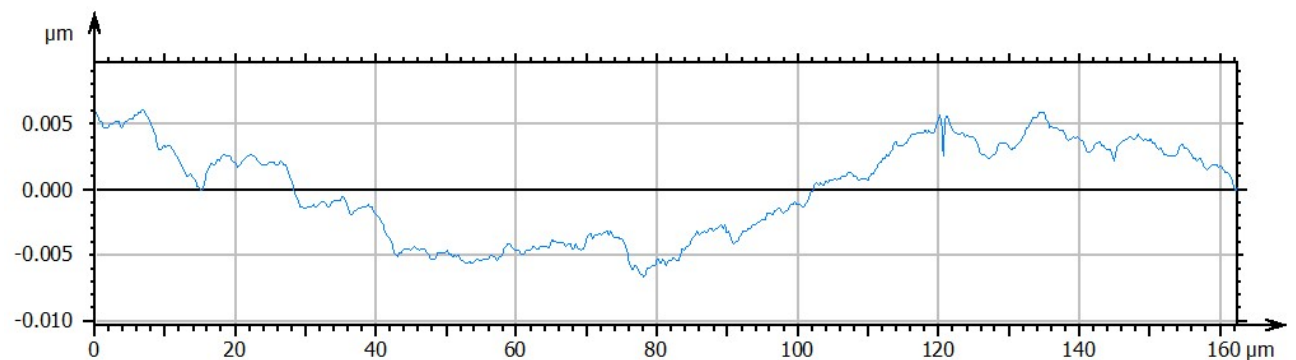
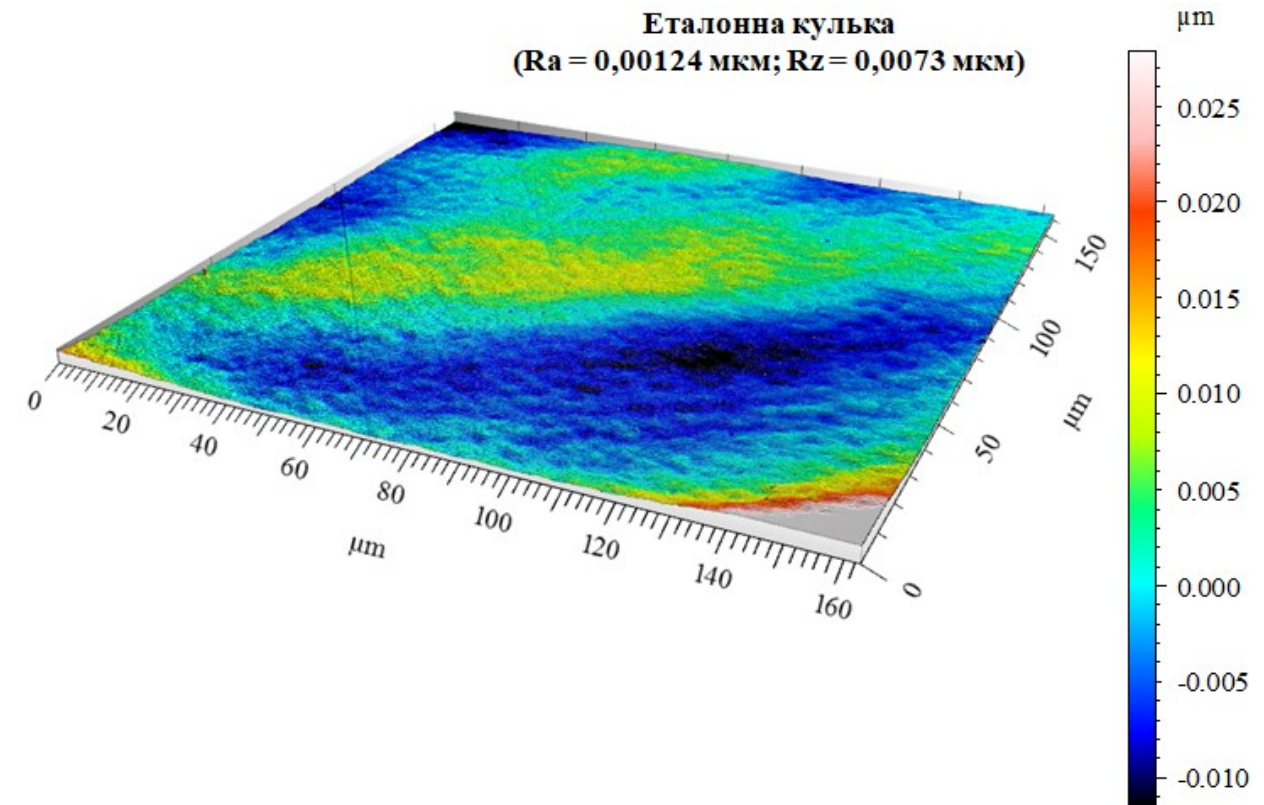


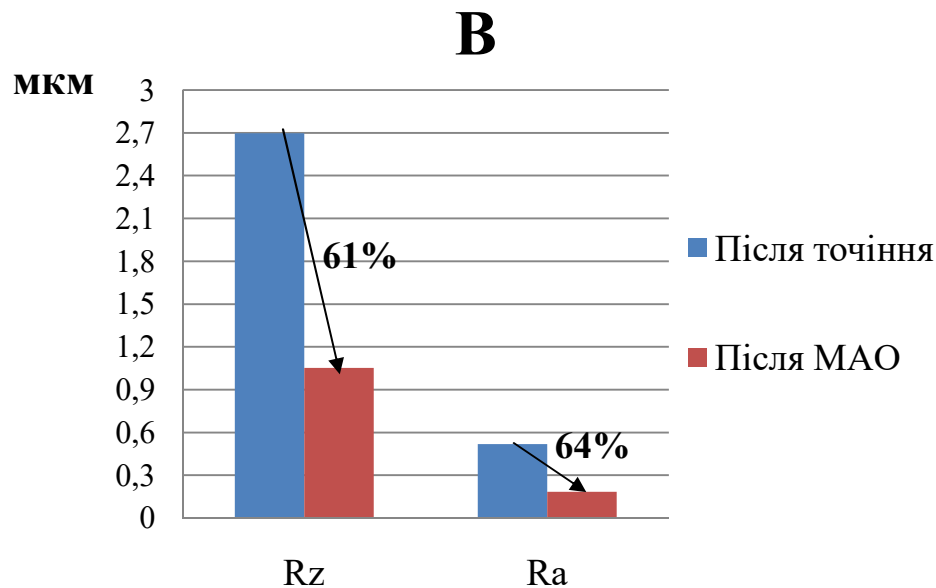
Рис. 3.1 – Топографія поверхні та профілограма для заготовок В, D та F

Середні значення параметрів шорсткості $R_z = 1,3266$ мкм і $R_a = 0,2693$ мкм. Найкращих результатів, як і очікувалось, вдалося досягти на заготовці F, середні значення шорсткості для якої не перевищували $R_z = 0,7015$ мкм та $R_a = 0,1068$ мкм.

Для порівняння шорсткість також вимірювалася на кульці, виготовленій компанією Mathys Ltd Bettlach. Її виготовлення, як правило, полягає в обробці галтуванням, після попереднього шліфування та фінішній поліровці вручну за допомогою спеціальних полірувальних тканин і полірувальних

паст. Середня шорсткість на її поверхні дорівнює для $R_z = 0,0116$ мкм, а для $R_a = 0,00148$ мкм. Відповідно до стандарту ISO 7206 параметр шорсткості R_a для сферичних поверхонь металевих компонентів не повинен перевищувати 0,05 мкм. Зміни значень R_a і R_z куль до і після МАП представлені для порівняння у вигляді гістограм на рис.3.2.

Схема магнітно-абразивного оброблення в кільцевій ванні дозволяє здійснювати фінішне полірування деталей складної форми в тому числі діаманетиків. За її допомогою можна досягти зменшення шорсткості більш як два рази. Для остаточної підготовки поверхні, яка б повністю відповідала вимогам стандарту для тазостегнових суглобів ISO 7206 та остаточного видалення виступу на полюсі сферичної частини необхідне застосування порошку з меншою зернистістю.



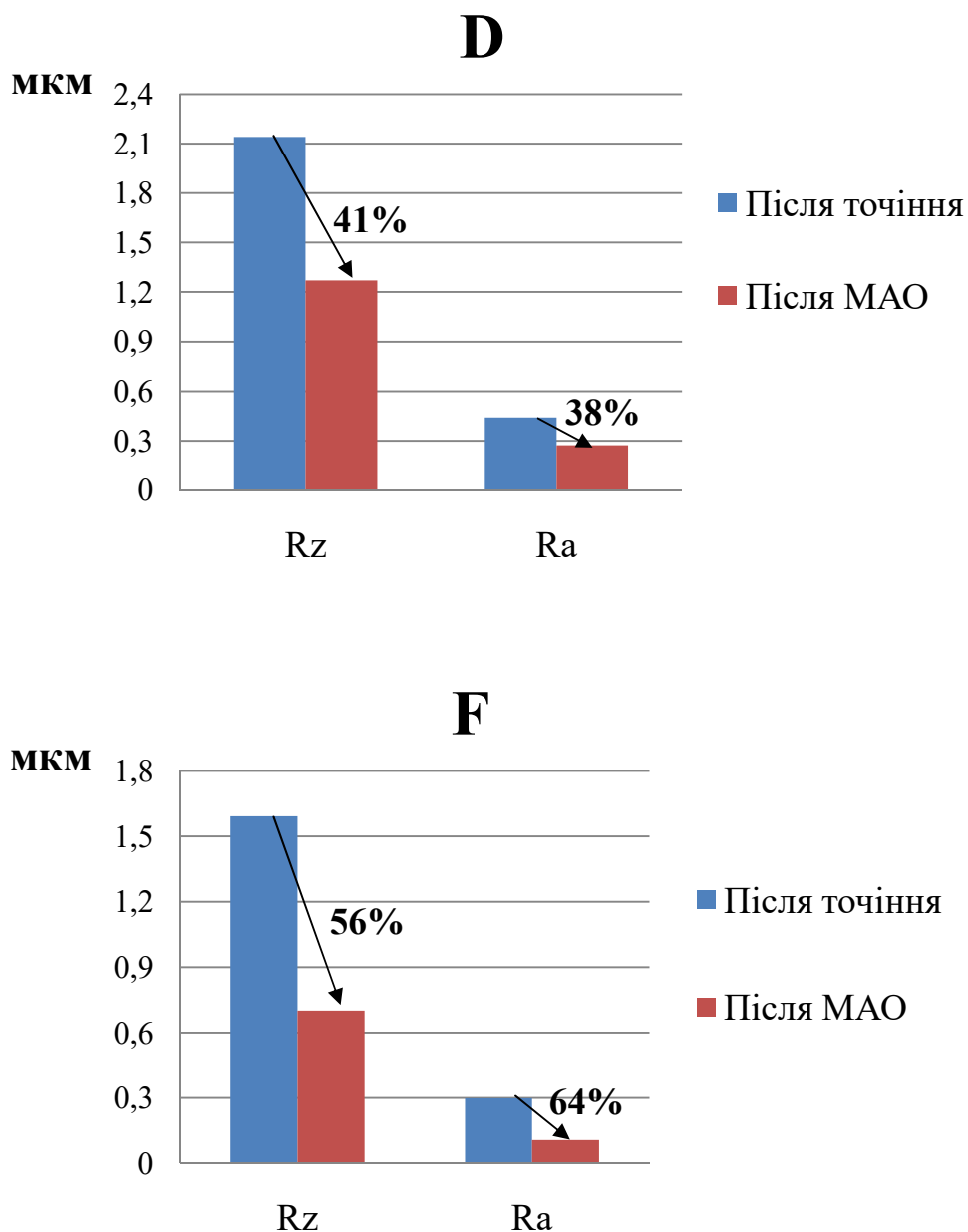


Рис. 3.2 – Порівняльні гістограми якості поверхні до та після MAO для ку-
льок B, D та F

3.2 Зміна маси деталі

Щоб оцінити масову і об'ємну частку видаленого матеріалу, заготовки зважувалися після кожного етапу обробки, а саме після точіння і MAO. Застосовувані ваги Sartorius A200S мають точність 0,1 мг з діапазоном вимірювання від 0 до 200 грамів. Знятий об'єм матеріалу був розрахований при при-

йнятій щільності оброблюваного кобальт-хромового сплаву $8,47 \text{ г/см}^3$. Всі результати, а також розміри ваги і обсягу були внесені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз масових параметрів заготовок

Заготовка	$m_{\text{після точ.}}, \text{ г}$	$m_{\text{МАО}}, \text{ г}$	Різниця, г	Знятого об'єму, см^3
A	126,0143	126,0071	0,0072	0,00085
B	125,8243	125,8169	0,0074	0,00087
C	126,0889	126,0821	0,0068	0,00080
D	125,8415	125,8349	0,0066	0,00078
F	125,7670	125,7382	0,0288	0,00340

Зразки A-D показали приблизно однакові зміни ваги та об'єму в середньому $0,007 \text{ г}$ і $0,00083 \text{ см}^3$ відповідно. Зразок F, який в ході налаштування верстату перебував в кільцевій ванні довше за інших і на поверхні якого в деяких місцях були повністю видалені сліди точіння, найбільше втратив у вазі (майже $0,03 \text{ г}$).

3.3 Вимірювання внутрішніх напружень

Для динамічно навантажених компонентів протезів основна увага при їх контролі приділяється в першу чергу внутрішнім напруженням. Так особливо небажаними є розтягуючі напруження, які є причиною зменшення втомної міцності та можуть провокувати розтріскування і швидке руйнування. Стискаючі напруження навпаки можуть перешкоджати поширенню незначного місцевого пошкодження поверхні і навіть підвищувати зносостійкість. Заготовці, що піддавалася процесу різання, зазвичай властиві стискаючі напруження в при поверхневій ділянці через пластично-еластичне пресування і деформування. Внутрішні напруження, що залишилися в кульках, контролювалися після кожного етапу обробки. Найкращі результати були порівняні з еталонною кулькою і представлені у вигляді гістограм на рисунку 3.3.

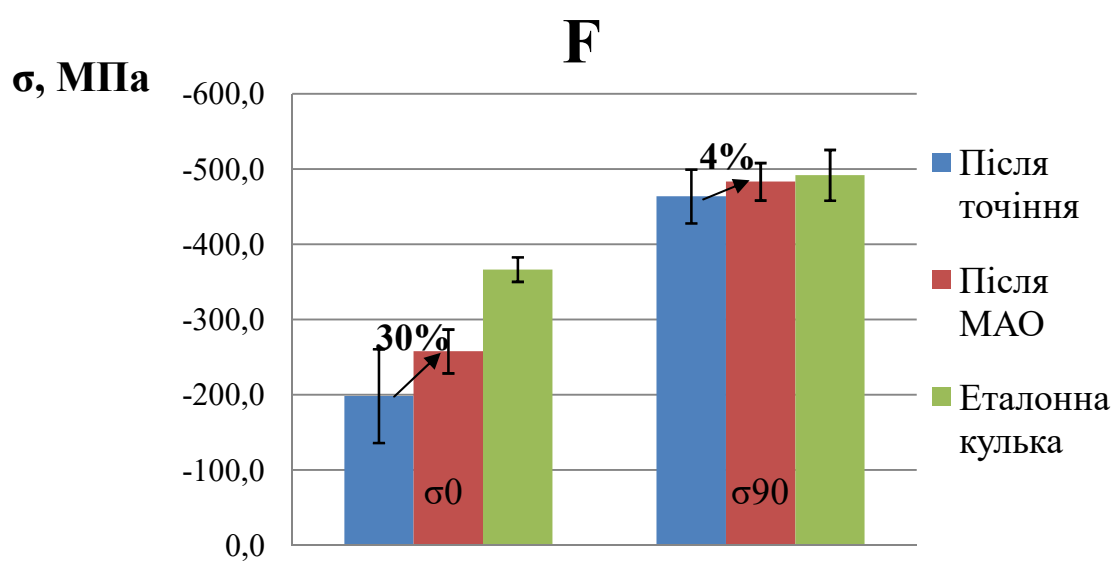
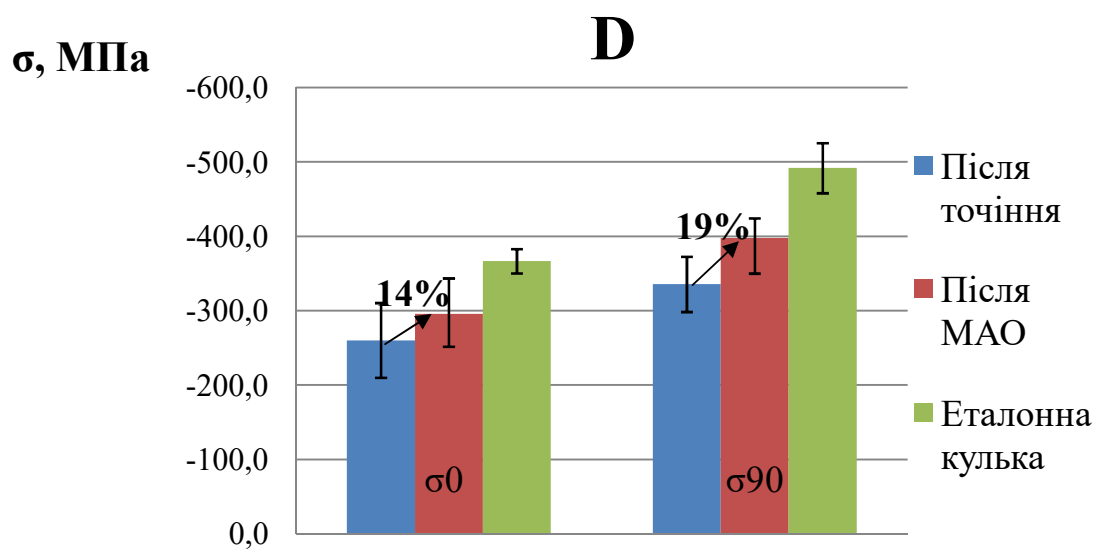
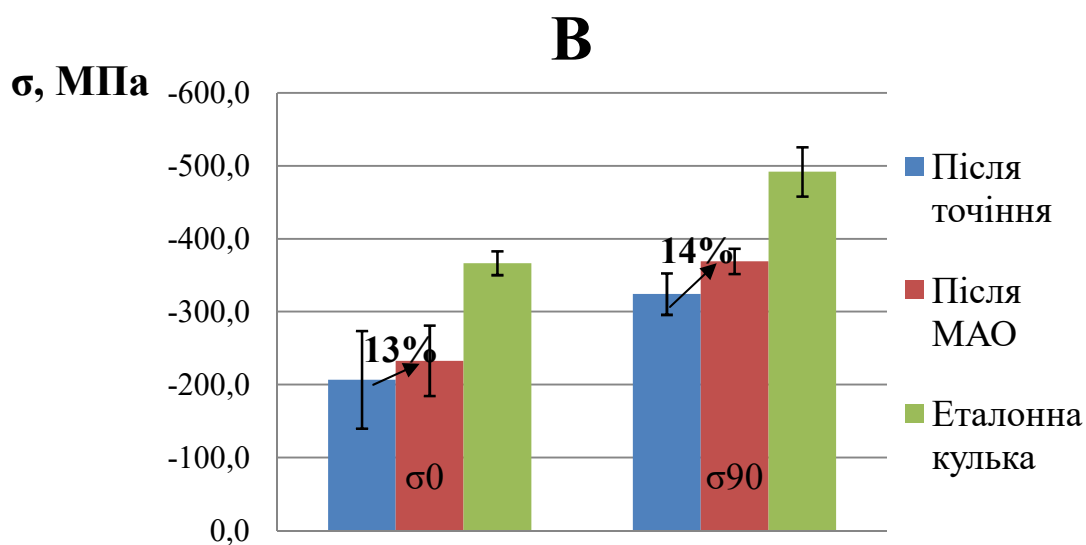


Рисунок 3.3 – Стискаючі напруження для кульок В, D і F в порівнянні з еталоном

Завдяки гістограмному представленню чітко видно, як змінюються внутрішні напруження під час обробки заготовок. Порівняльна кулька демонструє найбільші показники стискаючих напружень, які трохи нижче 400 МПа для 0-градусного напрямку і 500 МПа для 90-градусного напрямку. Значення стискаючих напружень, досягнутих після магнітно-абразивного полірування, варіюються від 200...300 МПа для σ_0 до 300...400 МПа для σ_{90} .

4 РОЗРОБКА START-UP ПРОЕКТУ

Задля вдосконалення та оптимізації процесу виготовлення сферичної головки тазостегнового суглобу було досліджено альтернативний спосіб фінішної обробки поверхні виробу, що стало основною ідеєю проекту.

Таблиця 4.1 – Опис стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Досліджуваний вид обробки може бути впроваджено в виробничий процес виготовлення імплантатів для ендопротезування багатьох пар тертя, що існують в організмі людини.	1. Виробничий процес виготовлення протезу кульшового суглобу.	Автоматизація виробництва. Зменшення кількості ручної праці і, відповідно, собівартості кінцевого виробу. Покращення характеристик поверхневого шару та надійності деталей.
	2. Процес виготовлення компонентів колінного суглобу.	
	3. Зняття задирок та згладжування гострих країв елементів кріплення при ендопротезуванні.	

Процес виготовлення таких виробів на всесвітньовідомих фірмах, таких як MATHYS, LINK тощо є відлагодженим та послідовним циклом, який щоправда, як і будь-які процеси, може бути оптимізовано. Нижче в таблиці 4.2 наведені переваги та недоліки описаного методу на відміну від наявних у виробництві.

Таблиця 4.2 – Сильні, слабкі та нейтральні сторони методу

№ п/ п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Концепції виготовлення			W	N	S
		Досліджува- ний метод	Технологія конкурен- та 1	Технологія конкурен- та 1			
1	Універсальність	MAO	MATHYS	LINK			+
2	Автоматизованість						+
3	Економічність				+		
4	Ефективність						+

Наявність технологій, що постійно розвиваються дозволяє виготовляти деталі з необхідною варіацією властивостей, які може запропонувати той чи інший метод. Тому для конкретної задачі необхідний індивідуальний підхід, який враховуватиме усі особливості експлуатації.

Таблиця 4.3 – Технологічна реалізація проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології і реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Отримання заготовки	Кування	Наявні	Так
		Лиття	Наявні	Так (отримана мікро- структура виробу може негативно впливати на стійкість)
		Адитивне ви- робництво	Наявні	Так (але висока вар- тість обладнання та си- ровини, неоднорідні властивості деталі)
2	Лезова обро-	Точіння	Наявні	Так

	бка	Фрезерування	Наявні	Так
3	Фінішні операції	МАО	Наявні	Так
		Полірування вручну	Наявні	Так (низька продуктивність, висока ймовірність браку)
		Галтування	Наявні	Так (вільні абразивні частинки не мають достатньої жорсткості)
Обрана фінішна технологія обробки для реалізації проекту: МАО				

Виходячи з проведеного аналізу можна зробити висновок, що будь-які розглянуті технології реалізації потенційно можуть бути використані у виробничому процесі. При цьому, якщо говорити про найоптимальніший метод фінішного оброблення з урахуванням всіх особливостей конкуруючих методів було обрано магнітно-абразивне оброблення, як найбільш оптимальне.

Потенційними перешкодами на шляху реалізації проекту можуть бути усталені етапи виробництва, які є простішими в реалізації, проте менш продуктивними та надійними.

Таблиця 4.4 – Характеристика ринкового потенціалу

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продажу, грн./ум.од	інформація відсутня
3	Динаміка ринку	зростає
4	Наявність обмежень для входу	Метод може застосовуватись при необхідності автоматизації виробництва та заміни ручної праці

5	Специфічні вимоги до стандартизації та специфікації	Поліровані вироби повинні відповідати стандартам та вимогам до компонентів медичного призначення, зокрема ISO 7206
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	20-25%

Оцінивши можливий потенціал технології на ринку можна дійти висновку, що її входження можливе, проте за умови відповідності кінцевих виробів міжнародним стандартам.

Задля інтеграції у виробничий ланцюг також необхідно провести оцінку потенційних клієнтів та галузей де дана методика є затребуваною (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Оцінка потенційних напрямків розвитку

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп	Вимоги споживачів до товару
1	Заміна ручної праці при фінішній обробці компонентів протезів	Ручні методи полірування	1. Складність в налаштуваннях 2. Продуктивність при серійному виготовленні компонентів	Відповідність приповерхневих характеристик виробу стандартам ISO
2	Автоматизація виробництва	Багатоцільовий виробничий процес	3. Заміщення окремих ланок виробництва та	Підвищення продуктивності процесу виготовлення

			об'єднання декількох переходів в одну ступінь	
--	--	--	---	--

Для запобігання ризиків та скорочення витрат при появі проблемних місць пов'язаних з ними не можна також ігнорувати можливі загрози в ході розробки проекту. Для їх аналізу зазвичай проводиться огляд факторів впливу (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Аналіз факторів можливих загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуруючі дешевші методи обробки	Адаптація підприємств до усталених методів обробки та небажання в модернізації підприємства	Підтвердження ефективності методу шляхом відповідних дослідів та експериментів та його популяризація шляхом реклами для зацікавлених підприємств.
2	Проблема відповідності готових виробів стандартам	Оцінка технічних вимог до медичних виробів та переймання досвіду міжнародної стандартизації	Детальне вивчення вимог до виробів медичного призначення та опробування методу за всіма критеріями норм виготовлення подібних компонентів
3	Відсутність компаній-	Основною цільовою	Впровадження мето-

	виробників на території України	групою будуть іноземні компанії, що виготовляють компоненти протезів.	ду до іноземних компаній з можливістю відкриття їх філій в Україні. Поява вітчизняних виробників та орієнтація на їх розвиток
--	---------------------------------	---	---

Для впровадження методу до іноземних компаній необхідно дійти чіткого переконання при його виборі. Фактори можливостей дозволяють окреслити всі його переваги (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Відсутність аналогів	Створення унікальної пропозиції та відкриття нових можливостей в медичній промисловості.	Популяризація технології та за рахунок цього зростання попиту
2	Виробничі можливості та функціональність методу	Можливість пристосування параметрів обробки відповідно вимогам до готового продукту. Автоматизація виробництва шляхом створення автоматизованих ліній.	Отримання гладких поверхонь з необхідними параметрами при поверхневого шару. Полегшення адаптації виробництва до змін в технічних вимогах.
3	Індивідуалізація в за-	Окремі параметри та	Реалізація індивідуа-

	лежності від компоненту протезів	властивості для кожної деталі імплантованої системи	льного підходу, що наділятиме окремі компоненти необхідними властивостями
--	----------------------------------	---	---

Для остаточного затвердження проекту необхідно провести аналіз методів-конкурентів, а також передбачити можливі шляхи протидії компанії/підприємства для збереження показників конкурентоспроможності (табл. 4.8, 4.9).

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Прояви даної характеристики	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії для збереження конкурентоспроможності)
1. Тип конкуренції - монополія	Глобальний вплив одного методу обробки, обмежена можливість заміщення з причини усталеного ланцюга виробництва	Популяризація методу шляхом збільшення спектру досліджуваних матеріалів та дослідження нових можливостей. Активне використання інструментів просування.
2. За рівнем конкурентної боротьби - глобальний	На ринку існують компанії та виробники, що використовують досить примітивні методи обробки, які добре зарекомендували себе своєю простотою та деше-	Найпершим кроком цінових та маркетингових інструментів ринку будуть співпраця з компаніями, які зацікавлені в створенні більш конкурентоспроможної продукції

	визною.	шляхом адаптації та оптимізації свого виробництва.
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Конкуренція з методами обробки що пропонують схожі результати полірування складних поверхонь.	Індивідуальний підхід до процесу поліровки з забезпеченням відповідної якості обробки
4. Конкуренція за видами товарів - товарно-видова	Конкуренція між виробами одного виду та призначення	Підвищення конкурентоспроможності за рахунок поліпшення якості виробів
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Висока вартість кінцевого виробу тягне за собою конкуренцію в ціні, яка підвищується унікальністю технології.	Доцільним буде адекватне рішення стосовно витрат на виробництві та розумного розподілу ресурсів, як людських так і машинних.
6. За інтенсивністю - не марочна	Конкуренція не залежить від бренда, а базується на співвідношенні ціни та якості.	Виготовлення виробів, котрі за співвідношенням ціни та якості будуть користуватися попитом у споживачів.

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі Ручне полірування, галтування	Потенційні конкуренти Відсутні	Постачальники	Клієнти Фірми-виробники компонентів протезів	Товари заміники Відсутні
	Головними конкурентами є методи, що забезпечують схожі результати обробки.	Складність у пристосуванні технологій до високих вимог стандартів.	Силою постачальників є зниження якості порошку, підвищення його ціни та зменшення обсягу поставок.	Вплив споживачів низький оскільки продукт технологічний.	Замінники відсутні.
Висновки	Інтенсивність конкурентної боротьби.	Головною проблемою у виході на ринок є складність сертифікації та відповідності вимогам стандартів.	Постачальники абразивного порошку відіграють важливу роль, оскільки безпосередньо впли-	Раціональний розподіл ресурсів на фірмах-клієнтах може вплинути на вартість.	Основною проблемою є не заміники, а наявність сертифікації.

			вають на ціну та те- рміни ви- готовлен- ня.		
--	--	--	--	--	--

В ході аналізу конкуренції (табл. 4.8) та характеристик ідеї проекту (табл. 4.2), вимог клієнтів до товару (табл. 4.5), а також факторів загроз та можливостей (табл. 4.6 та 4.7) потрібно визначити та обґрунтувати перелік факторів конкурентоспроможності (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкретних проектів значущим)
1.	Індивідуальний підхід	Можливість налаштування параметрів обробки в залежно від специфіки виробу.
2.	Вартість	Вартість мінімізується за рахунок заміщення ручної роботи та скорочення додаткових витрат.
3.	Технологічні можливості	Обробка складних поверхонь з налаштуванням інтенсивності взаємодії інструменту та заготовки.

Заключним етапом ринкового аналізу можливостей введення проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких сторін (Weak), загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділе-

них ринкових загроз та можливостей (4.11) включно з сильними та слабкими сторонами.

Список ринкових загроз та можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та можливостей маркетингового простору. Загрози ринку та його можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і на відміну від них досі не відтворені на ринку та прогнозується певна можливість їх здійснення. Наприклад: зменшення прибутку потенційних споживачів – фактор загрози, основою якого можна зробити прогноз щодо посилення ваги цінового фактору при виборі товару та відповідно – цінової конкуренції – загроза ринку.

Таблиця 4.11 – SWOT - аналіз проекту

Сильні сторони: - Унікальність - Низька вартість та точність - Можливість автоматизації - Індивідуальний підхід	Слабкі сторони: - збитковість на початкових етапах - довготривала підготовка виробництва
Можливості: - вдосконалення за рахунок розширеного спектру можливостей - вихід на міжнародний ринок - модифікація методу з додаванням коливань різних видів	Загрози: - Недостача у фінансуванні - Не проходження сертифікації

Розробка ринкової стратегії полягає в першочерговому визначенні 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
Підприємства-виробники компонентів імплантатів	Готові (проблема полягає в усталених формах виробництва)	Попит зростає з розвитком та стандартизацією нових методів фінішного оброблення.	На світовій арені - висока. В Україні – майже відсутня, пояснюється відсутністю конкурентоспроможних підприємств-виробників.

Першим кроком маркетингової програми стартап-проекту є створення маркетингової концепції товару, що отримує споживач. Для цього проводиться підсумок результатів попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 – Встановлення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Заміщення людської праці та менш ефективних методів	Машинне оброблення з контрольованими параметрами та високою ефективністю	
2	Автоматизація	Можливість ство-	

	виробництва	рення безперебій- них автоматичних ліній виробництва	
--	-------------	--	--

В подальшому створюють трирівневу маркетингову модель товару, що складається з: уточнення ідеї продукту, його фізичних складових, особливостей процесу надання (табл. 4.14)

Таблиця 4.14 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Товар здатний й витримувати динамічні навантаження, стійкий до впливу агресивного середовища, має задовільні трибологічні властивості
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Технологічні – відповідність нормам витривалості виробів з металу з дотриманням відповідних показників стискаючих напружень.
	2. Біосумісність – стійкість до корозії та відсутність зон її можливої концентрації
	3. Трибологічні – низьке значення шорсткості та відхилень форми
III. Товар з підкріпленням	Якість: стандарт ISO 7206
	Марка: Головка кульшового суглобу
	До продажу – Повний цикл виготовлення у відповідності до існуючих стандартів. Контроль якості
	Після продажу – Спостереження за реакцією організму, Супровід.

Після закінчення проекту його буде захищено комбінацією властивостей та характеристик, які ґрунтують другий та третій рівні товару.

В ході комплексного аналізу ринку та продукту проекту встановлено, що на ринку спостерігається динаміка зростання попиту на подібні товари, які можуть бути виготовлені більш продуктивно та якісно магнітно-абразивним методом та сприяти зменшенню їх вартості. Купівельна спроможність жителів України хоч і залишається нижчою в порівнянні з західними країнами, проте дозволяє утримувати попит на продукцію даного типу на досить високому рівні. Зниження вартості за рахунок зменшення витрат на виробництво, дозволить зацікавити більше підприємств у впровадженні даного методу для утримання конкурентної ціни на ринку.

5 ВИСНОВКИ ЗА РОБОТОЮ

Дослідження показало, що магнітно-абразивний процес полірування, який до цього вже довів свою ефективність при обробці феромагнітних матеріалів, також може стати частиною виробничого ланцюга медичних імплантатів з немагнітних матеріалів, таких як кобальт-хром. Значне поліпшення якості поверхні заготовки складної форми доводить рисунок 5.1, на якому під однією шкалою об'єднані зображення нерівностей після точіння та після досліджуваного методу обробки. Все це говорить про перспективу методу і необхідність подальших досліджень в цьому напрямку.

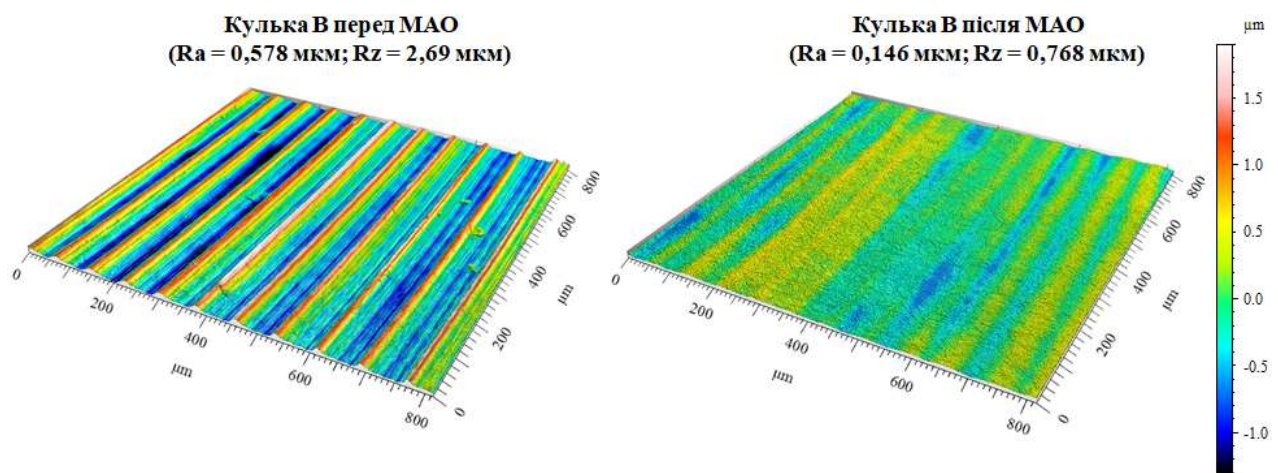


Рисунок 5.1 – Порівняння топографії поверхні кулі В при спільній кольоровій шкалі

Тенденція зміни напружень вказує на те, що при подальшому поліруванні можуть бути досягнуті ті ж значення, що і для еталонної кулі. Для того щоб поверхня була повністю придатна і в повній мірі відповідала стандарту ISO 7206, а виступ після точіння на полюсі кульки був повністю видалений, доцільним буде остаточне вигладжування порошком з меншою зернистістю. Для тих же цілей буде також доцільним більш детальний підбір та калібрування налаштувань верстату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Інтернетсторінка: <http://www.orthomaterials.com/>;
- [2] Alborz Shokrania, Vimal Dhokia, Stephen T, Newman “Cryogenic high speed machining of cobalt chromium alloy” University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom
- [3] Інтернетсторінка: <https://gelenk-klinik.de/kniegelenk/knieschmerzen-symptomchecker.html>;
- [4] YoungChan Song, Chun-Hong Park, Toshimichi Moriwaki “Mirror finishing of Co–Cr–Mo alloy using elliptical vibration cutting” South Korea, Japan
- [5] K. Fathima, M. Schinhaerl, A. Geiss, R. Rascher, P. Sperber “A knowledge-based feed-back control system for precision ELID grinding” University of Applied Sciences Deggendorf, Edlmairstr, 94469 Deggendorf, Germany
- [6] Hiroshi Kotani, Jun Komotori, Masayoshi Mizutani, Tetsuya Naruse, Kazutoshi Katahira and Hitoshi Ohmori “Surface finishing and modification for cobalt-chromium-molybdenum alloy by electrolytic in--process dressing (ELID) grinding”, Japan
- [7] Aliakseyeu Yu. G., Korolyov A. Yu., Niss V. S. “Electrolytic-plasma polishing of cobalt-chromium alloys for medical products”, Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series, 2019, vol. 64, no. 3, pp. 296–303
- [8] Asja Celebic, Vesna Svetlicic, Jadranka Malina and Boris Klaic “Co-Cr-MO alloy surface features and composition prior and after mechanical polishing and corrosion in fluids simulation in fluids simulating oral conditions”, Croatia
- [9] C. Tournier, C. Iabassene, A. Guiot and Y. Quinsat “Grinding of medical implants in cobalt-chromium alloy”, France

- [10] Arthur A. Graziano, Vasishta Ganguly, Tony Schmitz, Hitomi Yamaguchi Control of Lay on Cobalt Chromium Alloy Finished Surfaces Using Magnetic Abrasive Finishing and I'ts Effect on Wettability, USA, 2014
- [11] A. Kevser Aydin, D.D.S., Ph.D. Evaluation of finishing and polishing techniques on surface roughness of chromium-cobalt castings, University of Ankara, Faculty of Dentistry, Ankara, Turkey
- [12] Baron, Y.: Magnetisch-abrasive Bearbeitung von Bauteilen und Werkzeugen, Maschinostroenie, Leningrad, 1986 (in russ.)
- [13] Інтернетсторінка Fa. Vogel: <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/individuelle-knie-implantatein-rekordzeit-a-343139/>;
- [14] Інтернетсторінка Zeitschrift Werkstatt + Betrieb: <https://www.werkstatt-betrieb.de/a/fachartikel/schneller-zum-knie-147824>;
- [15] Інтернетсторінка MAV: <https://mav.industrie.de/peripherie/anlagen-verfahren/gleitschleiftechnologie-fuer-die-bearbeitung-von-implantaten>;
- [16] Інтернетсторінка Portal DeviceMed: <https://www.devicemed.de/implantate-messen-a-372082/>;
- [17] Інтернетсторінка Fa. Forginal Medical: <https://www.forginal-medical.com/de/unser-know-how/schmieden-von-medizinprodukten/>;
- [18] E. Wintermantel und S.-W. Ha, Medizintechnik - Life Science Engineering, Berlin: Springer, 2008.
- [19] Deutsches Institut für Normung, DIN ISO 5832-4/12 Chirurgische Implantate-Metallische Werkstoffe, Beuth, 2017.
- [20] Maria Cristina Tanzi, Silvia Farè, Gabriele Candiani Biomaterials and Applications Chapter-4
- [21] S.-W. Ha, E. Wintermantel Medizintechnik, 5. überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [22] Peter R. Sahm, Ivan Ergy, Thomas Volksmann (Hrsg.) Schmelze, Erstarrung, Grenzflächen: Eine Einführung in die Physik und Technologie flüssiger und fester Metalle – Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1999

- [23] Інтернетсторінка All-electronics: <https://www.all-electronics.de/elektronik-entwicklung/3d-konfokalmikroskop-fuer-verschiedene-materialien.html>
- [24] Lothar Spieß, Gerd Teichert, Robert Schwarzer, Herfried Behnken, Christoph Genzel Moderne Röntgenbeugung: Röntgendiffraktometrie für Materialwissenschaftler, Physiker und Chemiker. 2., 3. Auflage – GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2019
- [25] Майборода, В.С. Магнитно-абразивная обработка деталей с консольным закреплением на установке типа кольцевая ванна [Текст] / В.С. Майборода, В.М. Гейчук //Машиностроение и техносфера XXI века Сборник трудов XVII Междунар. научно-техн. конф. Том 2. – Севастополь, 2010.
- [26] Byelyaev, O. Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung. Dissertation Dr.-Ing. – Magdeburg, Germany, 2008
- [27] Кінетика формування кромки кінцевого різального інструменту при магнітно-абразивному обробленні в магнітній системі типу “кільцева ванна” [Текст] / В.С. Майборода, В.М. Гейчук, О.С. Клишта, О.А. Беляев // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: збірник наукових праць – Вип. 7. – 2009.
- [28] Майборода В.С. Аналіз умов магнітно-абразивного оброблення багатограних непереточуваних пластин при їх доцільному розташуванні в робочих зонах установки типу кільцева ванна /В.С.Майборода, Д.Ю.Джулій //Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського. 2008
- [29] Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітноабразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь. Дисертація докт.техн.наук. – Київ, 2001.
- [30] Майборода, В.С. Формування магнітно-абразивного інструменту в кільцевих щілинах з різною формою поперечних перерізів робочих зон при магнітно-абразивній обробці кінцевих та осьових інструментів

- [Текст] / В.С. Майборода, В.М. Гейчук, О.А. Івановський // Вестник национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт." Машиностроение. – Вып. 49. – 2006
- [31] William Murphy, Jonathan Black, Garth Hastings Handbook of Biomaterial Properties. Second edition – Springer, New York, 2016
- [32] Lothar Spieß, Gerd Teichert, Robert Schwarzer, Herfried Behnken, Christoph Genzel Moderne Röntgenbeugung: Röntgendiffraktometrie für Materialwissenschaftler, Physiker und Chemiker. 2., 3. Auflage – GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2019
- [33] Scharnweber, D., Kujat, R., Müller, R., Abke, J., Schnell, E., Englert, C., Influence of surface pretreatment of titanium—and cobalt-based biomaterials on covalent immobilization of fibrillar collagen, Biomaterials 27, 2006
- [34] Guala, C., Faga, Spriano, S., Vernè, E., Surface modification of cobalt alloys for articular prostheses – J Bone Joint Surg, 2009
- [35] Deutsches Institut für Normung DIN EN ISO 4287 Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit, 2010
- [36] Cheng Yin, Lida Heng, Jeong Su Kim, Min Soo Kim and Sang Don Mun Development of a New Ecological Magnetic Abrasive Tool for Finishing Bio-Wire Material – Chonbuk National University, 664-14, Duckjin-gu, Jeonju 561-756, Korea, 2019
- [37] Wenlong Li, Yan Chen, Miao Cheng and Yini Lv Effect of Magnetic Head Shape on Processing of Titanium AlloyWire by Magnetic Abrasive Finishing – University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051, China, 2020
- [38] Anwesa Barman, Manas Das Toolpath generation and finishing of bio-titanium alloy using novel polishing tool in MFAF process – London Ltd. 2017

- [39] Finn E. Donaldson, James C.Coburn, Karen Lohmann Siegel Total hip arthroplasty head–neck contact mechanics: Astochastic investigation of key parameters – Silver Spring, MD, USA, 2014

ДОДАТОК

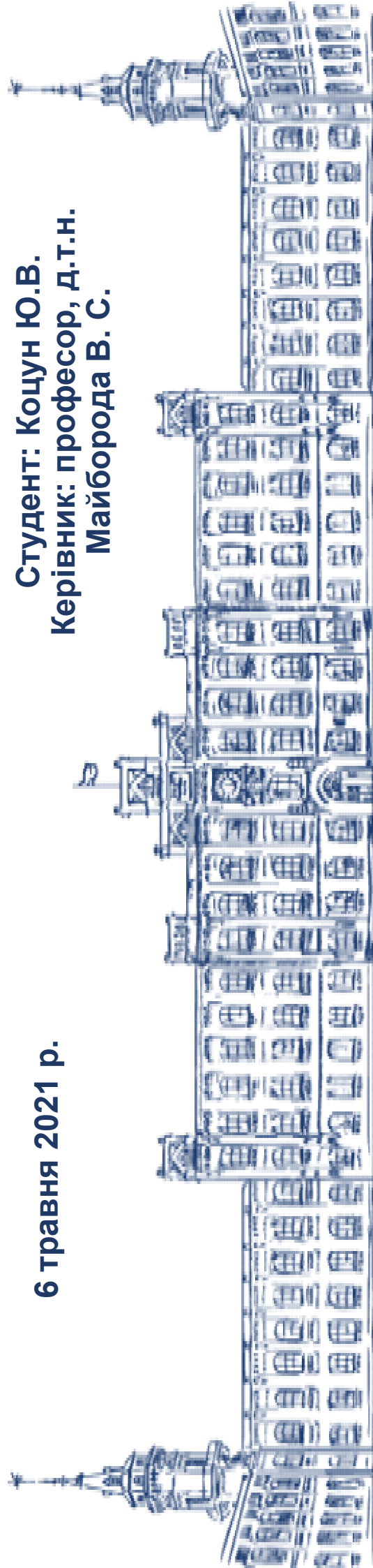


Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Магнітно-абразивне оброблення медичних імплантатів

6 травня 2021 р.

Студент: Коцун Ю.В.
Керівник: професор, д.т.н.
Майборода В. С.





Мета дослідження:

апробація можливості впровадження магнітно-абразивного методу фінішної обробки в технологічний процес виготовлення сферичного компоненту кульшового суглобу.

Задачі дослідження:

1. Провести літературний огляд та проаналізувати наявні методи обробки поверхонь складної форми медичних сплавів. Визначити вплив якості та типу фінішного оброблення на кінцеві властивості готового виробу.
2. Спроектувати сферичну заготовку з хвостовиком та виготовити п'ять заготовок точінням за технічним кресленням з дотриманням всіх розмірів та вимог точності. Виміряти отримані точінням параметри поверхневого шару заготовок включно з їх масою.
3. Провести оцінку результатів обробки шляхом технічного вимірювання досліджуваних параметрів поверхневого шару. Зіставити отримані результати вимірювання з даними для еталонного компоненту протезу.

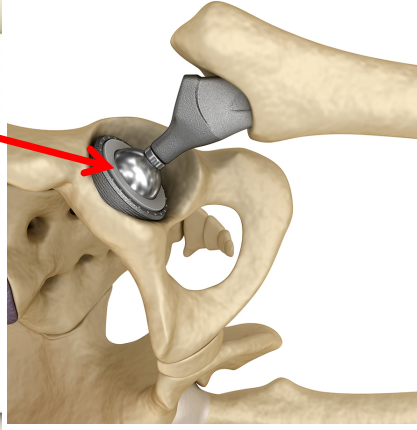
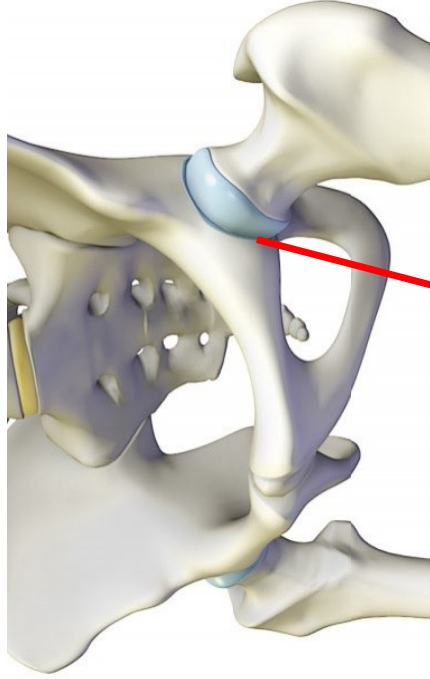
Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше було досліджено можливість впровадження магнітно-абразивного оброблення в технологічний процес виготовлення медичних імплантатів.
2. Визначено параметри магнітно-абразивної обробки для сферичної заготовки кобальт-хромового сплаву.

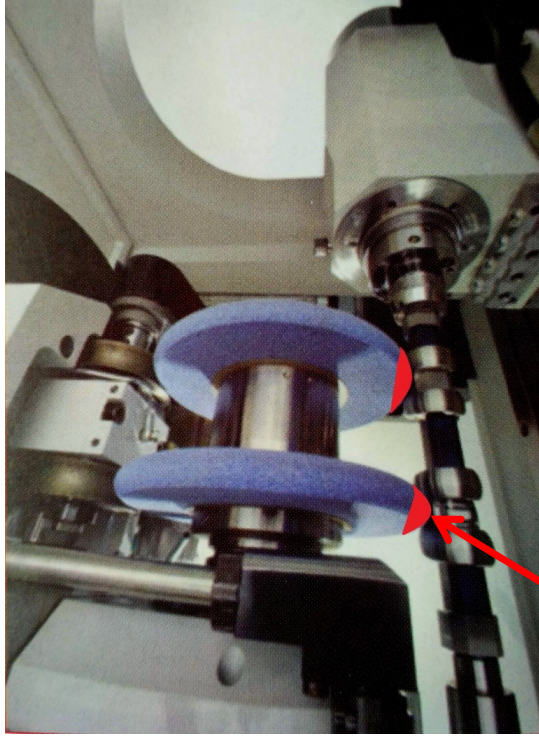


Складність форми

Тазостегновий суглоб



Колінний суглоб



Ускладнений доступ
шліфувального круга

Форма стегнової
частини протезу

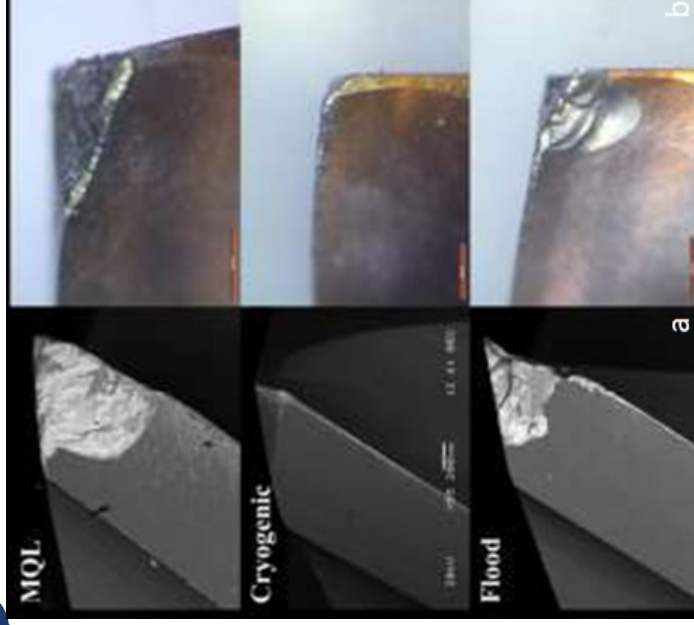
Джерела: <https://arthroscopy.kiev.ua>; <https://gelenk-klinik.de/orthopaedie-glossar/knie-ter-knieendoprothese>



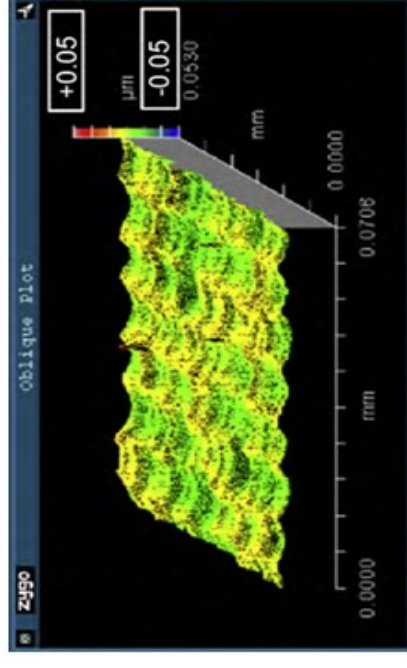
Підвищення ефективності традиційного різання

Точіння з накладанням еліптичних
коливальних рухів (15,48 кГц)

Криогенне охолодження



Оброблюваний матеріал:
кобальт-хром SorgraBond K
(466 HV)



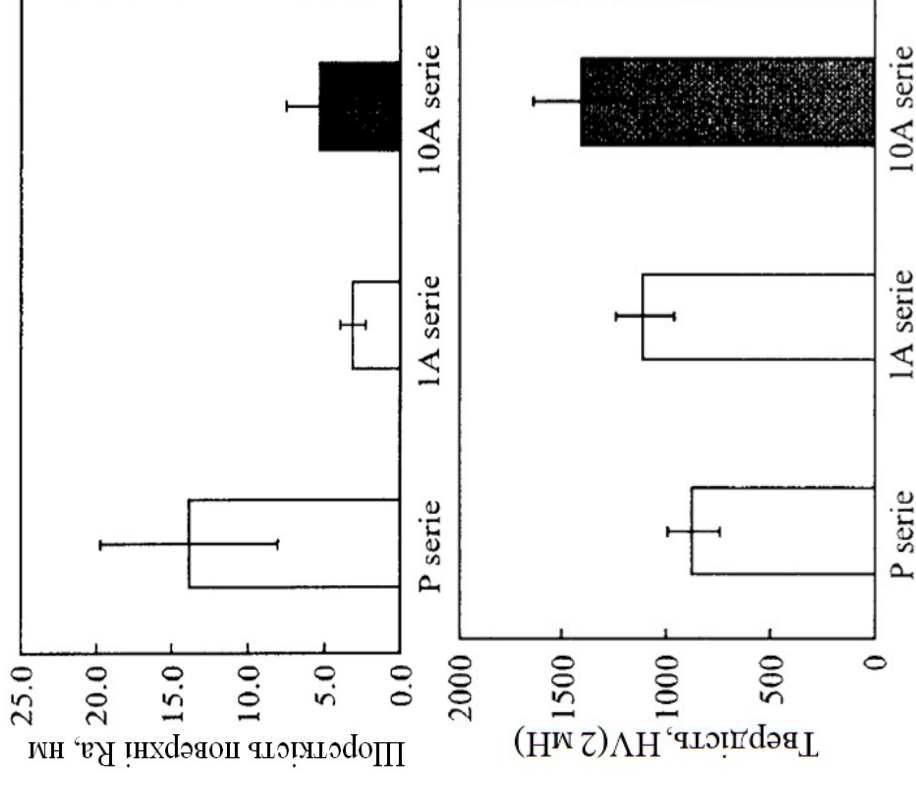
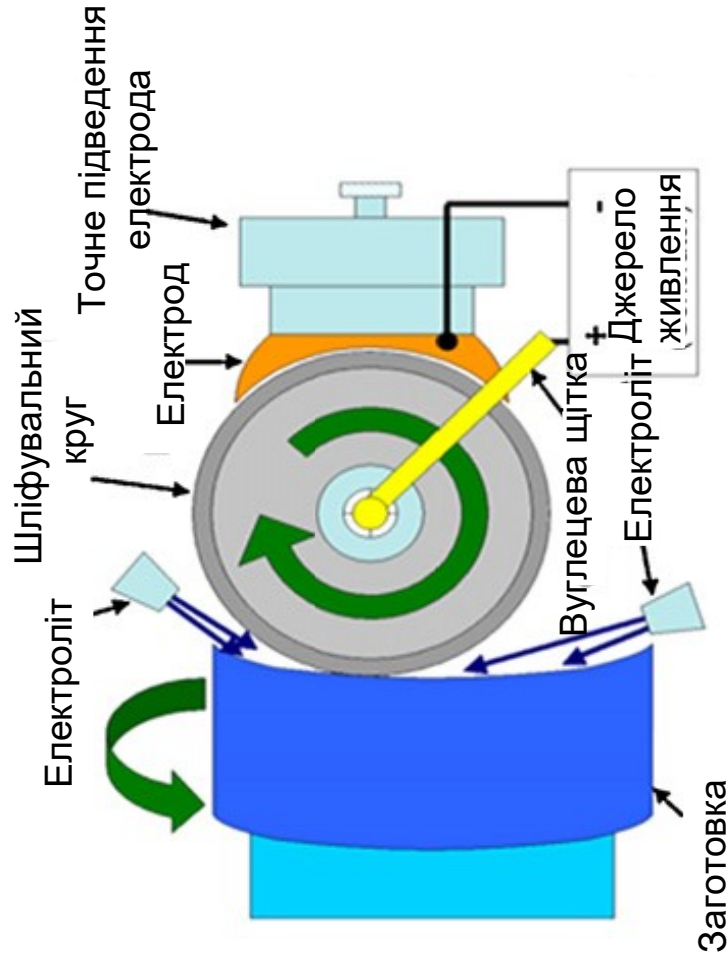
Середовища обробки: криогенне (Cryogenic), з
малою кількістю змащувально-охолоджувальної
рідини (MQL) та сухе (Flood) фрезерування

Джерела: Alborz Shokrania, Vimal Dhokia, Stephen T. Newman "Cryogenic high speed machining of cobalt chromium alloy" University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom; YoungChan Song, Chun-Hong Park, Toshimichi Moriwaki "Mirror finishing of Co-Cr-Mo alloy using elliptical vibration cutting" South Korea, Japan



Альтернативні методи шліфування

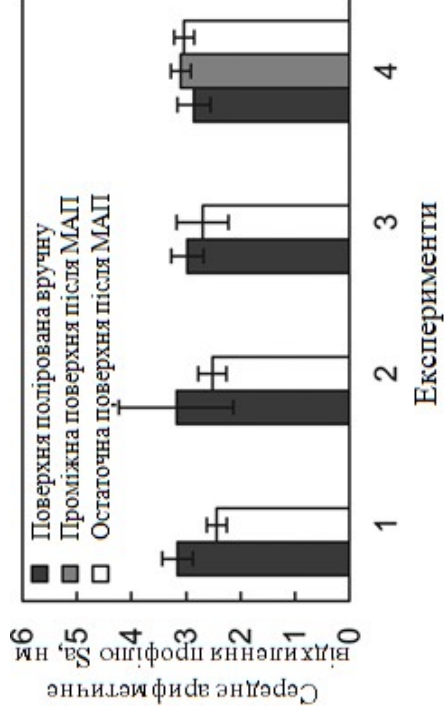
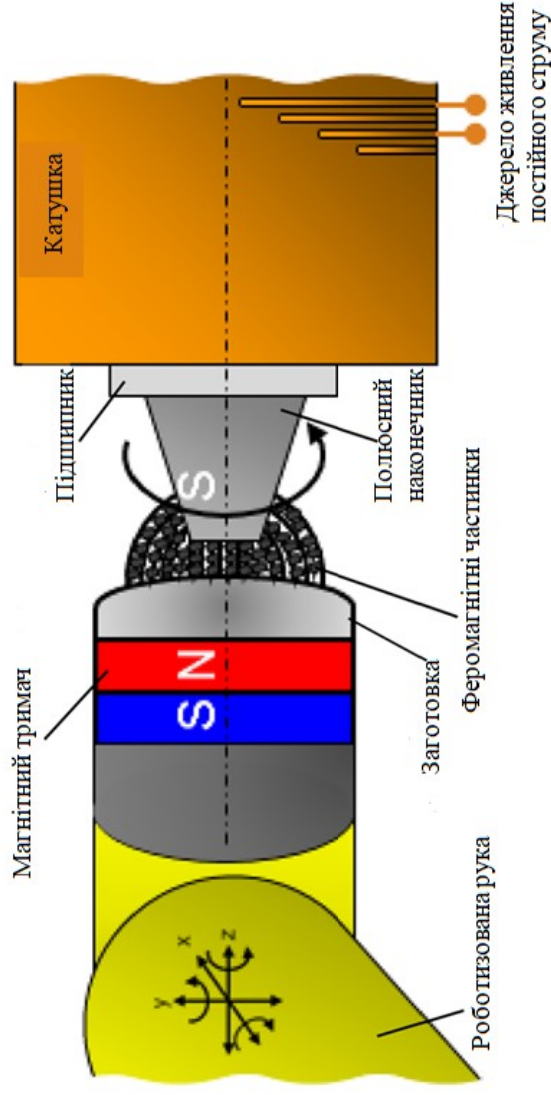
Електролітичне шліфування з
одночасною правкою інструменту



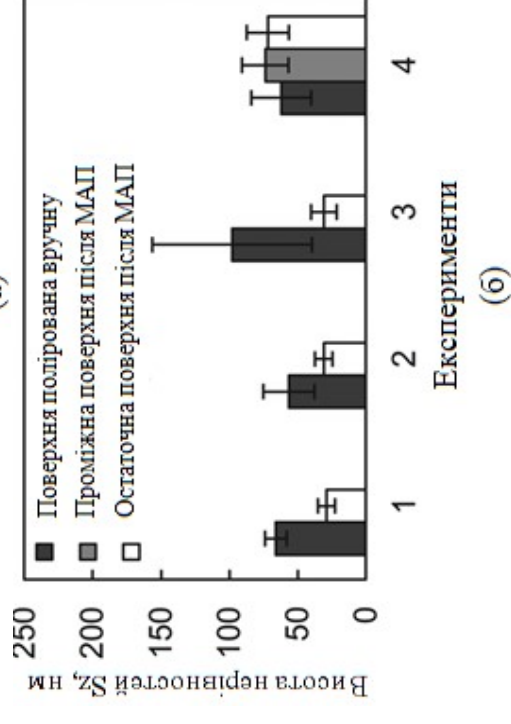
Джерела: Hiroshi Kotani, Jun Komotori, Masayoshi Mizutani, Tetsuya Naruse, Kazutoshi Katahira and Hitoshi Ohmori "Surface finishing and modification for cobalt-chromium-molybdenum alloy by electrolytic in-process dressing (ELID) grinding", Japan; K. Fathima, M. Schinhaeri, A. Geiss, R. Rascher, P. Sperber "A knowledge-based feed-back control system for precision ELID grinding" University of Applied Sciences Deggendorf, Edlmaistr, 94469 Deggendorf, Germany



Магнітно-абразивне оброблення з ЧПК



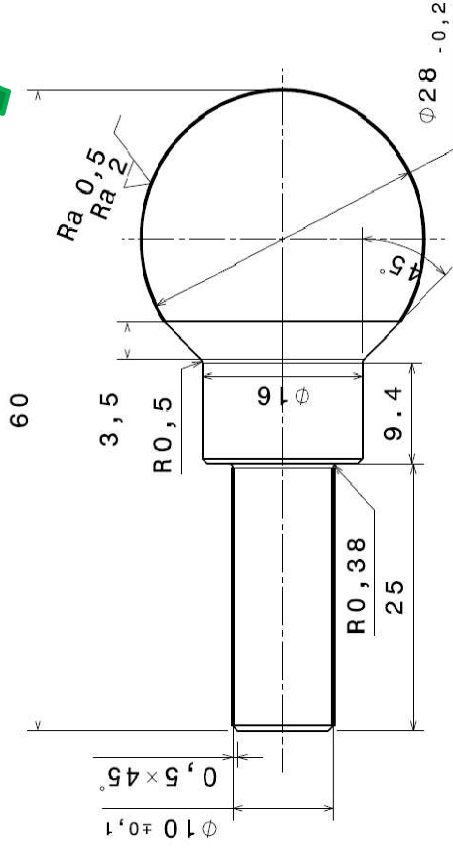
(а)



Джерело: Arthur A. Graziano, Vasishta Ganguly, Tony Schmitz, Hitomi Yamaguchi Control of Lay on Cobalt Chromium Alloy Finished Surfaces Using Magnetic Abrasive Finishing and It's Effect on Wettability, USA, 2014



Виготовлення заготовки згідно з кресленням

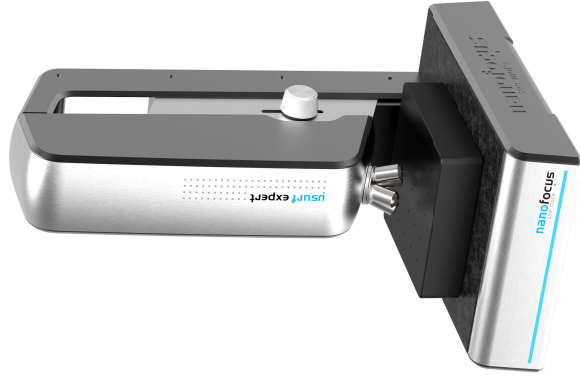


Також було отримано початкові значення шорсткості та внутрішніх напружень приповерхневого шару.

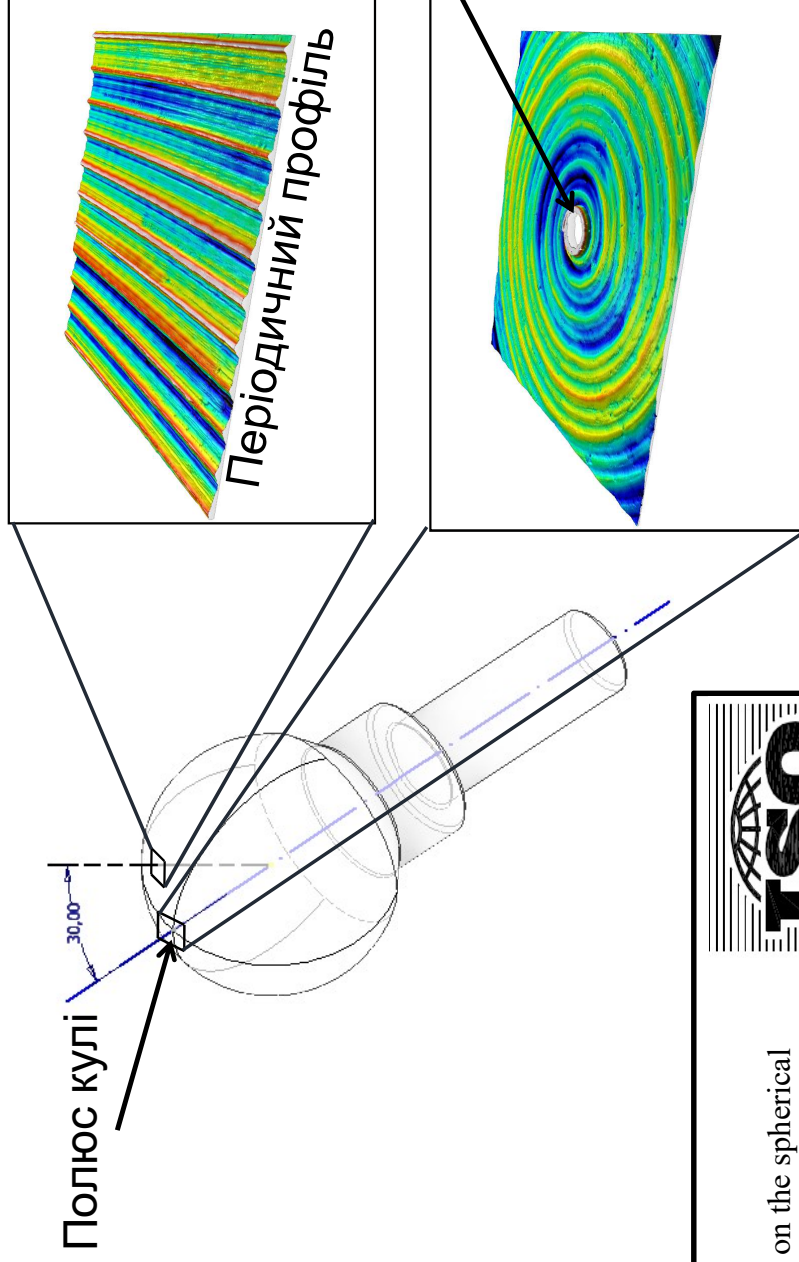




Вимірювання шорсткості поверхні на конфокальному мікроскопі



3D-Konfokalmikroskop
NanoFocus μsurf expert



ISO 7206

The measurements shall be taken at five locations on the spherical surface. One measurement shall be taken in each of four quadrants approximately 30° from the spherical pole and one at the spherical pole.

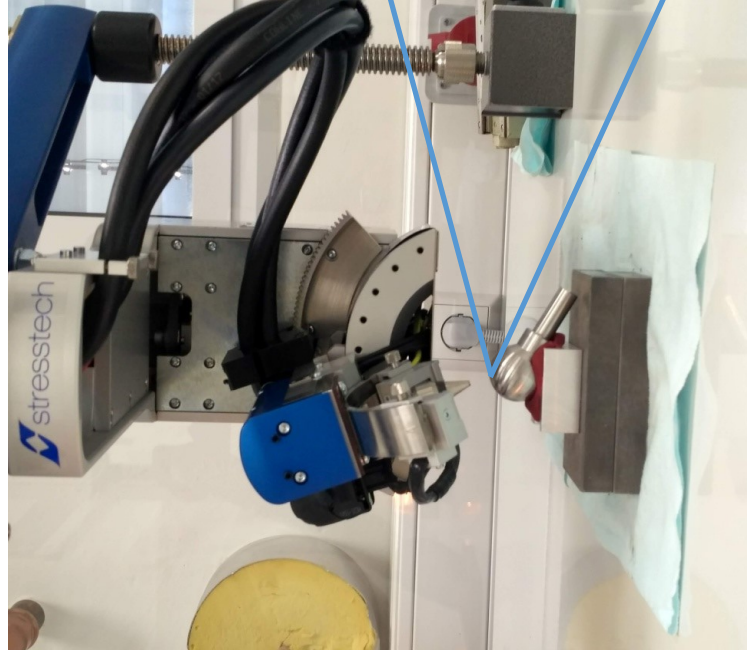


Джерело: <https://www.all-electronics.de/elektronik-entwicklung/3d-konfokalmikroskop-fuer-verschiedene-materialien.html>

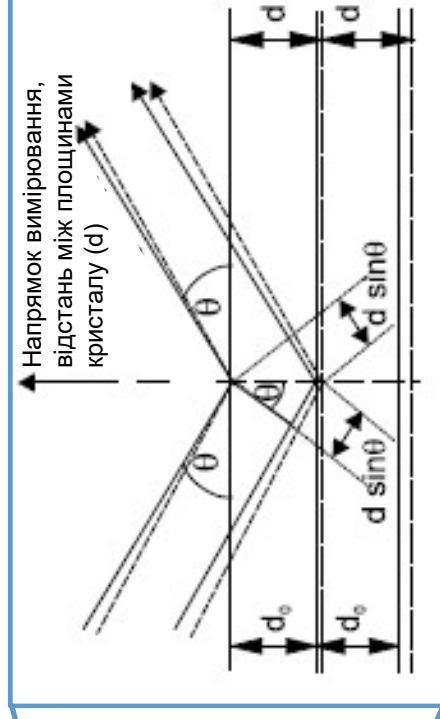


Вимірювання внутрішніх напружень

Рентгенівський дифрактометр Xstress DR45



Стратегія вимірювання

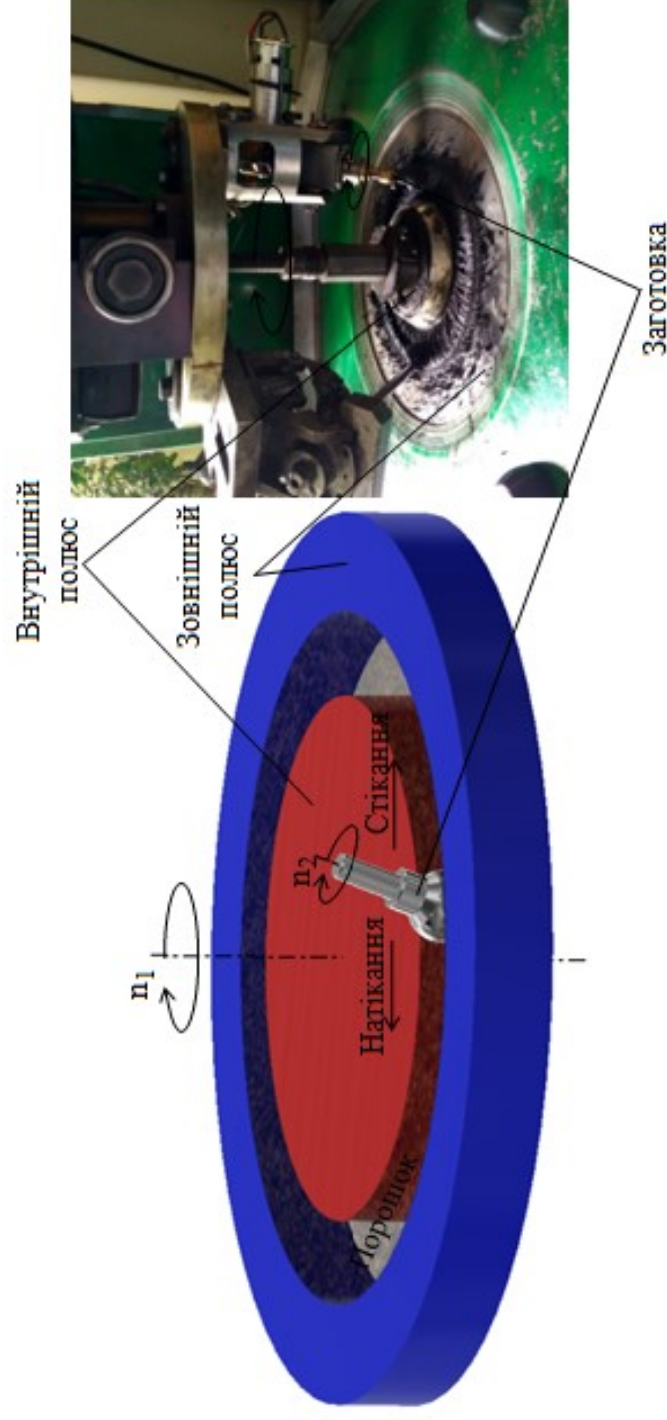


Рівняння Вульфа-Брегга:
 $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$

Джерело: Lothar Spieß, Gerd Teichert, Robert Schwarzer, Herfried Behnken, Christoph Genzel
 Moderne Röntgenbeugung: Röntgendiffraktometrie für Materialwissenschaftler, Physiker und
 Chemiker. 2., 3. Auflage – GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2019



Магнітно-абразивне полірування в кільцевій ванні



В, Тл	0,25
n_1 , об/хв	250
n_2 , об/хв	520
Порошок	Поліам Т 200/100 мкм + Алмазна паста



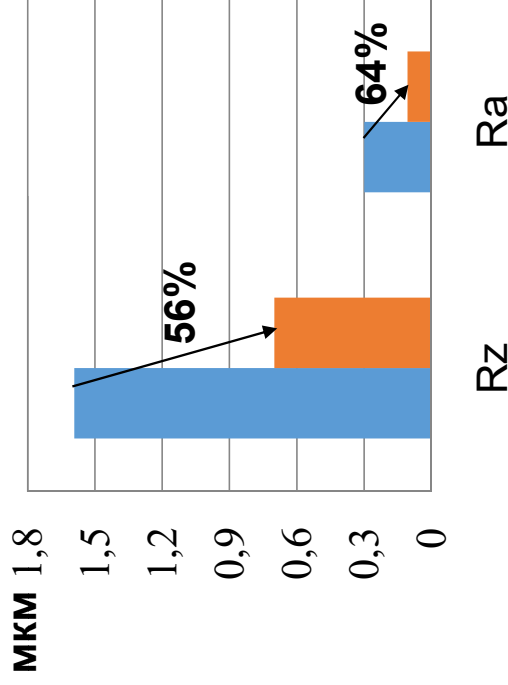
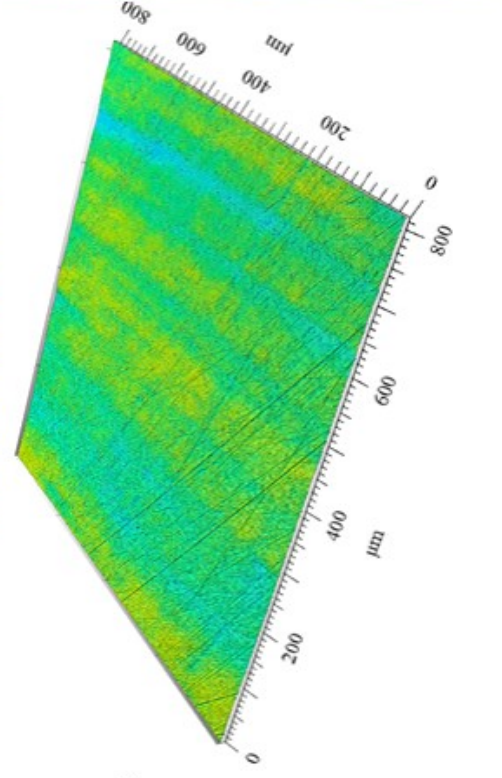
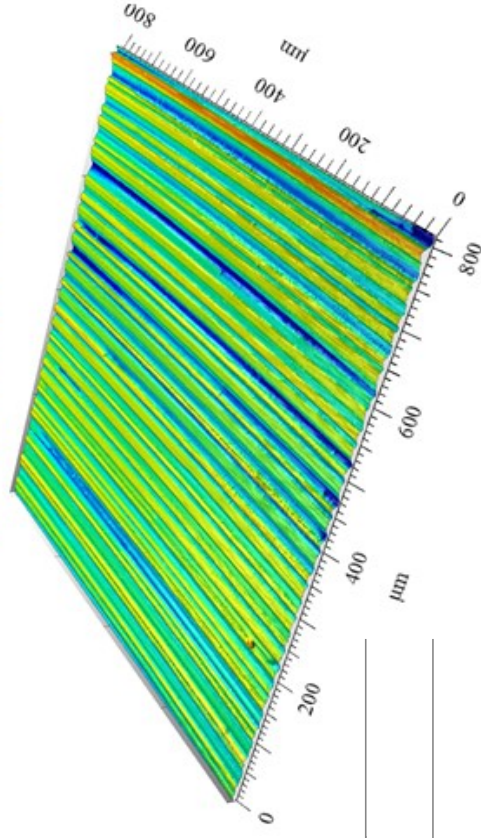
Зміна шорсткості поверхні

Кулька перед МАО

$Ra = 0,326 \text{ мкм}$; $Rz = 1,71 \text{ мкм}$

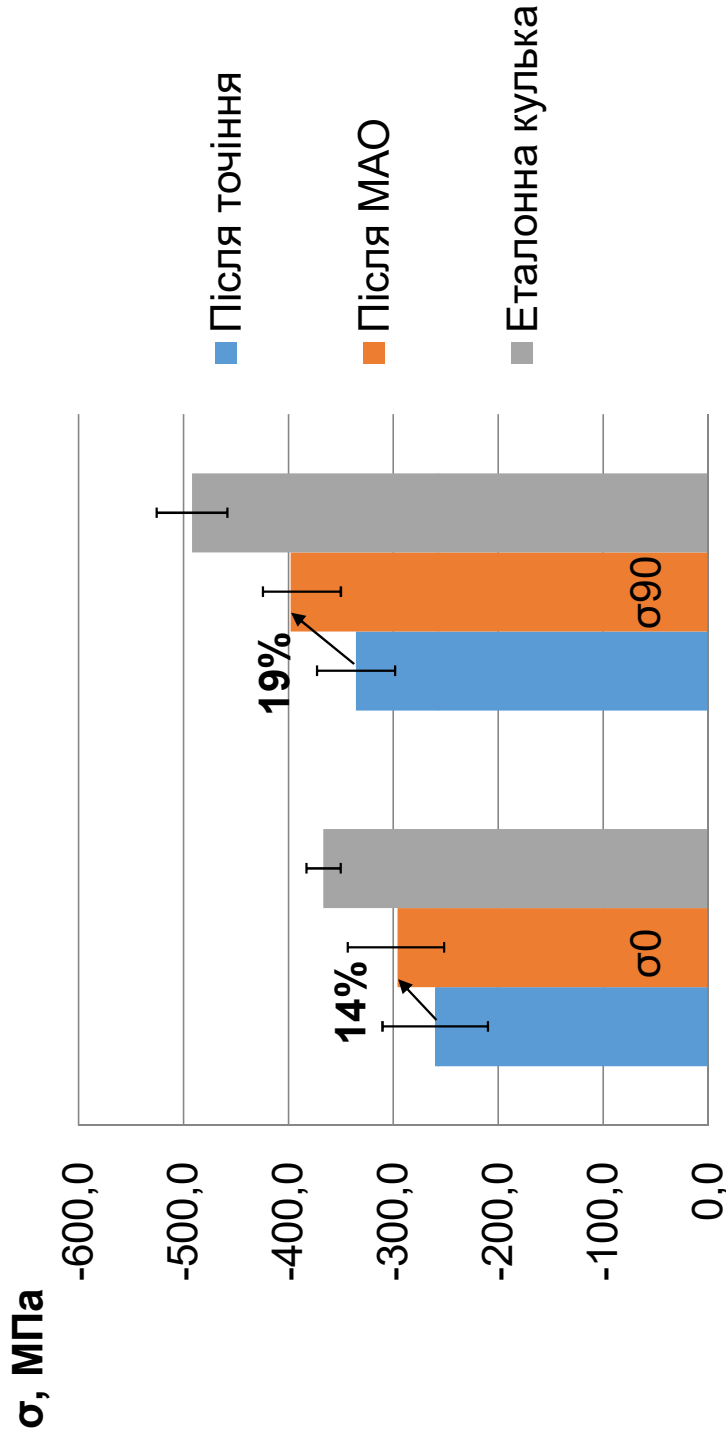
Кулька після МАО

$Ra = 0,0807 \text{ мкм}$; $Rz = 0,6 \text{ мкм}$





Зміна внутрішніх напружень



В якості порівняльного еталону використовувалась головка протезу тазостегнового суглобу фірми MATHYS





Висновки

1. В ході роботи було проаналізовано наявні методи обробки складних поверхонь та визначено переваги та недоліки кожного з огляду на функціональні властивості готових виробів;
2. Для експерименту було підготовлено п'ять сферичних заготовок з хвостовиком та визначено початкові параметри їх поверхонь;
3. Оцінено тенденцію зміни значень шорсткості та внутрішніх напружень після магнітно-абразивного оброблення;
4. Визначено умови полірування деталей досліджуваної специфіки, що сприятиме подальшому дослідженню в даному напрямку.



Дякую за увагу