

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Прищепи Дмитра Олександровича
академічної групи 131М-22Н-1 ММФ
спеціальності 131 Прикладна механіка
за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Аналіз стратегій програмного фрезерування деталі «Зубний
імплант» на верстатах з ЧПК методами SolidWorks»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від
30 квітня 2024 р. за №382-с

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	Дербаба В.А.			
розділів:				
Аналітичний	Дербаба В.А.			
Технологічний	Дербаба В.А.			
Спеціальний	Дербаба В.А.			
Науково- дослідницький	Дербаба В.А.			
Рецензент	Кравченко Ю.Г.			
Нормоконтролер	Дербаба В.А.			

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства

В.А. Дербaba

_____ (підпис)

(прізвище, ініціали)

«__» _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ступеню магістра

студенту Прищепі Дмитру Олександровичу

академічної групи 131М-22Н-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

на тему: «Аналіз стратегій програмного фрезерування деталі «Зубний імплант» на верстатах з ЧПК методами SolidWorks»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30 квітня 2024 р. за №382-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Опис конструкції та службового призначення деталі, Фізико – механічні властивості матеріалу деталі, Аналіз технологічності конструкції деталі	29.01.2024- 25.02.2024
Технологічний	Визначення типу виробництва і форми його організації, Розробка та обґрунтування маршруту обробки деталі, Вибір технологічного обладнання	26.02.2024- 24.03.2024
Спеціальний	Програмна реалізація обробки деталі «Зубний імплант» в програмі «SolidCAM» середовища «SolidWorks».	25.03.2024- 21.04.2024
Науково-дослідницький	Проектування та розрахунок на міцність стоматологічних (дентальних) одно-етапних імплантатів «UNO».	22.04.2024- 19.05.2024

Завдання видано _____

Дербaba В.А.

Дата видачі 15 січня 2024 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 06.05.2024 р.

Прийнято до виконання _____

Д.О. Прищепa

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: Аналіз стратегій програмного фрезерування деталі «Зубний імплант» на верстатах з ЧПК методами SolidWorks.

Об'єкт розробки у кваліфікаційній роботі – технологічний процес виготовлення деталі «Зубний імплант» за допомогою інструментів CAD/CAM-системи та симуляція на міцність.

Метою кваліфікаційної роботи є освоєння сучасних інструментів для оптимізації технологічного процесу та перевірки результату.

Результат роботи – розробка керуючої програми для сучасного двошпindelного верстата з ЧПК та розрахунок міцності деталі.

В даній роботі проведений всебічний аналіз сучасного обладнання, оснащення до нього, та доступного програмного забезпечення за для оптимізації виробництва з боку скорочення людського фактору, мінімізації витраченого часу, зменшення грошових витрат.

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів:

1. Аналітичний

В цьому розділі проаналізовано параметри деталі та властивості матеріалу. Проведено розрахунок на технологічність.

2. Технологічний

Визначено тип виробництва, складено маршрут обробки та вибрано обладнання.

3. Спеціальний

Підібрано ріжучий інструмент для кожного переходу. Також в цьому розділі представлена симуляція обробки деталі на верстаті і створена керуюча програма.

4. Науково-дослідницький

Виконана симуляція навантаження на 3д модель з розрахунками.

ЗМІСТ

Вступ	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1 Опис конструкції та службового призначення деталі.	7
1.2 Фізико – механічні властивості матеріалу деталі.	8
1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі	9
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	13
2.1 Визначення типу виробництва і форми його організації.	13
2.2 Обґрунтування форми та розмірів заготовки.	19
2.3 Вибір методів обробки поверхонь.	20
2.4 Розробка та обґрунтування маршруту обробки деталі.	22
2.5 Розрахунок припусків на обробку деталі.	25
2.6 Вибір технологічного обладнання.	27
3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	33
3.1 Додаткове пристосування верстата.	33
3.2 Створення тривимірної моделі деталі та її креслення у середовищі SolidWorks.	35
3.3. Програмна реалізація обробки деталі «Зубний імплант» в програмі «SolidCAM» середовища «SolidWorks».	39
3.4 Створення керуючої програми для верстата.	47
3.5 Підбір інструментів та режимів різання.	50
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	52
4.1 Вступ	52
4.2 Опис конструкції та призначення одно-етапних імплантатів «UNO».	53
4.3 Розрахунок на максимальне статичне навантаження розрахунково теоретичним методом.	54
4.4 Розрахунок на максимальне статичне навантаження методом кінцевих елементів (МКЕ)	58
4.5 Розрахунок на втому при динамічному навантаженні	59
4.6 Визначення навантаження на імпланти	61
Висновок.	64
Перелік посилань.	66
Додаток А.	
Додаток Б.	
Додаток В.	

ВСТУП

Машинобудування є однією з ключових галузей промисловості, яка відіграє вирішальну роль у розвитку економіки будь-якої країни. Воно охоплює широкий спектр технологій і процесів, що дозволяють створювати складні механічні системи і деталі, які знаходять застосування в різних секторах, від автомобільної та авіаційної промисловості до медицини та електроніки.

У сучасних умовах, технології машинобудування зазнали значних змін завдяки впровадженню новітніх досягнень у галузі комп'ютерного моделювання, автоматизації виробництва та нових матеріалів.

Технологія машинобудування охоплює комплекс методів і процесів, спрямованих на створення механічних систем і компонентів. Це включає проектування, виробництво, тестування та вдосконалення механічних систем. Ключовими елементами цієї технології є:

1. Проектування (CAD/CAM): Використання комп'ютерних систем для створення точних тривимірних моделей деталей і механізмів. Це дозволяє значно скоротити час на проектування та покращити точність створюваних моделей.
2. Автоматизація виробництва: Впровадження систем автоматичного управління верстатами з числовим програмним керуванням (ЧПК), що підвищує точність обробки та знижує витрати на виробництво.
3. Матеріалознавство: Використання нових матеріалів з покращеними механічними властивостями, такими як високоміцні сплави, композити та спеціальні сталі, що дозволяє створювати деталі з високими експлуатаційними характеристиками.
4. Симуляція і аналіз (CAE): Моделювання фізичних процесів, таких як напруження, деформація, теплові процеси, з метою прогнозування поведінки матеріалів і конструкцій під дією навантажень. Це допомагає

виявляти потенційні проблеми на етапі проектування і усувати їх до початку виробництва.

5. Технології обробки: Використання різноманітних методів обробки, таких як точіння, фрезерування, свердління, електроерозійна обробка, що дозволяє обробляти матеріали з високою точністю і складністю.
6. Управління даними про вироби (PDM): Системи для управління інформацією про вироби, що дозволяє ефективно керувати версіями і змінами в проектній документації, а також забезпечувати співпрацю між різними відділами.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Опис конструкції та службового призначення деталі

Основними вихідними даними для технологічного проектування є конструкторські документи у вигляді робочих креслень.

Основний конструкторський документ деталі «Зубний імплант», артикул «UNO 3508» (Рис.1) виконаний на форматі А2 за внутрішніми стандартами виробництва оснований на ISO. Документ дає повну інформацію про матеріали деталей і їх механічні властивості, форму, розміри і точності розташування поверхонь.

Імплант (або імплантат) відноситься до категорії одноетапних і використовується для безпосереднього навантаження після встановлення в щелепі людини. Розроблена на сучасному українському виробництві під назвою «ABM Technology» та продається під торговою маркою «UNIDENT».



Рис.1 Тривимірна модель деталі «Кришка ущільнююча»

Всі поверхні легко доступні в процесі обробки. Параметри шорсткості відповідають точності розмірів. Для розробки оптимального технологічного процесу виготовлення деталі, забезпечення раціональної концентрації технологічних операцій із застосуванням економічно обґрунтованих і

технологічно необхідних методів обробки, необхідно проаналізувати призначення робочих поверхонь деталі, використовувані матеріали і технічні вимоги до них, з точки зору умов збирання та експлуатації.

1.2. Фізико – механічні властивості матеріалу деталі

Імплант виготовляється з титану марки «Grade 5 (Ti6Al4V-ELI) ASTM F136-13». Маса деталі 0,36 грамів. Ця медично чиста марка титану дуже розповсюджена у сфері імплантації завдяки легкості, міцності, неферомагнітності, біоінертності, тощо. Цей матеріал демонструє чудову стійкість до різних корозійних середовищ, включаючи морську воду, хлориди та багато кислот.[7]

Термічна обробка титану марки 5

М'який відпал: 650 - 750°

Термообробка для зняття напруги: 450 - 600 °

В таблиці 1.1 вказана більш детальна інформація щодо фізичних властивостей матеріалу.

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні властивості матеріалу.

Характеристика	Значення
Міцність	950 - 1100 МПа (пряма міцність)
	880 - 990 МПа (міцність при розтягуванні)
Деформаційна міцність	800 - 1000 МПа
Витривалість	430 МПа (при 427°С)
Жорсткість	120 - 160 GPa
Густина	4.43 г/см ³
Температура плавлення	1660°С
Теплопровідність	21.9 W/(м·К)
Коефіцієнт лінійного теплового розширення	8.6 x 10 ⁻⁶ /°С
Модуль Юнга	110 - 128 GPa
Корозійна стійкість	Висока у багатьох середовищах

Термічна обробка титану марки 5 вимагає наявності в атмосфері захисного газу або вакууму, викликаного високою здатністю титану поглинати кисень і, отже, стає крихким.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад матеріалу.

Елемент	Вміст (%)
Титан (Ti)	88.0 - 90.0
Алюміній (Al)	5.5 - 6.75
Ванадій (V)	3.5 - 4.5
Залізо (Fe)	0.3
Кисень (O)	0.2
Вуглець (C)	0.08
Нітроген (N)	0.05
Гідроген (H)	0.015

Зварювання титану марки 5 MIG і WIG з чистим аргоном.

Плазмова, лазерна або електродно-променева зварка.[8]

1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі

Технологічність визначається ступенем відповідності конструкції деталі умовам її виготовлення. Державним стандартом передбачені якісний і кількісний аналізи технологічності.

Якісний аналіз технологічності:

Деталь «Зубний імплант» допускає застосування високопродуктивних режимів обробки, має хороші базові поверхні для початкових операцій.

Заготовка простої форми, всі поверхні доступні для обробки. Вказані на кресленні допустимі відхилення розмірів не перевищують геометричних похибок верстата.

Співвідношення геометричних параметрів деталі, в поєднанні з особливостями конструкції дозволяє призначити оптимальні режими різання.

Результати якісного аналізу представлені в таблиці 3.

Таблиця 1.3. Якісний аналіз технологічності конструкції деталі «Зубний імплант»

Показник технологічності	Оцінка технологічності	
	Припустимо	Неприпустимо
1. Наявність в деталі стандартних і уніфікованих елементів.	+	-
2. Можливість виготовлення деталі зі стандартних або уніфікованих заготовок.	+	-
3. Наявність оптимальної точності і шорсткості поверхні деталі.	+	-
4. Відповідність фізико-хімічних і механічних властивостей матеріалу, жорсткості, форми і розмірів деталі вимогам технології механічної і термічної обробки.	+	-
5. Відповідність показників базових поверхонь деталі вимогам установки обробки і контролю.	+	-
6. Відповідність оформлення робочого креслення деталі вимогам ЕСКД і ЕСТД.	-	+

Вимоги до робочих поверхонь деталі не є завищеними і відповідають їх службовому призначенню. Застосований матеріал забезпечує виконання вимог до механічних властивостей поверхонь і деталі в цілому. В результаті, технологічність конструкції деталі «Зубний імплант» після якісного аналізу можна оцінити як задовільну за основними показниками.

При кількісній оцінці визначаємо наступні коефіцієнти:

- 1) Коефіцієнт точності.
- 2) Коефіцієнт шорсткості.
- 3) Коефіцієнт уніфікації .

Для визначення цих коефіцієнтів складаємо таблицю 2.1

Таблиця 2.1 – Точність розмірів та шорсткості поверхонь деталі

№ Пов.	Розміри поверхні	Квалітет точності	Граничні відхилення	Шорсткість, Ra, мм.
1	18,00	~JS10	(±0,05)	1,6
2	Ø3,5	~js10	(±0,02)	
3	2,51	~js8	(^{+0,005} _{-0,010})	3,2
4	10°	-	(±0,25)	1,6
5	Ø2,03	~js10	(±0,02)	
6	M1,4x0,3	H6	(+0,06)	3,2
7	Ø2,55	~js10	(±0,02)	1,6
8	0,2x45°	~js12	(±0,05)	
9	1,7	~H12	(+0,1)	
10	2	~H12	(+0,1)	
11	R0,2	~JS12	(±0,5)	
12	R0,1	~JS12	(±0,5)	
13	R0,7	~JS12	(±0,5)	
14	R0,3	~JS12	(±0,5)	
15	5,5	~JS12	(±0,05)	
16	4,5	~JS11	(±0,05)	
17	2,9	~JS11	(±0,05)	
18	3,55	~JS11	(±0,05)	
19	Ø2,47	~Js10	(±0,02)	
20	10	~JS11	(±0,05)	
21	7,05	~JS11	(±0,05)	
22	6,45	~JS11	(±0,05)	
23	0,25x45°	~JS12	(±0,05)	
24	0,7	~JS12	(±0,05)	
25	100°	-	(±0,5)	
26	Ø3,5	~Js10	(±0,02)	
27	Ø2,05	~Js10	(±0,05)	
28	90°	-	(±0,5)	
29	R0,25	~JS12	(±0,5)	
30	Ø0,35	~Js12	(±0,05)	
31	6,5	~JS11	(±0,05)	
32	R0,5	~JS12	(±0,5)	
33	0,15 (3)	~H10	(+0,05)	
34	0,76 (3)	~JS11	(±0,03)	

1) Визначимо коефіцієнт точності

Деталь вважається технологічною за точністю, якщо виконується умова:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} \geq 0,8 \quad (2.1)$$

де T_{cp} – середній квалітет розмірів деталі

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \times n_i}{\sum n_i} \quad (2.2)$$

де n_i - кількість розмірів кожного квалітету

$$T_{cp} = \frac{10 \times 8 + 8 \times 1 + 6 \times 1 + 12 \times 13 + 11 \times 8}{31} = 10,9$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{10,9} = 0,9 > 0,8$$

$0,9 > 0,8$ – тобто за коефіцієнтом точності деталь технологічна.

2) Визначимо коефіцієнт шорсткості

Деталь вважається технологічною за шорсткістю, якщо виконується умова:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{cp}} \leq 0,32 \quad (2.3)$$

де $Ш_{cp}$ – середня шорсткість

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_{cp} \times n_i}{\sum n_i} \quad (2.4)$$

$$Ш_{cp} = \frac{3,2 \times 2 + 1,6 \times 32}{34} = 1,69$$

$$K_{ш} = \frac{1}{1,69} = 0,59 > 0,32$$

$0,59 > 0,32$ – тобто за коефіцієнтом шорсткості деталь не технологічна

3) Визначимо коефіцієнт уніфікації

За коефіцієнтом уніфікації деталь вважається технологічною, якщо виконується умова:

$$K_y = \frac{Q_y}{Q_e} \geq 0,6 \quad (2.5)$$

де $Q_y = 34$ - число уніфікованих елементів

$Q_e = 34$ - число конструкційних елементів

$$K_y = \frac{34}{36} = 0,94 > 0,6$$

$0,94 > 0,6$ – тобто за коефіцієнтом уніфікації деталь технологічна

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Визначення типу виробництва і форми його організації.

Типи виробництва за річною кількістю деталей можна класифікувати таким чином:

- Одиначне (індивідуальне) виробництво:

Характеристика: Виготовлення окремих виробів або невеликих партій. Часто продукція унікальна і виготовляється за індивідуальними замовленнями.

Річний обсяг: Від кількох одиниць до кількох десятків деталей.

Приклади: Прототипи, спеціалізоване обладнання, унікальні машини.

- Серійне виробництво:

Характеристика: Виготовлення продукції партіями (серіями). Обладнання та технологічні процеси налаштовані на певну кількість деталей в одній партії.

Річний обсяг: Від сотень до десятків тисяч деталей.

Приклади: Автомобільні компоненти, побутова техніка, меблі.

Серійне виробництво може бути поділене на:

- 1) Мале серійне виробництво: Від кількох десятків до кількох сотень деталей на рік.
- 2) Середнє серійне виробництво: Від сотень до кількох тисяч деталей на рік.
- 3) Велике серійне виробництво: Від кількох тисяч до десятків тисяч деталей на рік.

- Масове виробництво:

Характеристика: Виготовлення великої кількості однакових деталей на постійній основі. Процеси максимально автоматизовані та стандартизовані.

Річний обсяг: Від десятків тисяч до мільйонів деталей.

Приклади: Виробництво електроніки, автомобілів, побутової техніки, харчових продуктів.

- Безперервне виробництво:

Характеристика: Виробництво не зупиняється, продукція випускається постійно. Часто використовується для виробництва сировинних матеріалів та базових хімікатів.

Річний обсяг: Дуже великі обсяги, мільйони одиниць продукції.

Приклади: Виробництво сталі, цементу, нафтопродуктів.

Кожен тип виробництва має свої особливості, переваги та недоліки, і вибір типу залежить від багатьох факторів, включаючи ринковий попит, технологічні можливості, економічні умови та інші стратегічні аспекти.

На цій стадії проектування, в якості вихідних даних для визначення типу виробництва приймаються маса і річна програма випуску деталі «Зубний імплант»

- маса деталі – 0,36 гр;

- річна програма випуску - 1500шт.

Попередньо приймається середнє серійне виробництво.

Середнє серійне виробництво займає проміжне положення між малосерійним і великим серійним виробництвом. Воно характеризується виготовленням значних партій продукції, але в порівнянні з масовим

виробництвом, обсяги все ж менші, що дозволяє більш гнучко підходити до змін у виробничому процесі.

Характеристики середнього серійного виробництва:

1. Обсяг продукції:

- Від сотень до кількох тисяч одиниць на рік.
- Партії можуть бути від кількох десятків до кількох сотень виробів за цикл виробництва.

2. Організація виробництва:

- Виробничі лінії налаштовані на виготовлення серій продукції, але можуть бути переобладнані або переналаштовані для виготовлення іншої продукції в розумні строки.
- Використовується комбінація автоматизованих і ручних операцій.

3. Технологічна гнучкість:

- Здатність швидко адаптувати виробничий процес до змін у конструкції виробу чи обсягах замовлення.
- Висока гнучкість у порівнянні з масовим виробництвом, що дозволяє швидко реагувати на зміну попиту.

4. Економічні аспекти:

- Економічна ефективність досягається за рахунок балансування між витратами на переналаштування обладнання та обсягами виробництва.
- Витрати на одиницю продукції вищі, ніж у масовому виробництві, але нижчі, ніж у малосерійному.

5. Продуктова стратегія:

- Продукти зазвичай мають деякі стандартизовані компоненти, але можуть включати індивідуальні елементи для задоволення специфічних потреб клієнтів.

- Підходить для продукції, яка потребує періодичного оновлення або модифікацій.

Основні переваги середнього серійного виробництва:

Гнучкість: Можливість адаптації до зміни попиту і впровадження нових технологій або конструкцій.

Економія на масштабі: Дозволяє знижувати витрати на виробництво за рахунок більших обсягів, ніж у малосерійному виробництві.

Оптимізація витрат: Менші витрати на переналаштування виробництва в порівнянні з масовим виробництвом.

Основні недоліки середнього серійного виробництва:

Витрати на переналаштування: Часті переналаштування можуть призводити до збільшення витрат і простоїв.

Складність управління запасами: Потребує ефективного управління запасами матеріалів і готової продукції для уникнення надлишків або дефіциту.

Інвестиції в обладнання: Необхідність інвестицій у більш гнучке обладнання, здатне працювати з різними серіями продукції.

Середнє серійне виробництво є ефективним вибором для компаній, які хочуть поєднати високу якість продукції з гнучкістю виробничого процесу і готовністю адаптуватися до потреб ринку.

Норма організації виробництва встановлюється відповідно до ДСТУ 14.312 - 74. Передбачено дві форми організації - групова і потокова, які

характеризуються рівнем спеціалізації робочих місць і розташуванням технологічного обладнання.

Для деталей вибираємо групову форму організації виробництва. Основним показником, що характеризує серійне виробництво, є величина партії деталей, одночасно що запускаються у виробництво. Розмір партії визначається за формулою:

$$n = \frac{N \cdot \alpha}{\Phi} \quad (2.1)$$

де α - періодичність запуску деталей у виробництво. Визначається в днях. Можливі значення - 3, 6, 12, 24. Для багатосерійного виробництва приймаємо, що запас деталей на складі забезпечує роботу складального цеху на 12 днів.

Φ - число робочих днів у році (254 дня).

Отже, для деталі «Зубний імплант»:

$$n = \frac{1000 \cdot 12}{254} = 47,3 \approx 48 \quad (\text{шт})$$

Розмір партії приймаємо 48 штук, щоб він був кратний річній програмі випуску деталі.

Такт випуску деталі

$$t_b = \frac{60 \cdot F_d \cdot m}{N} \quad (2.2)$$

де F_d – річний дійсний фонд роботи верстата, рік; при роботі в одну зміну $F_d=2030\text{ч}$;

m – число змін роботи станка на добу;

N – річна програма випуску деталі, шт.

$$t_b = \frac{60 \cdot 2030 \cdot 2}{1000} = 243,6 \quad \text{хв.}$$

Спираючись на обрану тему кваліфікаційної роботи, для визначення часу виготовлення однієї деталі використовуємо дані, отримані у додатку «SolidCAM» програми «SolidWorks» (Рисунок 2.1 та 2.2).

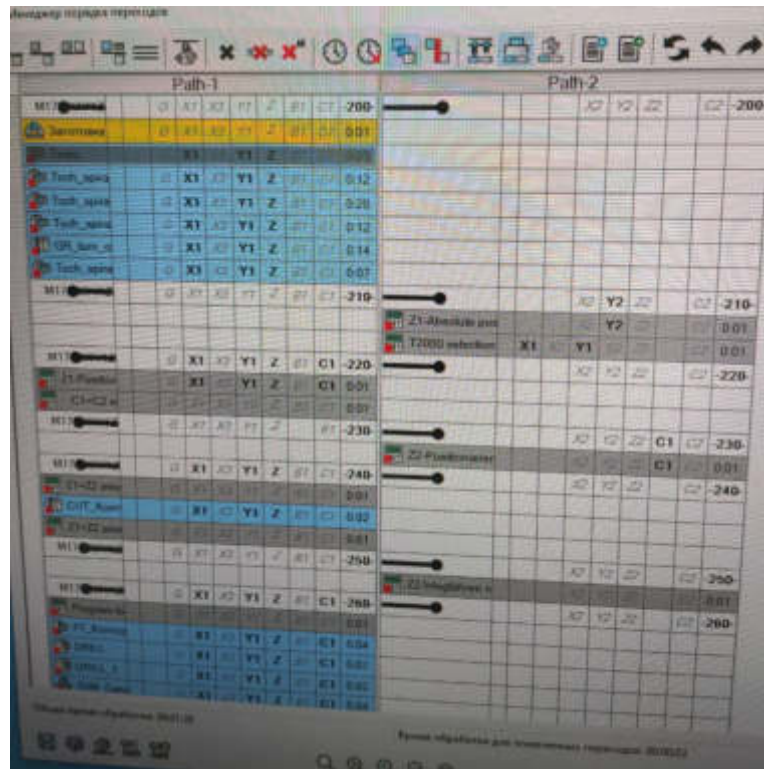


Рисунок 2.1 – Час кожного переходу та загальний час.

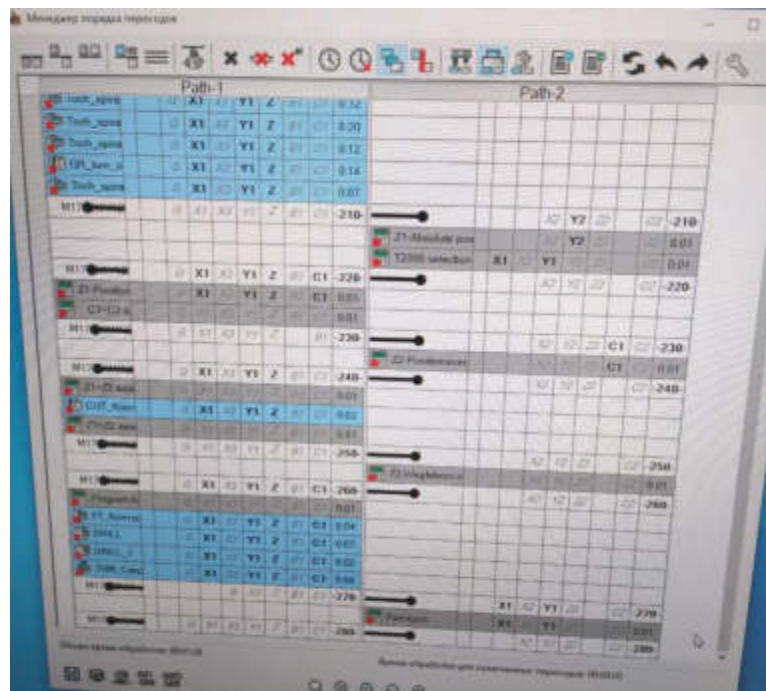


Рисунок 2.2 – Час кожного переходу та загальний час.

Тобто виходячи з рисунку 2.1 та 2.2 загальний час на виготовлення однієї деталі дорівнює **1,38 хв.**

2.2. Обґрунтування форми та розмірів заготовки

Для раціонального вибору заготовки необхідно одночасно враховувати призначення і конструкцію деталі, технологічні вимоги, масштаб і серійність випуску, а також економічність виготовлення відповідно до забезпечення необхідної якості деталі.

Технологічним процесом виготовлення деталі «Зубний імплант» передбачено використання заготовки у вигляді прокату, тобто прутків з матеріалу Титан «Grade 5».

Окрім зовнішніх параметрів деталі використання прутків також обумовлено способом подачі заготовки у верстат за допомогою барфідера для автоматизації.

1. Об'єм і маса вихідного прутка

Діаметр прутка (D): 3.7 мм

Довжина прутка (L): 5м (20 мм для однієї деталі)

Густина титану Grade 5 (ρ): 4.43 г/см³ = 4.43 г/1000 мм³ = 0.00443 г/мм³

Об'єм вихідного прутка ($V_{\text{вих}}$):

$$V_{\text{вих}} = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot L = \pi \cdot \left(\frac{3.7}{2}\right)^2 \cdot 20 = \pi \cdot 1.85^2 \cdot 20 \approx 215.38 \text{ мм}^3 \quad (3.1)$$

Маса вихідного прутка ($M_{\text{вих}}$):

$$M_{\text{вих}} = \rho \cdot V_{\text{вих}} = 0.00443 \text{ г/мм}^3 \cdot 215.38 \text{ мм}^3 \approx 0.954 \text{ г} \quad (3.2)$$

2. Об'єм і маса готової деталі

Об'єм готової деталі ($V_{\text{кор}}$): 81.09 мм³

Маса готової деталі ($M_{\text{кор}}$): 0.36 г

3. Розрахунок КВМ для однієї деталі.

КВМ обчислюється як відношення маси корисного продукту до маси вихідного матеріалу:

$$\text{КВМ} = \frac{M_{\text{кор}}}{M_{\text{вих}}} = \frac{0.36 \text{ г}}{0.954 \text{ г}} \approx 0.377$$

4. Підсумок

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) для титанових прутків Grade 5 з діаметром 3.7мм становить приблизно 0.377. Це означає, що близько 37.7% вихідного матеріалу використовується для виготовлення готової деталі, тоді як решта 62.3% втрачається в процесі обробки (відходи, обрізки тощо).

Такий коефіцієнт цілком нівелюється швидкістю та автоматизацією, так як використання окремої заготівлі для кожної деталі таких малих габаритів коштуватиме дорожче для підприємства.

2.3. Вибір методів обробки поверхонь

Для складання раціонального технологічного маршруту аналізуємо технічні вимоги до кожної оброблюваної поверхні деталей.

Кількість технологічних операцій, їх концентрація буде визначатись методами обробки поверхонь, які призначені виходячи з необхідного квалітету розміру, параметра шорсткості і умов оброблюваності матеріалу. Перелік оброблюваних поверхонь і методи обробки, які можуть забезпечити виконання вимог креслення, наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Методи обробки поверхонь деталі «Зубний імплант»

№ Пов.	Розміри поверхні	Квалітет точності	Граничні відхилення	Шорсткість, Ra, мм.	Вид обробки	
1	18,00	~JS10	(±0,05)	1,6	Токарна	
2	Ø3,5	~js10	(±0,02)			
3	2,51	~js8	$\begin{matrix} +0,005 \\ -0,010 \end{matrix}$	3,2	Фрезерна	
4	10°	-	(±0,25)	1,6	Токарна	
5	Ø2,03	~js10	(±0,02)			
6	M1,4x0,3	H6	(+0,06)	3,2	Різьбофрезерна	
7	Ø2,55	~js10	(±0,02)	1,6	Фрезерна	
8	0,2x45°	~js12	(±0,05)		Зенкувальна	
9	1,7	~H12	(+0,1)		Різьбофрезерна	
10	2	~H12	(+0,1)		Свердлильна	
11	R0,2	~JS12	(±0,5)		Токарна	
12	R0,1	~JS12	(±0,5)			
13	R0,7	~JS12	(±0,5)			
14	R0,3	~JS12	(±0,5)			
15	5,5	~JS12	(±0,05)			
16	4,5	~JS11	(±0,05)			
17	2,9	~JS11	(±0,05)			
18	3,55	~JS11	(±0,05)			
19	Ø2,47	~Js10	(±0,02)			
20	10	~JS11	(±0,05)			
21	7,05	~JS11	(±0,05)			
22	6,45	~JS11	(±0,05)			
23	0,25x45°	~JS12	(±0,05)			Фрезерна
24	0,7	~JS12	(±0,05)			Токарна
25	100°	-	(±0,5)			
26	Ø3,5	~Js10	(±0,02)			
27	Ø2,05	~Js10	(±0,05)			
28	90°	-	(±0,5)			
29	R0,25	~JS12	(±0,5)			
30	Ø0,35	~Js12	(±0,05)			
31	6,5	~JS11	(±0,05)			
32	R0,5	~JS12	(±0,5)			
33	0,15 (3)	~H10	(+0,05)	Токарна		
35	0,76 (3)	~JS11	(±0,03)	Фрезерна		
34	Віхрвова різьба 1,5 (глибина 0,51)	-	-	3,2	Фрезерна	

2.4. Розробка та обґрунтування маршруту обробки деталі

Базування — це процес визначення та закріплення базових поверхонь (баз) деталі або заготовки для забезпечення правильного положення під час обробки, складання чи вимірювання. Базування є ключовим етапом у технологічному процесі, оскільки від точності вибору та фіксації баз залежить точність виготовлення деталей та їх відповідність конструкторським вимогам.

Основні аспекти базування:

1. Базові поверхні (бази) - Це поверхні, точки або лінії на деталі чи заготовці, що використовуються як опорні для забезпечення точного положення деталі відносно інструмента або обладнання.

2. Типи баз:

- Конструкторські бази: Визначаються на стадії проектування деталі та використовуються для забезпечення правильного складання виробу.
- Технологічні бази: Використовуються в процесі виготовлення деталей для забезпечення точного розташування заготовки під час обробки.

3. Чорнові та чистові бази:

- Чорнові бази: Використовуються на початкових етапах обробки, коли точність не є критично важливою. Зазвичай це необроблені або грубо оброблені поверхні.
- Чистові бази: Використовуються на завершальних етапах обробки, коли потрібна висока точність. Це зазвичай оброблені поверхні.

4. Принципи базування:

- Однозначність: База повинна забезпечувати однозначне і точне положення деталі.

- Стабільність: База повинна бути стабільною та стійкою до зміщень під час обробки.
- Доступність: Базова поверхня повинна бути доступною для встановлення та фіксації.

5. Методи базування:

- Плоске базування: Використовується для деталей з плоскими поверхнями.
- Циліндричне базування: Використовується для деталей циліндричної форми.
- Комбіноване базування: Використовується для складних деталей, які потребують використання кількох базових поверхонь.

Приклад базування

При фрезеруванні деталі, однією з баз може бути нижня площина деталі, яка встановлюється на фрезерний стіл. Інші базові точки або лінії використовуються для фіксації деталі у визначеному положенні, забезпечуючи точність обробки.

Базування є критичним для досягнення високої якості продукції та забезпечення відповідності деталей конструкторським вимогам.

Вибір баз є одним із найскладніших і найважливіших аспектів проектування технологічних процесів. Правильний вибір технологічних баз значно впливає на фактичну точність виконання розмірів, правильність взаємного розташування поверхонь, складність конструкції пристроїв, ріжучих та вимірювальних інструментів, а також на загальну продуктивність обробки заготовок.

Вибір базових поверхонь залежить від конструктивних форм деталі та технічних вимог.

Чорнові технологічні бази використовуються лише на початкових етапах для підготовки чистових баз для наступних операцій.

2.4.1. Маршрут обробки деталі «Зубний імплант».

Виходячи з прийнятих МОП, розробляємо маршрут обробки деталі на підставі типового маршруту з урахуванням обраних технологічних баз, і представляємо його у вигляді таблиці 2.4.1. та рисунку 3.

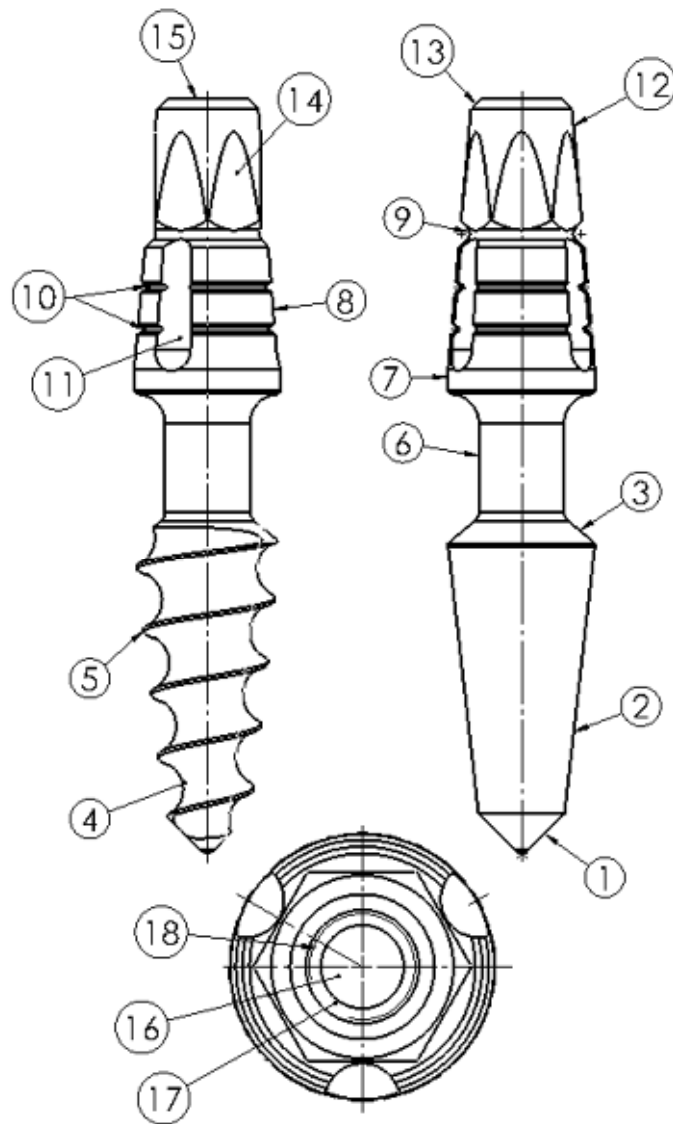


Рисунок 3 – Ескіз нумерації поверхонь

Таблиця 2.4.1 - Маршрут обробки деталі «Зубний імплант»

№ Опер.	Найменування операцій	Зміст операцій	Спосіб установки
005	Токарно-фрезерна з ЧПК	Точіння зовнішньої конусної поверхні поз. 1, 2 та 3. Фрезерування вихрового різьблення поз. 5. Токарне точіння для зняття задирок поз. 5 Зовнішнє точіння пов. 6, R0.7, поверхні 7, конусної поверхні 8 та канавки 9. Точіння двох канавок поз. 10. Фрезерування 3-х пазів поз. 11. Точіння зовн. конусу 12 та фаски 13. Фрезерування 6 лисок для утворення шестигранника поз. 14. Точіння відрізним різцем поз. 15	У цанговому патроні
		Свердління отвору під різьбу поз. 16. Зенкування фаски поз. 17. Фрезерування різьби різьбофрезою позиція 18.	У цанговому патроні
010	Мийна	Очищення від емульсії	Мийна машина
015	Контрольна	Контролювати оброблювальні розміри на відповідність кресленню	ОТК
020	Обробна	Обробка різьбової частини піскоструминною та кислотною обробкою для отримання SLA поверхні.	
025	Дезинфікуюча	Обробка в агресивних рідинах, упаковка в чистій кімнаті та обробка радіацією.	

2.5 Розрахунок припусків на обробку деталі

Спираючись на те, що в якості заготовки обрано прут, можемо визначити основні габарити виходячи з довжини деталі та її діаметру (Таблиця 2.5.1)

Таблиця 2.5.1 – Припуски на заготовку на одну деталь.

Розмір, мм	Шорсткість, Ra	Припуск 2z, мм
Довжина 18	1,6	$18+(1+1) = 20$
Ø3,5		$3,5+(0,25+0,25) = 4$

Довжина прута дорівнює 5 м або 5000 мм.

$$5000/20 = 250 \text{ дет.}$$

Тобто з одного прута можна виготовити 250 деталей.

Таблиця 2.5 – Визначення припусків для основних поверхонь

№	Операційні переходи	Операційні припуски, мм	Операційні розміри, мм
1	Зовнішня поверхня циліндрична Ø3,5 Ra 1,6		
	1. Заготовка	-	Ø4
	2. Точіння чист.	0,5	Ø3,5
2	Зовнішня поверхня циліндрична Ø2,03 Ra 1,6		
	1. Заготовка	-	Ø4
	2. Точіння чист.	1,97	Ø2,03
3	Зовнішній конус Ø2,05 – 3,5 Ra 3,2		
	1. Заготовка	-	Ø4
	2. Точіння чист.	1,8	Ø2,2
	3. Точіння тонке	0,15	Ø2,05
4	Вихрова різьба M1.5, Ra 3,2		
	1. Фрезерування чорн.	0,25	Ø1,8
	2. Фрезерування чист.	0,2	Ø1,6
	3. Фрезерування тонке.	0,1	Ø1,5
5	Зовнішній шестигранник Нех. 2.51, Ra 3,2		
	1. Фрезерування граней	0.37 max	2.51
6	Пази R0.5, Ra 1.6		
	1. Фрезерування чорнове	0.4	Ø3,1
	2. Фрезерування чистове	0,4	Ø2,7
	3. Фрезерування тонке	0,15	Ø2,55
7	Внутрішня циліндрична поверхня Ø1.1, Ra 3,2		
	1. Свердління отвору	1	1
	2. Свердління отвору	0,5	1,5
	1. Свердління отвору	0,5	2

2.6. Вибір технологічного обладнання

Вибір технологічного обладнання є критичним етапом в проектуванні технологічних процесів, який впливає на якість, продуктивність і економічну ефективність виробництва. Нижче наводяться основні етапи і фактори, які слід враховувати при виборі технологічного обладнання.

Етапи вибору технологічного обладнання

1. Аналіз технологічного процесу

- Визначення основних операцій обробки, які необхідно виконати.
- Визначення вимог до точності, якості поверхні, продуктивності та обсягу виробництва.

2. Оцінка характеристик оброблюваних матеріалів

- Врахування фізичних і механічних властивостей матеріалу заготовок (твердість, міцність, зносостійкість тощо).

3. Визначення вимог до обладнання

- Визначення типу і моделі обладнання, яке відповідає необхідним технічним характеристикам (точність, жорсткість, потужність, швидкість обробки тощо).

4. Аналіз ринку обладнання

- Порівняння різних виробників і моделей обладнання.
- Аналіз цін, технічних характеристик, умов гарантії і сервісного обслуговування.

5. Оцінка економічної доцільності

- Розрахунок вартості придбання та експлуатації обладнання.
- Оцінка можливих витрат на обслуговування і ремонт.
- Визначення терміну окупності інвестицій.

6. Тестування обладнання

- Проведення тестових випробувань на обраному обладнанні (за можливості).
- Оцінка результатів тестування відповідно до заданих вимог.

7. Прийняття рішення

- Вибір обладнання на основі всебічного аналізу і тестування.
- Укладення договору на постачання і встановлення обладнання.

Фактори, що впливають на вибір технологічного обладнання

1. Технічні характеристики

- Точність і стабільність обробки.
- Потужність і продуктивність.
- Сумісність з існуючим обладнанням і інструментами.

2. Економічні фактори

- Вартість обладнання.
- Витрати на експлуатацію і обслуговування.
- Термін окупності.

3. Виробничі умови

- Розміри виробничих приміщень.
- Наявність необхідних комунікацій (електроживлення, охолодження, вентиляція тощо).
- Ергономіка і безпека роботи.

4. Надійність і довговічність

- Репутація виробника.
- Гарантійні зобов'язання і наявність сервісної підтримки.

5. Гнучкість і універсальність

- Можливість переналаштування для виконання різних операцій.
- Сумісність з новими технологіями і можливість модернізації.

Враховавши усі вище перелічені фактори було прийнято рішення виконувати обробку на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК «Star SR-20J II» (Рисунок 4).

Верстат з числовим програмним керуванням Star SR-20J II є автоматичним токарним верстатом швейцарського типу, розробленим для високоточної обробки малих і середніх деталей з різних матеріалів. Цей

верстат відомий своєю надійністю, точністю і продуктивністю, що робить його популярним у промисловості для виробництва складних деталей.

Переваги Star SR-20J II:

- Висока точність і повторюваність: Завдяки швейцарському типу конструкції і високоякісним компонентам.
- Продуктивність: Можливість одночасної обробки з двох сторін і висока швидкість обертання шпинделя.
- Гнучкість: Підтримка великої кількості інструментів і можливість виконання складних операцій, таких як фрезерування і нарізання різьби.
- Компактність: Економія простору в майстерні при високій продуктивності.
- Надійність: Висока якість збірки і компонентів забезпечує довговічність верстата.

Star SR-20J II є чудовим вибором для виробництва високоточних і складних деталей в умовах серійного виробництва. Він поєднує в собі точність, продуктивність і гнучкість, що дозволяє ефективно вирішувати завдання різного рівня складності.

На рисунку 5.1 та 5.2 зображено внутрішнє устаткування верстата яке дозволяє використовувати як різці, так і приводні інструменти.



Рисунок 4 – Токарно-фрезерний верстат «Star SR-20J II»

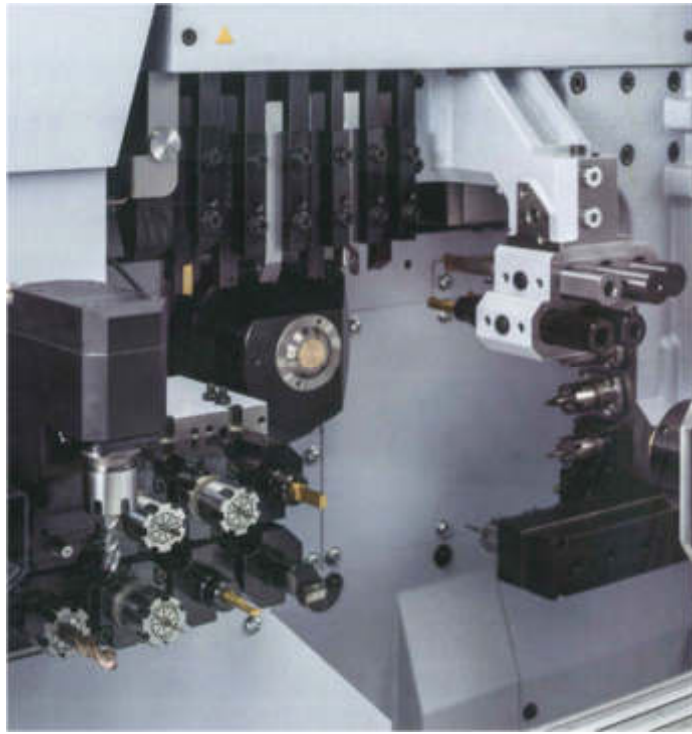


Рисунок 5.1 – Внутрішнє оснащення для закріплення інструментів

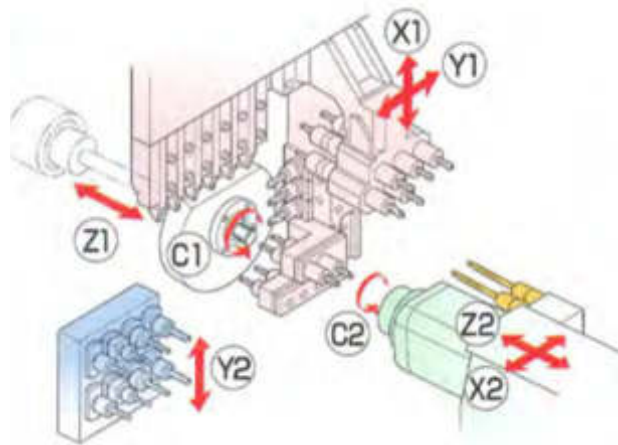


Рисунок 5.2 – Схема внутрішнього оснащення для закріплення інструментів

Одна з переваг цього верстата його гнучкість у використанні інструментів, особливо їх напрямків по координатах, що дозволяє обробляти важкодоступні поверхні причому без перехвату деталі. Сприяє цьому велика кількість оснащення, яку пропонує виробник до свого верстату. На рисунку 6 деякі приклади оснащення для приводного інструменту.



Рисунок 6 – Оснащення для закріплення приводних інструментів.

Нижче представлена таблиця з детальними характеристиками верстата (Таблиця 2.6.1)[9]

Таблиця 2.6.1 – Характеристики верстата Star SR-20ПІ

Характеристика	Параметр
Тип верстата	Автоматичний токарний верстат швейцарського типу з ЧПК
Максимальний діаметр прутка	20 мм
Максимальна довжина обробки	200 мм
Частота обертання шпинделя	Основний шпиндель: до 10,000 об/хв Протишпиндель: до 10,000 об/хв
Кількість інструментів	До 22 інструментів
Приводні інструменти	Так
Кількість керованих осей	7 (X1, Y1, Z1, X2, Z2, C1, C2)
Тип ЧПК	Fanuc 32i-B
Точність позиціонування	±0.001 мм
Повторюваність	±0.002 мм

Конструкція	Компактний дизайн, жорстка конструкція
Температурний контроль	Підігрів/охолодження зони обробки
Система подавання прутка	Автоматичне подавання (опція)
Система змащування і охолодження	Так
Висота центру від базової площини	1,050 мм
Потужність головного шпинделя	2.2/3.7 кВт (континуальний/30 хв)
Потужність протишпинделя	1.5/2.2 кВт (континуальний/30 хв)
Живлення	220 В, трифазне, 50/60 Гц
Габаритні розміри (Д×Ш×В)	2,300×1,200×1,700 мм
Вага	Приблизно 2,500 кг

3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Додаткове пристосування верстата.

Спираючись на невелику довжину деталі та для сприяння автоматизації виробничого процесу більш доцільною буде подача та обробка одразу цілого прута без нарізання. Для закриття цих потреб добре підходить Барфідер, який ми будемо використовувати.

Барфідер (або подавач прутка) — це пристрій, який автоматично подає прутковий матеріал в оброблювальний верстат, що забезпечує безперервність процесу обробки і підвищує продуктивність. Для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), таких як Star SR-20J II, барфідери є важливою складовою, яка дозволяє оптимізувати процес виробництва.

Основні характеристики та переваги барфідера:

1. Автоматичне подавання матеріалу:
 - Забезпечує безперервне подавання прутків у верстат без участі оператора.
2. Збільшення продуктивності:
 - Зменшує час простою верстата, оскільки матеріал подається автоматично.
 - Підвищує ефективність роботи, особливо у серійному та масовому виробництві.
3. Точність і стабільність:
 - Точне позиціонування прутка під час подавання забезпечує високу якість обробки.
4. Гнучкість:
 - Можливість роботи з прутками різного діаметра та довжини.
 - Регулювання швидкості подавання відповідно до вимог обробки.
5. Зменшення трудомісткості:
 - Оператор не витрачає час на ручне подавання прутків, що дозволяє зосередитися на контролі якості та інших важливих завданнях.

Барфідер може бути різних типів, але ось приклад одного з найпоширеніших для використання з верстатами типу Star SR-20J II:

Таблиця 3.1 - Barfeeder FMB Turbo 20-20 (Рисунок 7).

Характеристика	Параметр
Тип матеріалу	Прутки
Діаметр прутка	Від 2 до 20 мм
Довжина прутка	Від 1,000 до 3,200 мм
Швидкість подавання	Регульована, залежить від параметрів верстата
Система подавання	Автоматична, з пневматичним або гідравлічним приводом
Місткість магазину	До 20 прутків (залежить від діаметра та довжини прутків)
Управління	Інтеграція з ЧПК верстата, автономна система керування
Живлення	220 В, 50/60 Гц, трифазне
Габаритні розміри (Д×Ш×В)	Залежно від моделі, наприклад, 4,000×600×1,200 мм
Вага	Приблизно 800 кг

Інтеграція барфідера з верстатом

1. Механічне з'єднання:

- Барфідер встановлюється поруч з верстатом і механічно з'єднується з ним через направляючий канал або трубку, що дозволяє подавати прутки безпосередньо в шпиндель.

2. Електричне з'єднання:

- Барфідер підключається до системи ЧПК верстата для синхронізації роботи. Це забезпечує автоматичне подавання прутків відповідно до програми обробки.

3. Налаштування і програмування:

- Налаштування параметрів подавання, таких як швидкість і довжина подавання, здійснюється через панель керування барфідера або безпосередньо через систему ЧПК верстата.

4. Система безпеки:

- Встановлення датчиків і систем безпеки для запобігання аварійним ситуаціям і забезпечення безпечної роботи обладнання.

Висновок

Використання барфідера значно підвищує ефективність роботи верстатів з ЧПК, таких як Star SR-20J II, завдяки автоматизації процесу подавання матеріалу. Це дозволяє зменшити витрати часу і трудових ресурсів, підвищити продуктивність і забезпечити високу якість обробки деталей.



Рисунок 7 – Барфідер FMB Turbo 20-20

3.2. Створення тривимірної моделі деталі та її креслення у середовищі SolidWorks.

SolidWorks — це потужна система автоматизованого проектування (CAD), яка широко використовується в різних галузях для створення тривимірних моделей, креслень і симуляцій. Розроблена компанією Dassault Systèmes, SolidWorks є однією з найпопулярніших CAD-систем у світі, що надає користувачам інструменти для проектування, аналізу і управління даними про виробу.

Основні функції та можливості SolidWorks

1. Тривимірне моделювання (3D CAD):
 - Створення детальних тривимірних моделей виробів та їх компонентів.
 - Підтримка параметричного моделювання, що дозволяє швидко змінювати геометрію моделей на основі змін параметрів.
2. Двовірне креслення (2D CAD):
 - Автоматичне генерування креслень з 3D-моделей.
 - Інструменти для створення технічних креслень, специфікацій і анотацій.
3. Симуляції і аналіз (CAE):
 - Моделювання фізичних явищ, таких як напруження, деформації, теплові процеси і рідини.
 - Інструменти для проведення аналізу методом кінцевих елементів (FEA) і аналізу течій рідини (CFD).
4. Конструкторське проектування (CAM):
 - Інтеграція з САМ-системами для створення керуючих програм для верстатів з ЧПК.
 - Генерація траєкторій інструменту для обробки деталей.
5. Управління даними про вироби (PDM):
 - Інструменти для управління версіями і ревізіями документів.
 - Спільна робота над проектами з використанням центральної бази даних.
6. Рендеринг і візуалізація:
 - Створення фотореалістичних зображень і анімацій для презентацій і маркетингових матеріалів.
7. Інструменти для співпраці:
 - Можливості для спільної роботи в реальному часі, включаючи обмін моделями та кресленнями.
 - Інтеграція з іншими програмними продуктами Dassault Systèmes, такими як CATIA і ENOVIA.

Галузі застосування SolidWorks

1. Машинобудування:

- Проектування деталей і механізмів, створення креслень для виробництва.

2. Авіаційна та автомобільна промисловість:

- Розробка компонентів для літаків, автомобілів і космічних апаратів.

3. Електроніка:

- Моделювання корпусів електронних пристроїв і розробка друкованих плат.

4. Медицина:

- Проектування медичних пристроїв і інструментів.

5. Архітектура і будівництво:

- Створення моделей будівель і інфраструктурних об'єктів.

Переваги використання SolidWorks

1. Інтуїтивний інтерфейс:

- Зручний і простий у використанні інтерфейс, що скорочує час навчання і підвищує продуктивність роботи.

2. Широкий набір інструментів:

- Великий вибір інструментів для моделювання, аналізу і документування.

3. Інтеграція з іншими системами:

- Підтримка форматів файлів для обміну даними з іншими CAD/CAM/CAE системами.

4. Підтримка стандартів:

- Відповідність міжнародним стандартам проектування і виробництва.

5. Спільна робота:

- Можливості для ефективної співпраці між командами розробників, інженерів і виробничих підрозділів.

SolidWorks є потужним інструментом для інженерів і дизайнерів, який надає можливість реалізувати найскладніші проекти з високою точністю і ефективністю. Завдяки своїй гнучкості і широкому набору функцій, ця CAD-система широко використовується у багатьох галузях промисловості по всьому світу.

Створення моделі деталі «Зубний імплант» починається з ескізу профіля, так як це найпростіший спосіб моделювання обертального тіла, особливо при наявності декількох різних циліндричних та конусних поверхонь (Рисунок 8).

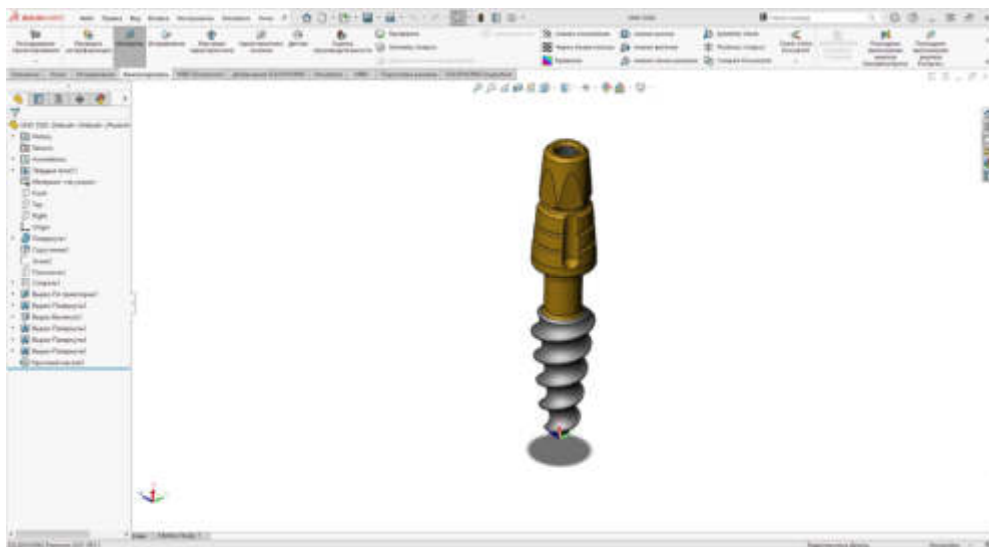


Рисунок 8 – Модель «Зубний імплант» в SolidWorks

Після того як створили 3д модель переносимо її на креслення і проставляємо всі потрібні розміри та вимоги до деталі (Рисунок 8.1).

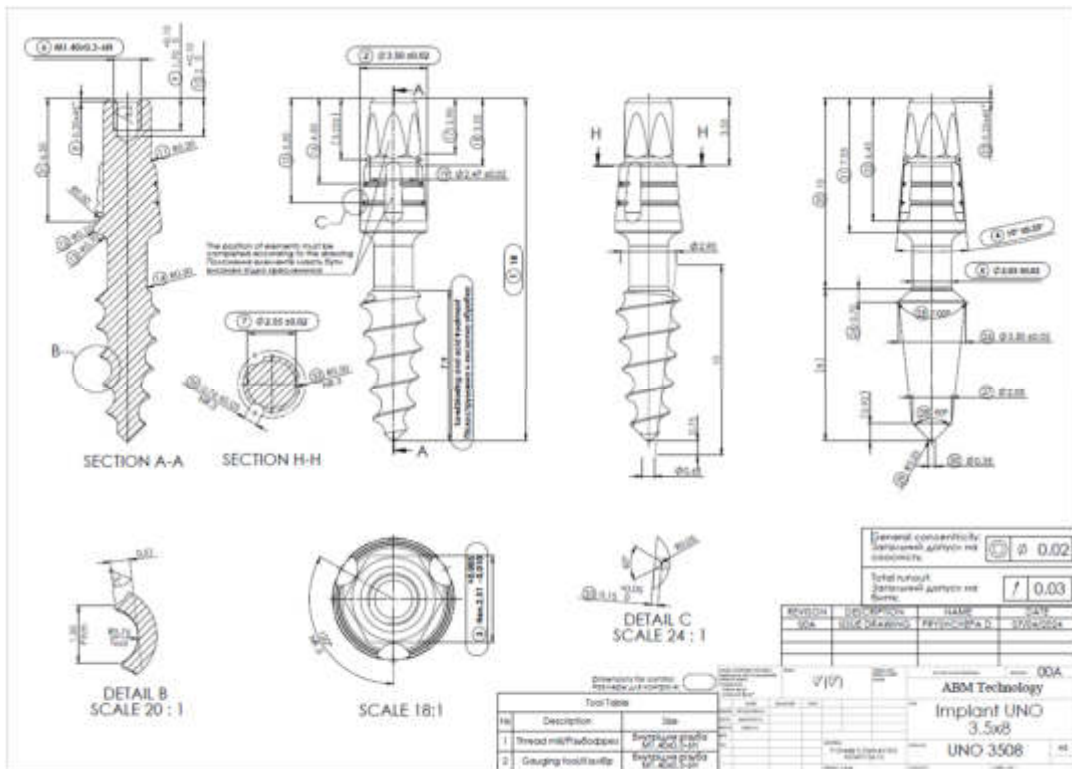


Рисунок 8.1 – Кресленник «Зубний імплант»

3.3. Програмна реалізація обробки деталі «Зубний імплант» в програмі «SolidCAM» середовища «SolidWorks».

SolidCAM — це інтегрована система автоматизованого програмування (CAM) для розробки керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Вона працює як додаток до SolidWorks, дозволяючи користувачам створювати інструментальні траєкторії безпосередньо в середовищі тривимірного моделювання.

Основні функції та можливості SolidCAM

1. Інтеграція з SolidWorks:

- Повна інтеграція з SolidWorks, що забезпечує безшовну роботу з 3D-моделями без необхідності переходу між різними програмами.

2. Підтримка різних типів обробки:

- Токарна обробка (2-осьова, багатівісьова).
- Фрезерна обробка (2.5D, 3D, багатівісьова).
- Обробка електроерозійною різкою (Wire EDM).

- Свердління і нарізання різьби.
- Спеціалізовані операції для обробки композитних матеріалів і інших складних завдань.

3. iMachining:

- Унікальна технологія iMachining дозволяє значно підвищити ефективність обробки за рахунок оптимізації траєкторій інструменту та параметрів різання. Вона автоматично розраховує оптимальні параметри для кожного конкретного завдання, що зменшує час обробки та знос інструменту.

4. Симуляція та верифікація:

- Потужні інструменти для симуляції процесу обробки, що дозволяють перевірити траєкторії інструменту, виявити можливі зіткнення і помилки перед запуском програми на верстаті.

5. Управління даними:

- Управління бібліотеками інструментів, матеріалів та режимів обробки для полегшення і прискорення програмування.

6. Автоматичне створення траєкторій:

- Автоматизація рутинних завдань, таких як створення траєкторій для свердління або різання, на основі параметрів і характеристик моделі.

7. Постпроцесори:

- Широка підтримка постпроцесорів для різних типів верстатів ЧПК, що дозволяє створювати керуючі програми для практично будь-якого обладнання.

Переваги використання SolidCAM

1. Безшовна інтеграція з SolidWorks:

- Зручність роботи в єдиному середовищі, що знижує ймовірність помилок при передачі даних між CAD і CAM системами.

2. Зниження часу на обробку:

- Завдяки технології iMachining, SolidCAM дозволяє значно скоротити час обробки деталей, що підвищує продуктивність виробництва.
3. Підвищення якості та точності:
 - Точні симуляції і верифікації забезпечують високу якість обробки і знижують ризик дефектів.
 4. Економія на інструментах:
 - Оптимізація траєкторій і параметрів різання дозволяє знизити знос інструментів, що економить витрати на їх заміну.
 5. Широкі можливості налаштування:
 - Гнучкі налаштування дозволяють адаптувати систему під конкретні потреби виробництва, включаючи підтримку нестандартних і спеціалізованих обробок.

Застосування SolidCAM

1. Машинобудування:
 - Виробництво деталей для машин і механізмів з високою точністю і якістю.
2. Автомобільна промисловість:
 - Створення компонентів для автомобілів, таких як деталі двигунів, підвіски, кузова.
3. Авіаційна промисловість:
 - Виробництво деталей для літаків і вертольотів, що вимагають високої точності і відповідності стандартам безпеки.
4. Медицина:
 - Виготовлення медичних інструментів і імплантатів, де важлива висока точність і якість обробки.
5. Електроніка:
 - Обробка корпусів електронних пристроїв і інших компонентів з малими допусками.

SolidCAM є потужним і універсальним інструментом для програмування верстатів ЧПК, що забезпечує високу продуктивність, точність і ефективність обробки, роблячи його незамінним помічником для інженерів і виробничих фахівців у різних галузях промисловості.

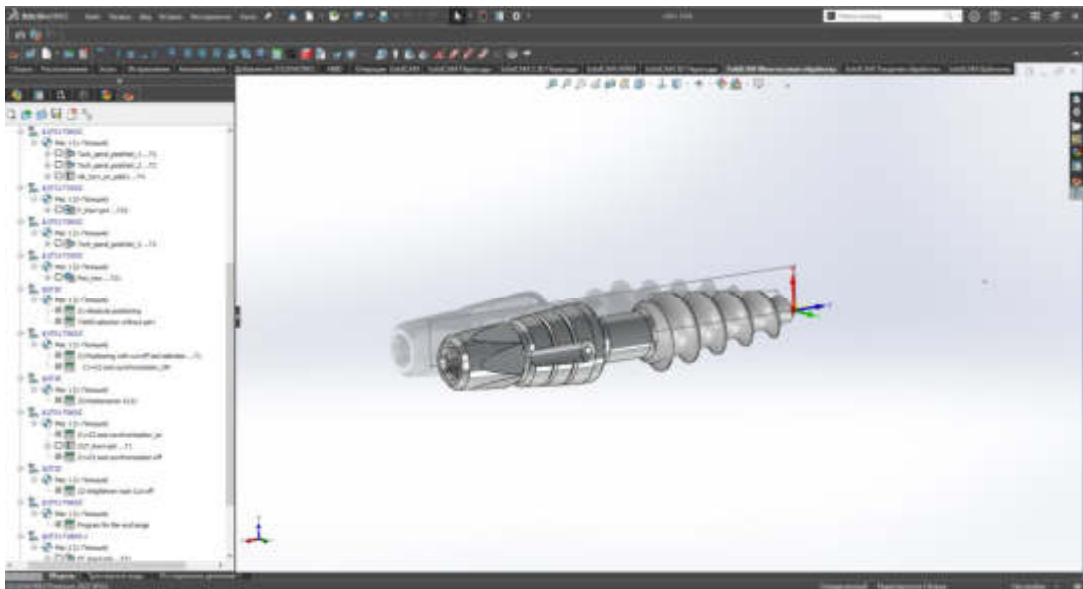


Рисунок 9.1 – Інтерфейс програми «SolidCAM».

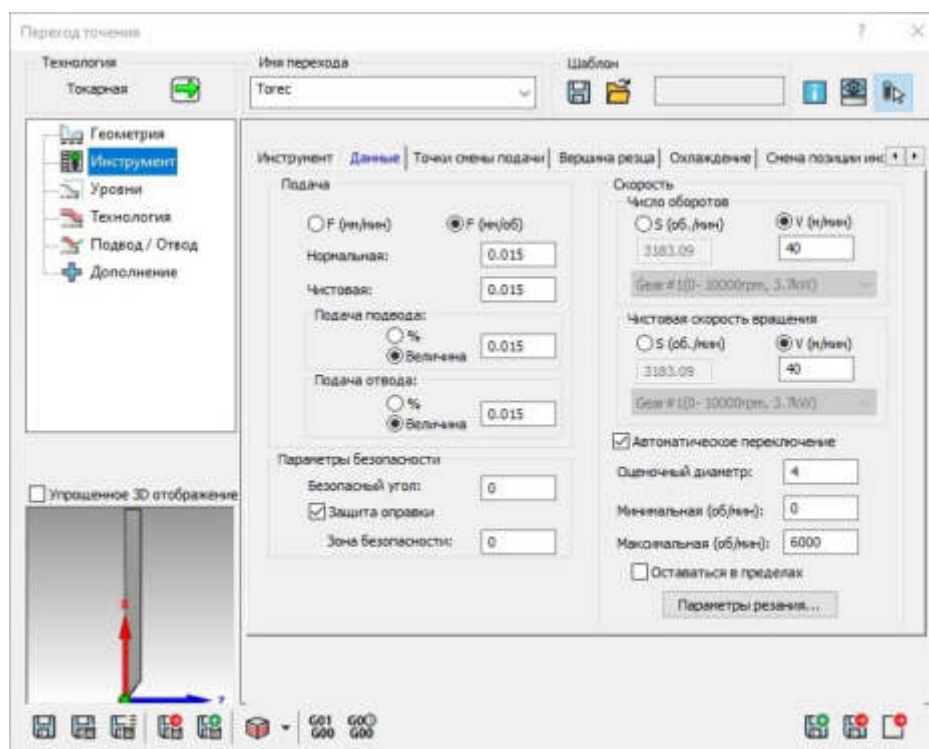


Рисунок 9.2 – Вибір інструменту та налаштування режимів обробки. Виставляємо переходи між двома шпинделями для обробки двох сторін у менеджері переходів (Рисунок 9.3).

На наступному рисунку зображена симуляція верстату.

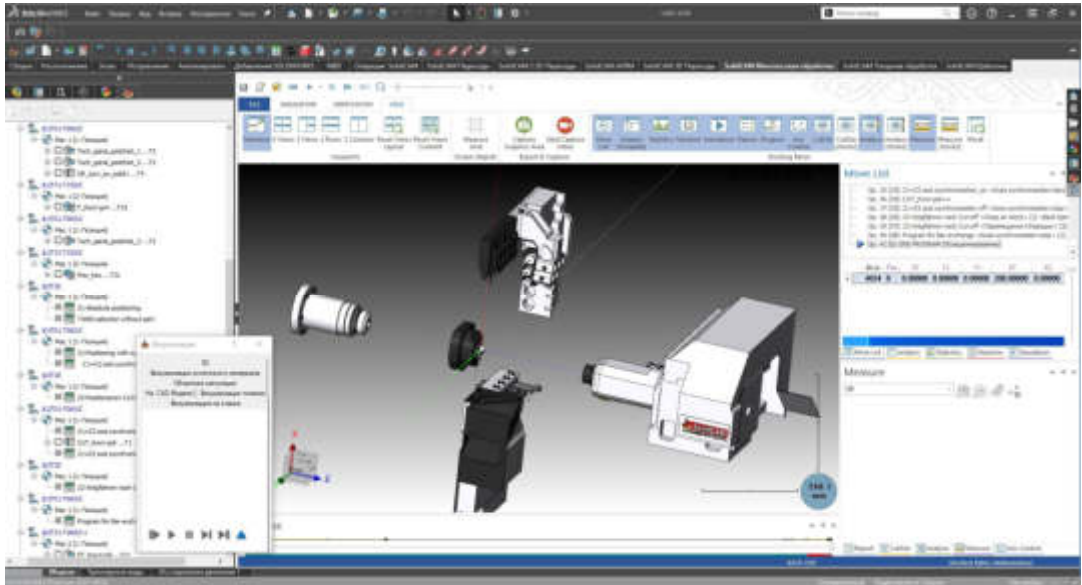


Рисунок 9.5 – Симуляція в SolidCAM

На рисунках нижче представлено симуляцію переходів (Рис. 10.1 – 10.8).

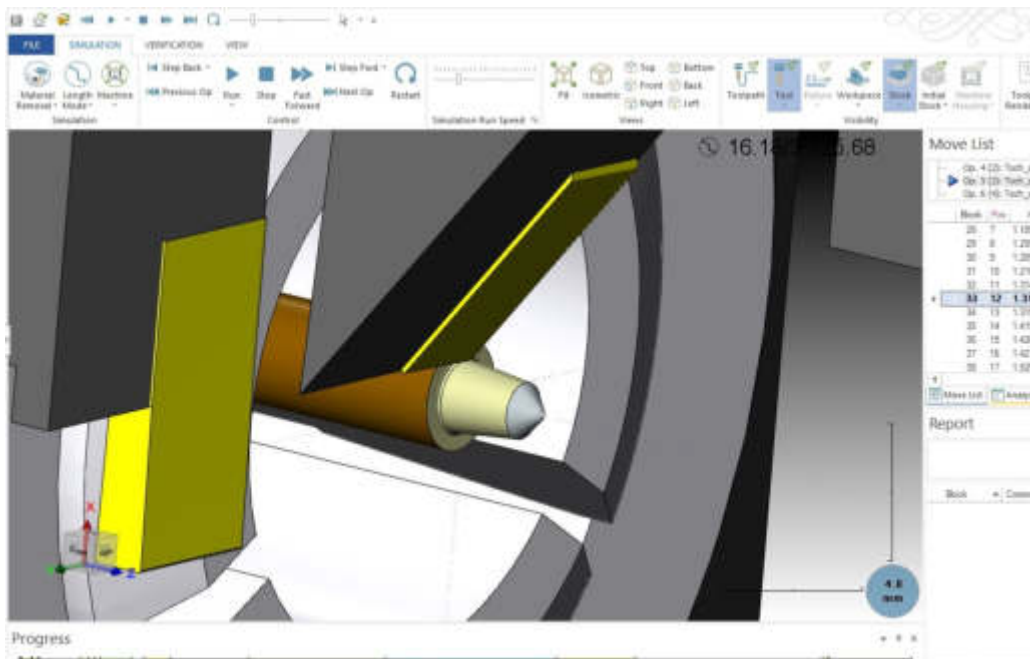


Рисунок 10.1 – Симуляція на верстаті обробки торця та зовнішньої циліндричної поверхні.

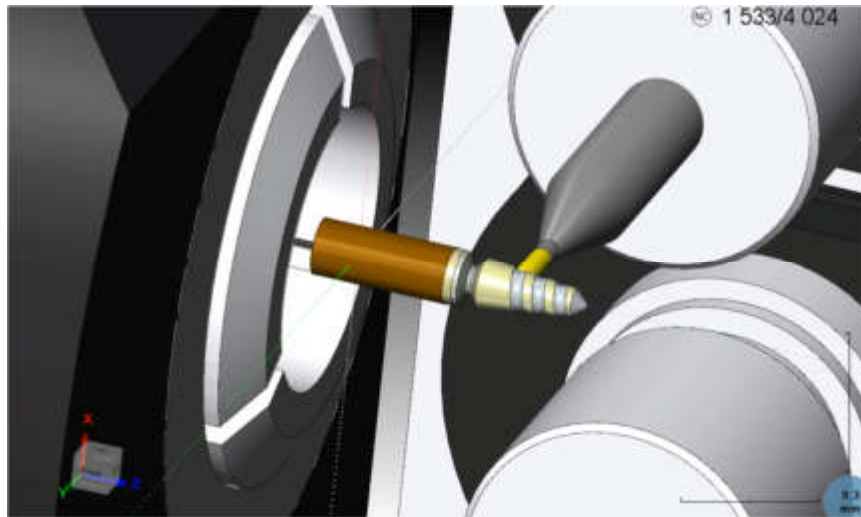


Рисунок 10.2 – Симуляція фрезерування різьби.

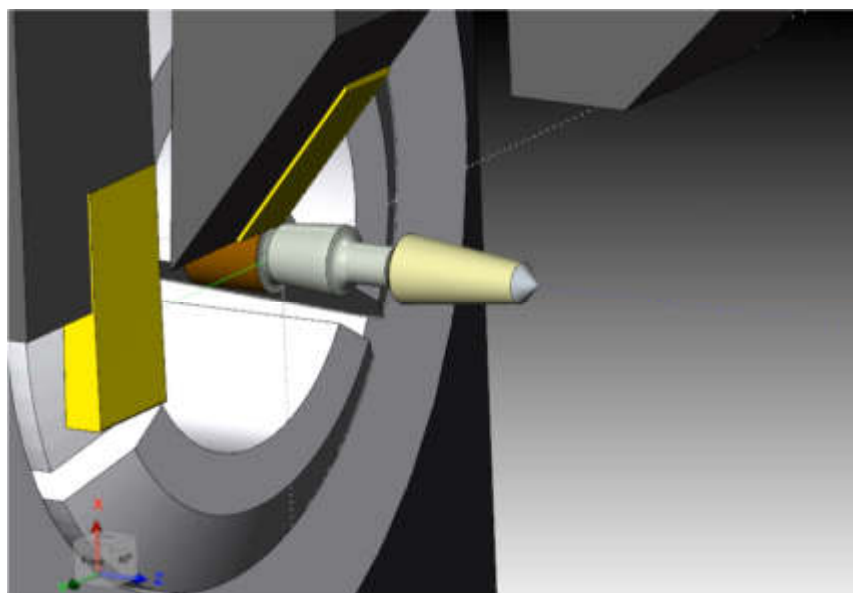


Рисунок 10.3 – Симуляція зовнішнього точіння другої половини.

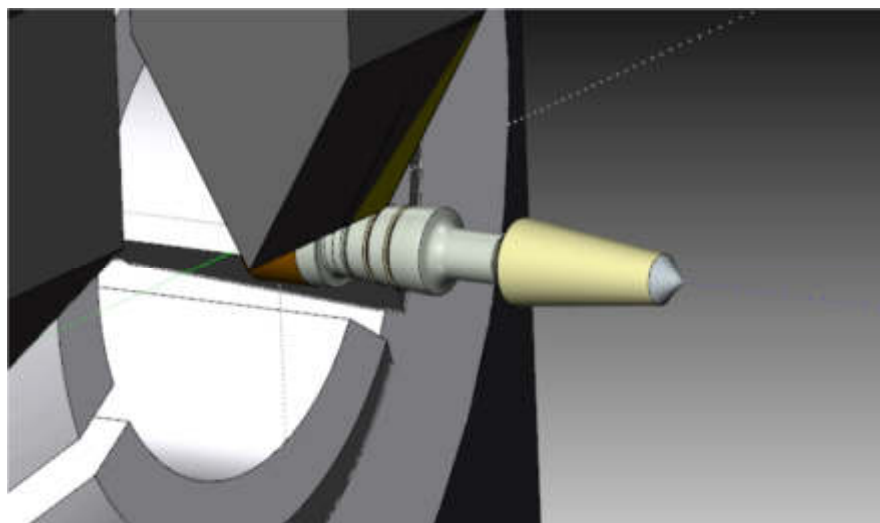


Рисунок 10.4 – Симуляція точіння канавок.

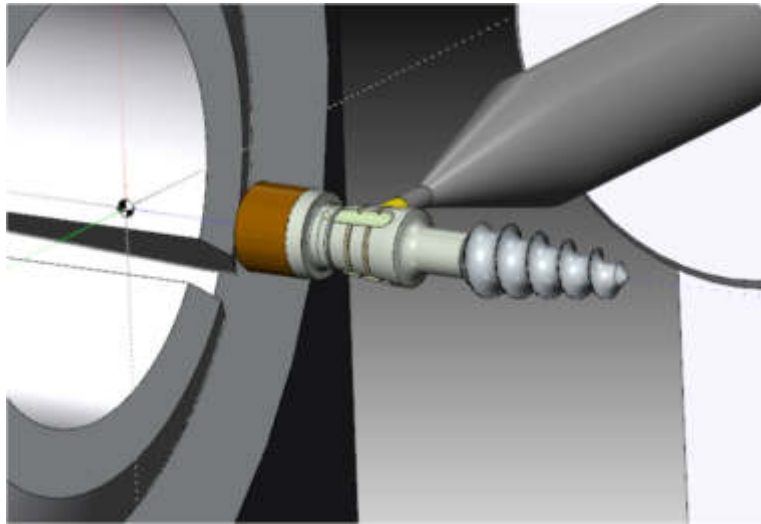


Рисунок 10.5 – Симуляція фрезерування канавок.

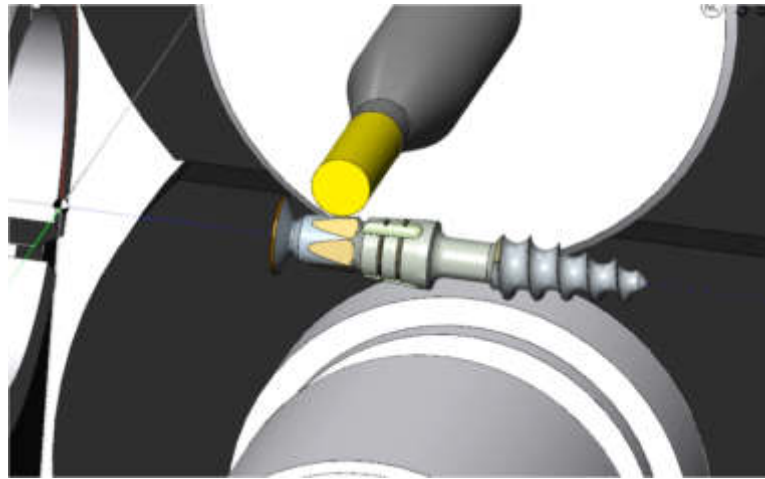


Рисунок 10.6 – Симуляція фрезерування лисок шестигранника

Після завершення обробки першої сторони деталь перехоплюється контршпінделем та відрізається для подальшої обробки з другої сторони.

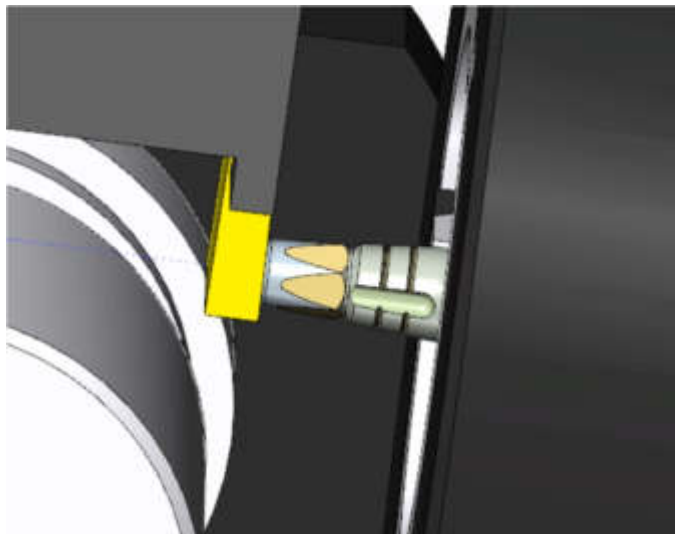


Рисунок 10.7 – Відрізка та перехват.

На рисунку 10.8 можна побачити симуляцію обробки заднього торця, та наступне свердління отвору с подальшим зенкуванням та нарізанням різьби.

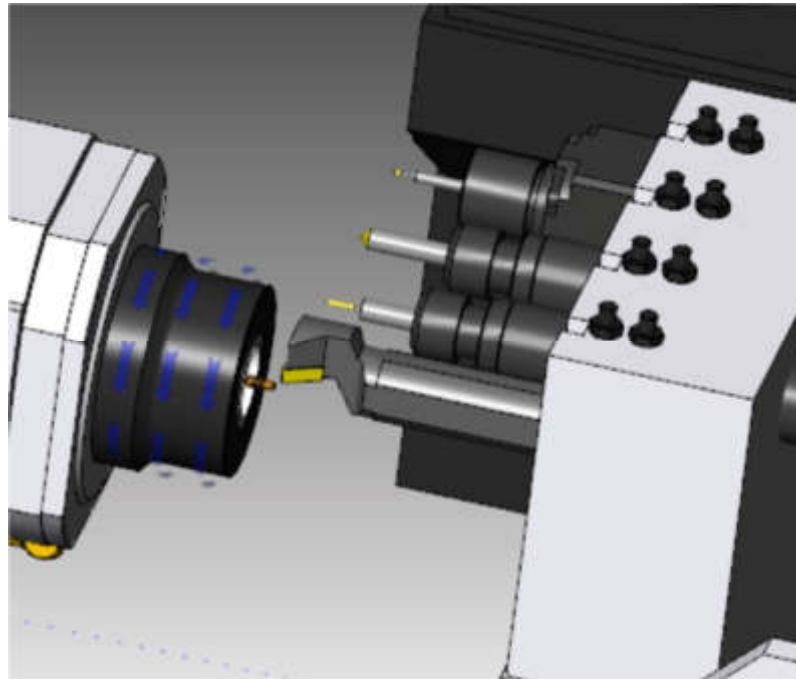


Рисунок 10.8 – Симуляція точіння лівого торця та виготовлення внутрішньої різьби.

3.4. Створення керуючої програми для верстата.

Після того, як програма провела симуляцію та перевірила на наявність помилок, відбувається автоматичне створення керуючої програми для верстата (Рис.11).

Нижче представлений фрагмент коду для верстата з ЧПК.

1. Програма для першого шпінделя

```
%  
O0001(UNO 3508)  
  
(DATE-TIME - 8-APR-2024 - 14:13:34)  
(PROGRAMMER - ZHURAVELS)  
(PP-REVISION - 01.01-28/02/2024)  
(SOLIDCAM-BUILD - 145332)  
  
G97 M38  
G18 G40 M9  
G0 U#5081 W#5082 T0 M5  
  
#531=4(BAR DIAMETER)  
#530=18(PART LENGTH)  
#529=2500(SPINDLE SPEED/CONSTANT SPEET SURFACE)  
#524=-0.8(CUT OFF END POSITION)
```

#523=100(CUT-OFF TOOL NUMBER)
#528=2(CUT-OFF TOOL WIDTH)
#522=0.02(CUT-OFF FEED RATE)
#521=12(SAFETY LENGTH)
#533=10.19(CUT-OFF TOOL OFFSET)
#532=0(MAX SPINDLE SPEED)
#519=0.1(ALLOWANCE STOCK ON MAIN SPINDLE)
#516=0.05(ALLOWANCE STOCK ON BACK SPINDLE)
#518=0(CUTTING DEPTH DURING AUTO CUT-OFF 0 = OFF)
#517=0.25(RETRACTION DISTANCE)
#515=1(X-POS WHERE FEED RATE BECOME HALF)
#101=PRM[1320]/[2] (MAX Z STROKE)
#525=#101-#530-#521(Z-NULLP.VERS.)

G266 A[#531] X[#524] W[#530] S[#529] T[#523] B[#528] Z[#525] F[#522] K[#533] Q[#532]
M25
G300 U#518 I#517 K#515(START PROGRAM)

(CHECK BAR END)
M80
/G0 X[#531+1] W-0.5
/M98 P5000
M81

N9999
G125
G97
G99
G40
M3 S500
M11
G0 T0
G0 Z[-#519]
M25
M10
M200
M20
M150
M10
M25
G0 X[#531+1] Z-1.5

(TOREC)
N1
T200
(E)
G50 S6000
G96 S40 M3
G18
G0 G99 X5.0 Y0.0 Z-0.6 T2
G0 Z1.063
G1 X2.698 F0.015

G1 X0.836 Z0.132
G3 X0.2 Z0.0 R0.449
G1 X-0.4
G0 T0
G97

M54
M230
M240

M40
M250

(CUT-E)
G97 S1000 M3
G18
G0 G99 X6.0 Y0.0 Z[18.05+#528]
G0 X4.5
G1 X-0.198 F0.1
G0 X5.0
G0 X6.0

M41
M260
M270

(BAR-EXCHANGE)
M80
/G0 X[#531+1] W-0.5
/M98 P5000
M81
M280
M99 P9999
M30
%

2. Програма для другого шпінделя.

%
O0001(UNO 3508)

(DATE-TIME - 8-APR-2024 - 14:13:35)
(PROGRAMMER - ZHURAVELS)
(PP-REVISION - 01.01-28/02/2024)
(SOLIDCAM-BUILD - 145332)

#535=0(COLLET EXTENSION LENGTH)
#536=11.5(PICK-UP POSITION)

G97
G0 G18 G40 M9
G0 U#5081 W#5082 T0
G28 W0
G28 U0
M58

N9999
 G130
 G97
 G40 G99
 M5
 T2000
 M200
 M20
 M25

(FT-E)
 G97 S1000 M3
 N1
 T2100
 (E)
 G132
 G18
 G0 G99 X-5.2 Y0.0 Z0.0 T21
 G0 X-4.24
 G1 X0.398 F0.05
 G1 Z-1.002
 G0 X-5.2
 G0 T0
 M1

(WEGFAHREN NACH CUT-OFF)

M68
 G1 G98 W-2.0 F500
 M69
 G28 W0
 M270
 M280
 M99 P9999
 M30
 %

3.5. Підбір інструментів та режимів різання.

Для виготовлення деталі «Зубний імплант» обираємо ріжучий інструмент виробника ISCAR та KORLOY. Оформляємо у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Інструменти та режими різання.

Вид обробки	Найменування інструменту	Основні характеристики
Токарна	SDJCL 1212K-07S Пластина DCMT 070202-SM	12x12x125 V _c = 40-60 м/хв F = 0.10-0.25 мм/об a _p = 1.0-3.0 мм
Фрезерна	ZBE2015-050-S6 PC315E	50x6 V _c = 40-70 м/хв F = 0.1-0.2 мм/об a _p = 1.0-2.5 мм

Токарна	SDJCL 1212K-07S Пластина DCMT 070202-SM	12x12x125 V _c = 40-60 м/хв F = 0.10-0.25 мм/об а _p = 1.0-3.0 мм
Токарна	SDNCN 1212F-11 Пластина DCGT 11T302-SM	12x12x80 V _c = 60-90 м/хв F = 0.10-0.2 мм/об а _p = 1.0-3.0 мм
Фрезерна	SBET2010-050 UL1	50x6 V _c = 30-60 м/хв F = 0.1-0.2 мм/об а _p = 1.0-2.5 мм
Токарна	SDJCL 1212K-07S Пластина DCMT 070202-SM	12x12x125 V _c = 40-60 м/хв F = 0.10-0.25 мм/об а _p = 1.0-3.0 мм
Фрезерна	PDE2060 DP200	60x8 V _c = 30-50 м/хв F = 0.05-0.15 мм/об а _p = 0.25-1.5 мм
Токарна	DGTL 12B-1.0-D22SH Пластина DGL 1001J-8D-D22	12x12x120 V _c = 40-60 м/хв F = до 6 мм/об а _p = 0.08-0.20 мм
Токарна	SCACR 1212K-09S Пластина CCMT 3-1-WG	12x12x125 V _c = 70-150 м/хв F = 0,055-0,118 мм/об а _p = 0.16-0.79 мм
Свердлильна	MSDP011-7N FG2	40x1.1 V _c = 30-70 м/хв F = 0,1-0,2 мм/об а _p = 0.5-3 мм
Зенкувальна	CCT060-030 FA2T	40x3 V _c = 50-80 м/хв F = 0,1-0,3 мм/об а _p = 0.5-1.5 мм
Фрезерна (різьба)	MTECS 03011C4 0.3ISO M1.4x0.3-6H	39x3 V _c = 30 м/хв Шаг = 0.3 мм/об

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

Проектування та розрахунок на міцність згідно ISO 14801 стоматологічних (дентальних) одно-етапних імплантатів «UNO».

4.1. Вступ.

У даному розділі описана конструкція одно-етапних імплантатів «UNO», їх призначення та застосування. Також у розділі представлено розрахунок на міцність.

Розрахунки базуються на стандарті ISO 14801 «Dentistry – Implants – Dynamic loading test for endosseous dental implants».

Розрахунок на міцність складається з декількох етапів:

1. Визначення максимального статичного навантаження розрахунково-теоретичним методом;
2. Визначення максимального статичного навантаження методом кінцевих елементів;
3. Розрахунок на втому при динамічному навантаженні.

Розрахунок на втому при динамічному навантаженні ведеться до тих пір поки не почнеться 100% руйнування імплантату. Приблизна сила навантаження визначається згідно результатів отриманих при розрахунку максимального статичного навантаження. Розрахунок динамічного навантаження ведеться при 5×10^6 кількості циклів та при частоті $f=15\text{Hz}$, у повітряному середовищі при 20°C .

Розрахунок методом кінцевих елементів відбувається у програмному середовищі SolidWorks 2023 з використанням додаткового пакету SolidWorks Simulation. Діаграми напруги матеріалів S-N взяті з додаткових матеріалів, які включені в пакет SolidWorks Simulation.

Вхідні данні до розрахунку:

- Навколишнє середовище – повітряне середовище;
- Температура навколишнього середовища – $20^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$;

- Частота навантаження – 15 Hz;
- Кількість циклів – 5×10^6 ;
- Матеріал імплантатів – Ti Grade 5 (Ti6AL4V-ELI) ASTM F137-13 (фізико-хімічні властивості см. Додаток 2);

4.2.Опис конструкції та призначення одно-етапних імплантатів «UNO».

Одно-етапні імплантати – це імплантати, які мають суцільну конструкцію різьбової частини імплантату з абатментом. Ці імплантати використовуються при одно-етапній імплантації - метод, при якому встановлення зубного імпланту та фіксація зубної коронки відбуваються в один етап за одне відвідування.

Одно-етапні імплантати «UNO» мають в лінійному ряді наступні діаметри та довжини:

- Імплантати UNO діаметром 2,5 мм мають довжини 8/10/11,5/13/16 мм.
- Імплантати UNO діаметром 3,0 мм мають довжини 8/10/11,5/13/16 мм.
- Імплантати UNO діаметром 3,5 мм мають довжини 8/10/11,5/13/16 мм.
- Імплантати UNO діаметром 3,75 мм мають довжини 6/8/10/11,5/13 мм.
- Імплантати UNO діаметром 4,2 мм мають довжини 6/8/10/11,5/13 мм.

Одно-етапні імплантати «UNO» мають наступні конструктивні елементи:

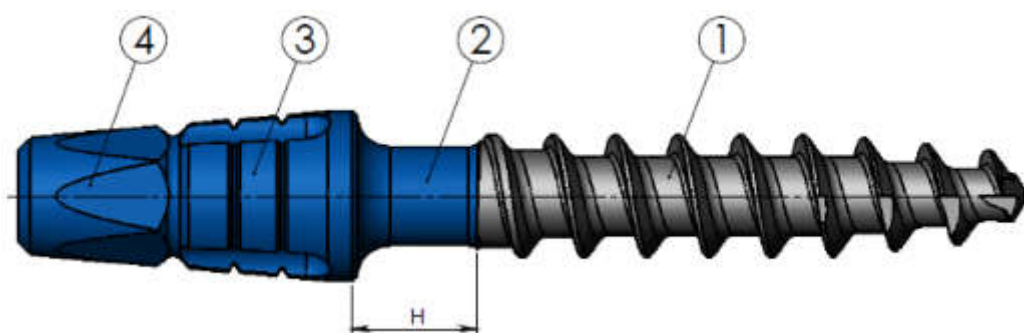


Рисунок 11 - Одно-етапні імплантати UNO 2.5, 3.0 та 3.5 мм.

1. Різьбова частина імплантату;
2. Шийка імплантату;
3. Абатмент імплантату;
4. Зовнішній шестикутник 2,50 мм.

Імпланти UNO 3.0 та 3.5 мають гнучку шийку з висотою $H=3.0$ мм.

Використання титану марки Grade 5 (Ti6AL4V-ELI) ASTM F137-13 обумовлено тим, що дана марка титану має вищі показники міцності, у порівнянні з титаном Grade 4. Обидві марки титану є біосумісні та використовуються у медичній галузі.

Недоліком титану Grade 5 є наявність легуючих елементів, тому в виробництві імплантів більших діаметрів 3,75 та 4,2 мм використовується титан Grade 4.

4.3. Розрахунок на максимальне статичне навантаження розрахунково теоретичним методом.

Розрахунково-теоретичний метод – метод розрахунку міцності виробу, оснований на загальних принципах та законах опору матеріалів.

Одно-етапні імпланти мають суцільну конструкцію різьбової частини імплантату з абатментом, тому для розрахунку вибираємо схему навантаження (Рис.1) імплантату з'єднаного з прямим абатментом, яка описана у підрозділі 5.2.2, розділу 5.2 Loading geometry стандарту ISO 14801.

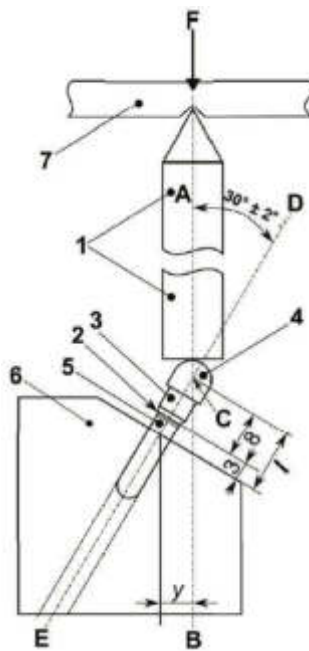


Рисунок 11.1 - Схема навантаження для систем імплантів з'єднаних з прямими абатментами.

1. Навантажувальний пристрій;
2. Номінальний рівень кістки;
3. Прямий абатмент;
4. Напівсферичний ковпачок;
5. Дентальний імплантат;
6. Тримач зразка;
7. Силовий пристрій;

Дентальний імплантат, з'єднаний з прямим абатментом, повинен бути зафіксовано таким чином, щоб прикладене навантаження було розташовано під кутом $30^{\circ} + 2^{\circ}/-2^{\circ}$. Центр навантаження повинен перебувати на перетині з віссю прямого абатменту та площини, яка перпендикулярна центральній вісі імплантату, та розташована на відстані 11 мм від рівня тримача імплантату. Зразок імплантату повинен бути встановлений на відстані $3 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ від номінального рівня кістки.

Згідно підрозділу стандарту 4.3 Worst-case testing за об'єкт дослідження було обрано найгірший випадок, який може існувати у системі одно-етапних імплантатів «UNO», це імплантат з найменшим діаметром різьбової частини 2,5 мм та з найбільшою довжиною 16 мм. З лінійного ряду імплантатів UNO 2.5 було обрано імплантат з висотою шийки 2,5 мм, так як в цьому випадку утворюється найбільше плече навантаження.

Даний вибір базується на вказівках, описаних у додатку Annex B «Guide to determination of worst-case conditions» стандарту ISO 14801.

Одно-етапний імплантат UNO 2.5x16 H2.5 виготовлений з матеріалу Grade 5 (Ti6AL4V-ELI) ASTM F137-13 має геометричні параметри зображені на Рис. 2.

Титан Grade 5 (Ti6AL4V-ELI) ASTM F137-13 має наступні фізичні властивості:

- Межа плинності $\sigma_n = 980 \text{ (MPa)}$

- Міцність на розтягування $\sigma_p = 1100$ (МПа)

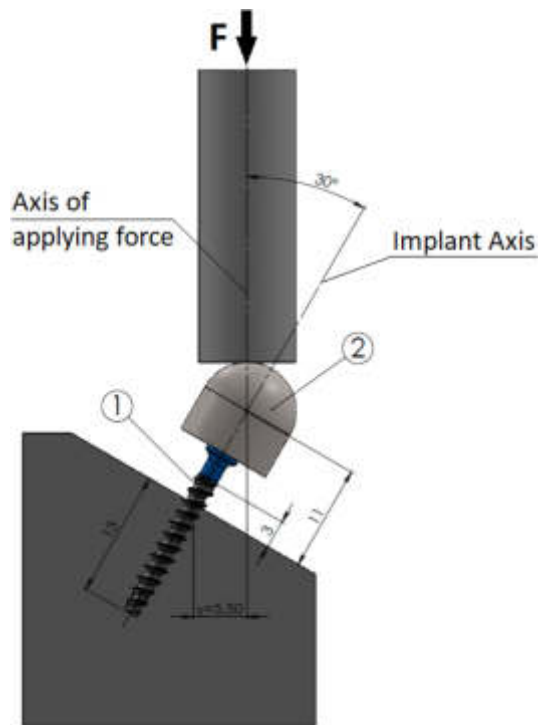


Рисунок 11.2 – Схема кріплення навантаження

Найслабше місце імплантату знаходиться на лінії стику з тримачем, 3 мм від номінального рівня кістки. Це місце з найменшим діаметром та на стику виникає найбільше значення згинаючого моменту.

Виходячи з рівняння виникаючої напруги можемо розрахувати максимальну силу навантаження:

$$[\sigma] = \sigma_p = \frac{M_{зг}}{W_y} = \frac{F * y}{W_y};$$

$$F_{max} = \frac{W_y * \sigma_p}{y};$$

Де:

$M_{зг}$ – виникаючий згинаючий момент;

W_y - момент осевого опору;

y – плече прикладеної сили;

F – прикладена сила;

σ – виникаюча напруга;

Для розрахунку необхідно визначити значення моменту осевого опору найслабшого поперечного перетину.

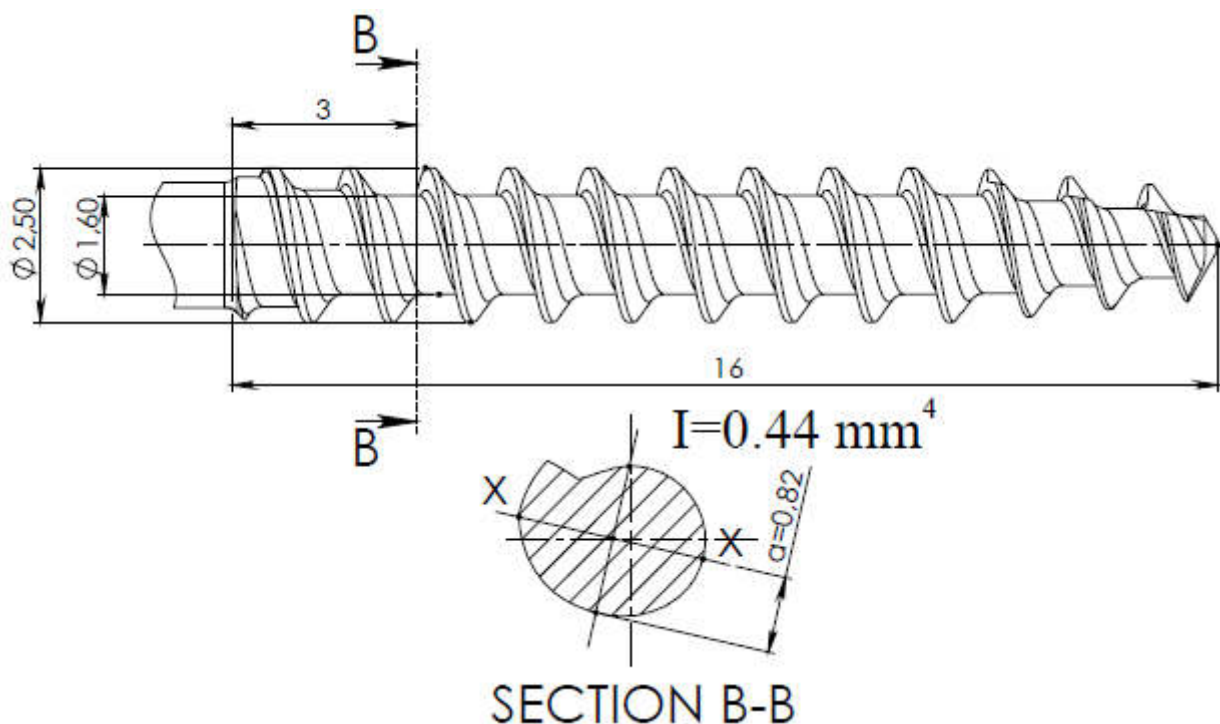


Рис. 11.3 - Розміри найслабшого поперечного перетину імплантату UNO 2516 Н2.5

I – осьовий момент інерції. Визначається за допомогою аналізу поперечного перетину у програмному середовищі SolidWorks.

$$W_y = \frac{I}{a} = \frac{0.44}{0.82} = 0.537 \text{ mm}^3$$

Максимальне статичне навантаження, яке може бути прикладене, дорівнює:

$$F_{max} = \frac{W_y * \sigma_p}{y} = \frac{0.537 * 1100}{5.5} = 107.4 \text{ Н}$$

Максимально допустиме навантаження на імплантат дорівнює:

$$F_{max} = \frac{W_y * \sigma_{II}}{y} = \frac{0.537 * 980}{5.5} = 95,68 \text{ Н}$$

Допустиму силу на кусання приймаємо рівною 95 Н.

4.4. Розрахунок на максимальне статичне навантаження методом кінцевих елементів (МКЕ).

Метод кінцевих елементів (МКЕ) - це чисельний метод рішення диференціальних рівнянь з приватними похідними, а також інтегральних рівнянь, що виникають при вирішенні завдань прикладної фізики. МКЕ використовується як численний метод аналізу технічних конструкцій. Розрахунок методом кінцевих елементів відбувається у програмному середовищі SolidWorks 2023 з використанням додаткового пакету SolidWorks Simulation.

Вхідними даними до розрахунку МКЕ є 3D моделі отримані в результаті проектування виробів в програмному середовищі SolidWorks 2023 (Рис. 11.2).

Визначення максимального статичного навантаження розраховується за критерієм максимальної напруги по Мізесу, яка базується на теорії Мізес-Хенкі. Теорія затверджує, що пластичний матеріал починається руйнуватися в місцях, де напруга по Мізесу дорівнює граничному навантаженні. У якості граничного навантаження використовується межа міцності на розтягування σ_p .

Граничні умови для збірки імплантату UNO 2516 H2.5:

1. Матеріал імплантату – Ti Grade 5 (Ti6AL4V-ELI) ASTM F137-13
2. Сила навантаження $F=107$ Н (згідно розрахунків у розділі 4.3)
3. Максимальна виникаюча напруга – $\sigma_{II} = 980$ (МПа).

Результатом розрахунків (Рис. 11.4) є максимальна виникаюча напруга $\sigma=980$ МПа, що дорівнює межі міцності σ_p . виходячи з цього максимальне статичне навантаження, яке може бути прикладене на імплантат UNO 2516 H2.5, дорівнює 117 Н, що співпадає з результатом отриманим у розділі 4.3.

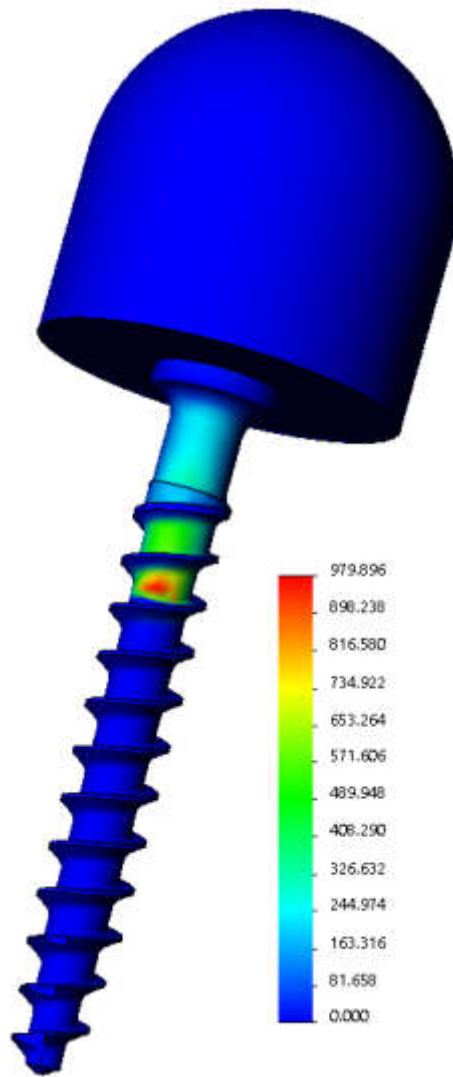


Рисунок 11.4 – Результати розрахунків

4.5. Розрахунок на втому при динамічному навантаженні.

Повторювані операції прикладання навантаження і її ослаблення з часом призводять до ослаблення об'єктів, навіть якщо індуковані напруги набагато менше, ніж допустимі обмеження навантаження. Це явище називається втомою матеріалів. Статичні дослідження конструкцій не прогнозують руйнування від втоми. Вони обчислюють реакцію конструкції, піддану впливу заданих умов середовища обмежень і навантажень. Якщо дотримуються припущення аналізу і обчислені напруги знаходяться всередині допустимих меж, вони роблять висновок, що конструкція є безпечною в цьому середовищі незалежно від того, скільки разів прикладається навантаження. Дослідження

втоми обчислюють термін служби об'єкта, заснований на подіях втоми матеріалів і кривих S-N.

Втомна міцність визначається шляхом застосування до окремих зразків різних рівнів циклічної напруги і вимірювання кількості циклів для руйнування. Графічним представленням точок даних втоми є співвідношення амплітуди циклічної (або змінної) напруги (S - вертикальна вісь) і кількості циклів для руйнування (N - горизонтальна вісь). Втомна міцність визначається як напруга, при якому втомлюючи руйнування відбуваються при заданій кількості циклів.

Зразки випробовуються при поступово змінних рівнях навантаження до тих пір, поки руйнування зменшується в межах обраного максимальної кількості циклів

Розрахунок на втому ведеться на основі результатів отриманих у розділах 4.3 та 4.4. Діаграми напруги матеріалів S-N взяті з додаткових матеріалів, які включені в пакет SolidWorks Simulation.

Об'єктом дослідження є дентальний імплантат виготовлений з матеріалу Ti Grade 5 (Ti6AL4V-ELI) ASTM F137-13. Розрахунок динамічного навантаження ведеться при кількості циклів 5×10^6 , при частоті $f=15\text{Hz}$, у повітряному середовищі при 20°C . Розглянемо криву S-N, яка відповідає матеріалу Ti Grade 5 (Ti6AL4V-ELI) ASTM F137-13, на Рис. 15.

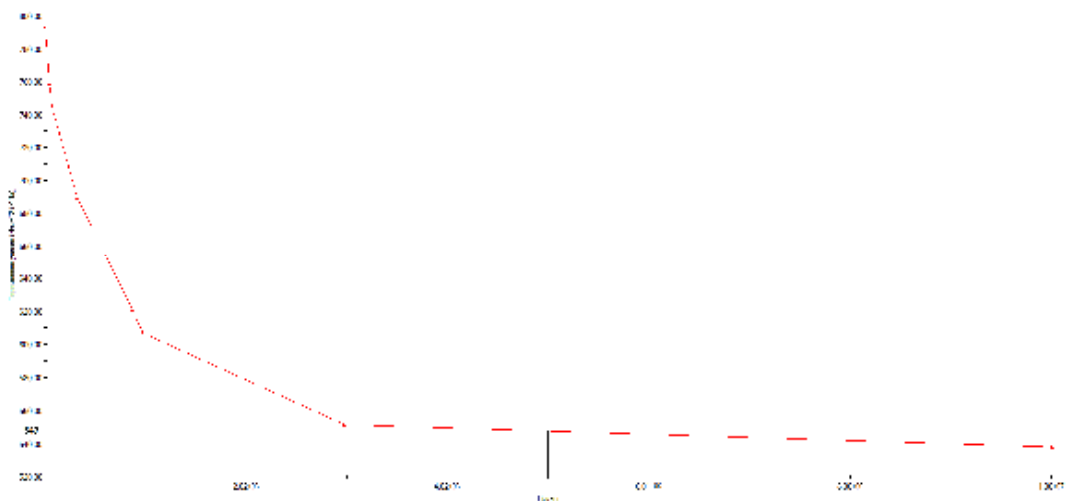
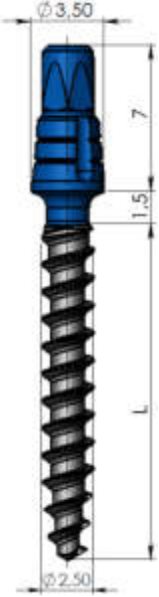
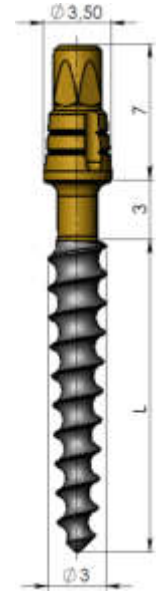
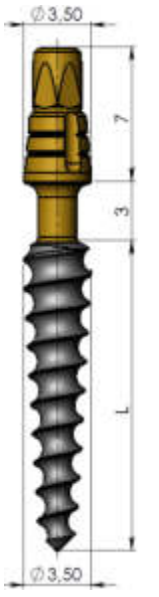
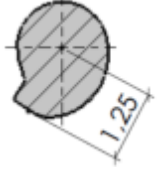
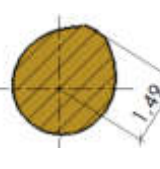



Рисунок 15 – Діаграма напруги

4.6. Визначення навантаження на імпланти.

На основі розрахунків одно-етапного імплантату UNO 2516 H2.5 можемо визначити навантаження на імпланти інших діаметрів. У таблиці нижче зображено геометричні параметри імплантатів та властивості найслабшого поперечного перетину.

Таблиця 4.6 – Параметри імплантатів

Імплант	UNO 2.5	UNO 3.0	UNO 3.5
Зображення			
Поперечний перетин			
Матеріал	Ti Grade 5	Ti Grade 5	Ti Grade 5
σ_p	1100 МПа	1100 МПа	1100 МПа
σ_{II}	980 МПа	980 МПа	980 МПа
Циклічна напруга	547 МПа	547 МПа	547 МПа
Осьовий момент інерції	0.44 mm ⁴	1.20 mm ⁴	2.47 mm ⁴
Момент осьового опору	0.537 mm ³	1.10 mm ³	1.885 mm ³
Плече сили	5.5 mm	5.5 mm	5.5 mm
Макс. статичне навантаження	105 Н	220 Н	370 Н

Макс. допустиме навантаження	95 Н	195 Н	330 Н
Макс. динамічне навантаження	50 Н	105 Н	180 Н

Максимальний крутний момент, який може бути прикладений до імплантату UNO 2.5, дорівнює:

$$M_{max} = \sigma_p * W_{кр}$$

Де:

$$\sigma_p = 980 \text{ МПа};$$

$W_{кр}$ – момент осевого опору при крученні;

$$W_{кр} = \frac{I_{п}}{R} = \frac{1.15}{1.25} = 0.92 \text{ мм}^3$$

$I_{п}$ – полярний момент інерції поперечного перетину (визначається за допомогою інструментів аналізу SolidWorks);

$$M_{max} = 980 * 0.92 = 901.6 \text{ Нмм} = 90,16 \text{ Нсм};$$

Допустимий крутний момент: $M_{кр} = M_{max} * 0.5 = 45.08 \text{ Нсм}$.

Перевіримо розрахунок за допомогою метода МКЕ на 3D моделі імплантату.

Допустима напруга $[\tau] = \sigma_p * 0.7 = 686 \text{ МПа}$.

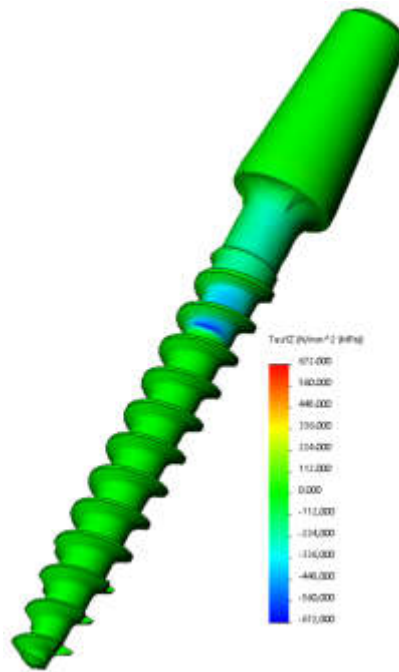


Рисунок 16 – Результат розрахунку крутного моменту

Виникаюча напруга дорівнює 672 МПа, що є менше ніж допустима, тому крутний момент 45 Нсм є задовільним, для загвинчуванні імплантатів UNO 2.5.

Аналізуючи отримані результати даного звіту, можемо зробити наступні висновки:

1. Згідно розрахунків, максимальне жувальне навантаження на імплантати UNO 2.5 дорівнює 50 Н. Максимальне жувальне навантаження людини в зоні різців 54 Н. Тому імплантати можуть бути встановлені лише в зоні різців і використовуватися, як для одиночних конструкцій, так і для мостових.
2. Максимальне жувальне навантаження на імплантати UNO 3.0 дорівнює 105 Н. Імплантати можуть бути встановлені в зону різців та кликів, з одиночною або мостовою конструкцією протеза.
3. Максимальне жувальне навантаження на імплантати UNO 3.5 дорівнює 180 Н. Імплантати можуть бути встановлені в зону різців, кликів та пре-молярів з одиночною або мостовою конструкцією протеза.

ВИСНОВОК

У даній кваліфікаційній роботі виконаної на тему "Аналіз стратегій програмного фрезерування деталі «Зубний імплант» на верстатах з ЧПК методами SolidWorks", були розглянуті та детально проаналізовані різні аспекти програмного фрезерування деталей з використанням сучасних CAD/CAM систем. Робота включає кілька розділів, кожен з яких має своє значення та результати.

- В аналітичному розділі було проведено аналіз матеріалу і його характеристик. Встановлено, що матеріал має високі механічні властивості, які забезпечують його надійність і довговічність у використанні для виготовлення зубних імплантів. Також було розглянуто конструктивні особливості деталі, що дозволило оптимізувати технологічний процес її виготовлення. Було проаналізовано її технологічність.
- В технологічному розділі розроблено технологію механічної обробки деталі "Зубний імплант". Використання CAD/CAM систем дозволило оптимізувати процес розробки керуючих програм для верстатів з ЧПК. Розглянуто типи виробництва, їх переваги та недоліки. Також було розроблено маршрут обробки з врахуванням особливостей обраного обладнання та його характеристик.
- В спеціальному розділі був присвячений вибору обладнання та інструментів, які використовуються при виготовленні деталі. Підібране обладнання до верстату з ЧПК і інструменти забезпечили високопродуктивні режими різання, що знижує виробничі витрати та підвищує ефективність процесу. Також детально розглянуто можливості програмування у програмі SolidCAM з проведенням симуляції обробки на верстаті. В результаті було створено дві управляючі програми обробки деталі на верстат.

- В науково-дослідницькому розділі проведено дослідження статичних навантажень на конструкцію деталі за допомогою системи Solid Simulation. Результати моделювання показали, що деталь відповідає всім вимогам міцності та надійності, що підтверджує доцільність обраної стратегії програмного фрезерування.

Використання сучасних CAD/CAM систем забезпечує мінімізацію виробничих відходів, знижує енерговитрати та мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище. Зменшення людського фактора в процесі виготовлення деталі значно знижує кількість помилок.

Практична цінність роботи полягає в рекомендаціях щодо застосування сучасних інструментальних матеріалів і покращення навичок роботи з інженерними програмами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістрів спеціальності 131 Прикладна механіка (освітньо-професійна програма «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва») / В.В. Проців, С.Т. Пацера, В.А. Дербаба, О.О. Богданов, С.Г. Пінковський; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 44 с
2. Салов В.О. Макет методичних рекомендацій до виконання кваліфікаційних робіт : мет. посіб. для наук.-пед. пр-ів. / В.О. Салов ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2019. – 37 с.
3. Kravchenko, Yu., & Derbaba, V. (2020). Empirical definition of the shearing angle and chip-edge contact length when cutting. Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 63, 123-133. <http://znp.nmu.org.ua/index.php/en/archives/33-63en/358-63en11>.
4. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.
5. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
6. ДСТУ 2.104-2006 Єдина система конструкторської документації. Основні написи.
7. ДСТУ 3.1103:2014 Єдина система технологічної документації. Основні написи. Загальні положення.
8. Петраков Ю.В. Розвиток САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПК: Монографія. – Київ, Січкар, 2011. – 220 с.
9. Щербина Є.Ю. Критерії стійкості ріжучого інструменту для
10. висошвидкісної обробки / Є.Ю. Щербина, В.А. Дербаба, В.А. Козечко // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2022 – № 67 – С.77-95 <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.077>.

11. Інформація щодо властивостей титану:

<https://ua.ertitanium.com/info/what-is-grade-5-titanium-82503921.html>.

12. <https://www.hwn-titan.com/en/titanium-grade-5-semi-finished-products.html>

13. Посилання на офіційного представника верстата:

<https://starcnc.com/product/sr-20jii/>.

14. Посилання на цифровий каталог KORLOY:

<https://catalog.korloy.com/app/main.do>

15. Посилання на цифровий каталог ISCAR:

<https://www.iscar.com/eCatalog/index.aspx>

16. Посилання на головний сайт SolidWorks:

<https://www.solidworks.com/>

17. Посилання на українського виробника дентальної імплантації:

<https://unident.in.ua/>

<https://abmt.com.ua/ua/>