

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Механіко-машинобудівний
(факультет)
Кафедра механічної та біомедичної інженерії
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Донченка Іллі Сергійовича
(ПІБ)
академічної групи 132-20ск-4 ММФ
(шифр)
спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою:

«Біотехнічне та медичне матеріалознавство»
(офіційна назва)

на тему:

**«Удосконалення протезу міжфалангового суглобу з розширеними
функціональними можливостями»**
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи				
розділів:				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи				
Моделювання міжфалангового протезу пальця				
Технологічний розділ				
Експлуатаційний розділ				
Рецензент				
Нормоконтролер				

м. Дніпро

2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Механічної та біомедичної інженерії

(повна назва)

Колосов Д. Л.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)студенту Донченку Іллі Сергійовичу академічної групи 132–20ск–4 ММФ
спеціальності 132 «Матеріалознавство»за освітньо-професійною програмою «Біотехнічне та медичне
матеріалознавство»

на тему:

«Удосконалення протезу міжфалангового суглобу з розширеними
функціональними можливостями»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від

_____ р. № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Аналіз стану питання. Визначення причин ампутації. Будова та структура кисті верхньої кінцівки. Вибір та характеристика прототипу. Постановка задач роботи.	
Моделювання міжфалангового протезу пальця	Етапи розробки та моделювання. Вибір програмного забезпечення. Конструкція протезу. План положень.	
Технологічний розділ	Вибір та обґрунтування матеріалів. Характеристика обраних матеріалів. Досліди на статичне навантаження. Висновки до розділу.	
Експлуатаційний розділ	Інструкція по експлуатації та рекомендації за доглядом. Технічне обслуговування. Утилізація та переробка відходів.	

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

_____ (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 73 с, 43 рис., 6 табл., 30 джерел.

ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛУ, РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ, ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПРОТЕЗ МІЖФАЛАНГОВОГО СУГЛОБУ КИСТІ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ, ОГОЛЕНЕ ПРОТЕЗУВАННЯ, 3D МОДЕЛЮВАННЯ.

Об'єкт дослідження – функціональний протез міжфалангового суглобу пальця кисті верхньої кінцівки.

Мета роботи — Удосконалення протезу міжфалангового суглобу з розширеними функціональними можливостями.

Предмет дослідження — Розкрити та проаналізувати аспекти, що впливають на розширення можливостей функціоналу міжфалангового протезу.

Задачами дослідження є:

- Розробка моделі протезу з використанням пластини з пружного матеріалу.
- Обґрунтування та вплив матеріалу на розширення функціоналу.
- Опис фізичних властивостей та технологічних особливостей.
- Надати експлуатаційні рекомендації по використанню.

Актуальність даної теми полягає в розробці конструкції функціонального міжфалангового протезу суглобу пальця верхньої кінцівки та обґрунтування вибору матеріалів для отримання розширеного функціоналу.

Технології протезування постійно розвиваються й не стоять на місці. І якщо раніше ми вели мову про косметичні протези рук чи ніг, які лише зовні нагадують справжні кінцівки, то сьогодні можемо говорити про досягнутий вражаючий функціонал та можливості.

Тому в даній роботі розглядається розробка та удосконалення протезу міжфалангового суглобу з розширеними функціональними можливостями, що дозволять задовольнити потреби користувача та допомогти швидко адаптуватися до нового стилю життя.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1.....	6
1.1 Причини ампутації пальців кисті верхньої кінцівки.....	6
1.1.1 Причини пов'язані із здоров'ям.....	7
1.1.2 Військові конфлікти.....	8
1.1.3 Виробничий та побутовий травматизм.....	10
1.1.4 Стихійні лиха.....	11
1.1.5 Екстремальні види діяльності та спорту.....	11
1.1.6 Дорожньо-транспортні пригоди.....	11
1.2 Протез як засіб допомоги людям. Види протезів.....	13
1.3 Будова людського пальця кисті верхньої кінцівки.....	15
1.4 Аналіз особливостей сучасного рішення.....	18
1.5 Постановка задач роботи.....	22
Висновок до розділу 1.....	23
РОЗДІЛ 2.....	24
2.1 Опис використаних інструментів моделювання.....	24
2.2 Етапи та процес 3D моделювання.....	26
2.3 Результат 3D моделювання.....	27
2.4 Конструкція протезу та роль кожного елемента.....	31
2.5 План положень.....	36
Висновок до розділу 2.....	37
РОЗДІЛ 3.....	38
3.1 Вибір та обґрунтування матеріалів.....	38
3.2 Характеристика матеріалів пружної пластини.....	39
3.2.1 AISI 316L Stainless Steel.....	39
3.2.2 Ресорно-конструкторська легована вуглецева сталь AISI 1060.....	41
3.2.3 Нейлон 6.....	43
3.3 Розрахунок та формування звітів в Fusion 360.....	46
Висновок до розділу 3.....	58
РОЗДІЛ 4.....	59
4.1 Інструкція по використанню протезу.....	59
4.2 Технічне обслуговування протезу.....	60
4.3 Утилізація та переробка відходів поліаміду на вторинну гранулу.....	60
Висновок до розділу 4.....	66

ВСТУП

Тема даної кваліфікаційної роботи: «Удосконалення протезу міжфалангового суглобу з розширеними функціональними можливостями»

Об'єкт дослідження – функціональний протез міжфалангового суглобу пальця кисті верхньої кінцівки.

У житті людини, яка перенесла ампутацію руки або її частини, відбуваються великі зміни, що вносять свої корективи майже в усі сфери її життєдіяльності та побуту в повсякденному житті. Якщо втрачено навіть дистальну фалангу пальця руки, то вже легкі щоденні завдання, які ще раніше здавалися абсолютно звичними та простими, вимагають нових зусиль і навичок. Тому кожного дня людина, якій не пощастило з ампутацією, буде зустрічатися з незручностями та відчувати себе неповноцінною. Як результат - це негативно відзначиться на її психофізіологічному стані, комфорті та повноцінності життя. Кожного дня пацієнт буде займатися «само-саботажем» та знаходитися в стані жертви, який також проявлятиметься на близьких. Але вже сьогодні є безліч унікальних рішень типу протезування.

Технології протезування постійно розвиваються й не стоять на місці. І якщо раніше ми вели мову про косметичні протези рук чи ніг, які лише зовні нагадують справжні кінцівки, то сьогодні можемо говорити про досягнутий вражаючий функціонал та можливості.

Тому в даній роботі розглядається розробка та удосконалення протезу міжфалангового суглобу з розширеними функціональними можливостями, що дозволять задовольнити потреби користувача та допомогти швидко адаптуватися до нового стилю життя.

Розглянутий протез повинен виглядати естетично та допомогати виконувати втрачену функцію обхвату предметів ампутованого пальця кисті руки, який замінить дистальну фалангу.

В роботі виконаний підбір матеріалів та порівняння їх фізико-механічних властивостей, від яких залежать можливості використання протезу в різних умовах, що дозволить повернутися до побутових справ та навіть професійної

діяльності. А також розглядається питання розширення функціоналу та можливостей протезу.

Кожен випадок ампутації унікальний, тому унікальним є і кожен протез. Його підганяють, враховуючи особливості та умови використання, а лише потім виготовляють. Протез для побутових справ, та протез для професійної діяльності можуть бути конструктивно однаковими, але виготовлятися із різного матеріалу.

Сучасні електронні технології суттєво вплинули на функціонал протезів. Тому в даній роботі розкрито інноваційний підхід, що дозволить максимально корисно та зручно використовувати запропонований протез, що дозволить відтворити втрачені функції.

Актуальність даної теми полягає в розробці конструкції функціонального міжфалангового протезу суглобу пальця верхньої кінцівки та обґрунтування вибору матеріалів для отримання розширеного функціоналу.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Причини ампутації пальців кисті верхньої кінцівки

Для початку роботи над проектуванням протезу необхідно ознайомитися з основними причинами ампутації кінцівок, що дасть можливість аналізувати та оцінити актуальність потреби протезування пальців верхньої кінцівки.

Ампутація пальця кінцівки – це операція з часткового або повного видалення пальця внаслідок його некрозу і виконується лише у разі, коли відновлення цієї частини кінцівки вже неможливо і застосовується як крайня міра, спрямована на усунення процесу некрозу, збереження всієї кінцівки. Треба зазначити, що ампутація — це крайня міра та її невиконання загрожує загибеллю пацієнта.

Причин може бути безліч, тому, аналізуючи їх, можемо поділити випадки ампутації на такі основні групи як:

1. Причини пов'язані із здоров'ям — особисті внутрішні процеси та хвороби, до яких відносяться ішемія кінцівки внаслідок цукрового діабету або гангрени.
2. Військові конфлікти.
3. Виробничий та побутовий травматизм
4. Стихійні лиха.
5. Екстремальні види спорту.
6. Дорожньо-транспортні пригоди.

Розглянемо детальніше кожну з вище перерахованих груп.

1.1.1 Причини пов'язані із здоров'ям

Не у всіх пацієнтів з діабетом розвиваються ускладнення, що можуть призвести до розвитку діабетичної стопи. До групи ризику належать: люди, що зловживають алкоголем;

1. курці;
2. літні пацієнти;
3. люди із порушенням зору;
4. хворі з деформаціями стоп;
5. люди із захворюваннями периферичних артерій;
6. хворі із діабетичною нефропатією і хронічною нирковою недостатністю;
7. пацієнти з дистальною полінейропатією на стадії клінічних проявів.

Всі пацієнти з діабетом та з ураженням нервових закінчень і судин (ішемічні хвороби) повинні щорічно проходити огляд, щоб виявити ризик виникнення ампутації. Пацієнти з групи ризику, повинні проходити огляд кожні півроку, та розуміти, що нанесені рани, проколи, забиті місця, які залишаються непоміченими, перетворюються у незворотні патологічні процеси.

Клінічний огляд дозволяє виявити фактори ризику і запобігти ампутації кінцівки або її частини.

1.1.2 Військові конфлікти

Проаналізовані результати лікування 159 постраждалих, яким виконано ампутацію кінцівок в період з 2014 по 2016 рр. Усі постраждалі належали до військових формувань, безпосередньо брали участь у бойових діях, тобто, мали статус військових. Поранених та постраждалих, які не мали статусу комбатантів (цивільне населення, журналісти, працівники комунальних служб військово–цивільних адміністрацій, рятувальники державної служби надзвичайних ситуацій), проте, отримали травму в зоні бойових дій, що спричинило ампутацію кінцівки, у дослідження не включали, лікували переважно у закладах системи охорони здоров'я України. Вік постраждалих на момент поранення у середньому ($33,04 \pm 1,15$) року, наймолодшому було 18,9 років, найстаршому – 60,3 років. Ампутація кінцівок здійснена у 158 (99,4%) чоловіків та в однієї (0,6%) жінки [1].

Критерії включення пацієнтів у дослідження [1]:

1. Місце виникнення ушкодження: зона бойового конфлікту.
2. Період виникнення поранення: 2014– 2016 рр.
3. Статус пораненого: комбатант.
4. Характер ушкодження: будь–яке ушкодження, що спричинило втрату сегмента кінцівки.
5. Характер оперативного втручання: ампутація або екзартикуляція сегмента кінцівки, в тому числі операції в обсязі первинної хірургічної обробки ран кінцівки з приводу її травматичного відчленування.
6. Місце надання кваліфікованої та спеціалізованої хірургічної допомоги: відомчі лікувальні заклади Міністерства оборони України (обов'язково); цивільні лікувальні заклади та лікувальні заклади інших держав.
7. Тривалість спостереження: від виникнення травми до початку реабілітації або смерті.

Критерії виключення з дослідження[1]:

1. Місце виникнення ушкодження: поза зоною проведення бойових дій.

2. Статус пораненого: цивільне населення, журналіст, працівник комунальних служб військово–цивільних адміністрацій, рятувальник державної служби надзвичайних ситуацій.
3. Характер ушкодження: будь– яке ушкодження, що не спричинило втрату сегмента кінцівки.
4. Місце надання кваліфікованої та спеціалізованої хірургічної допомоги: відомчі лікувальні заклади Міністерства внутрішніх справ України, Служби безпеки України, Державної прикордонної служби України.
5. Тривалість спостереження: відсутність даних до початку реабілітації або смерті пораненого.

Структура ампутації кінцівок залежно від сегмента верхньої та нижньої кінцівки відповідно даним дослідження зображено на рисунку 1.1:

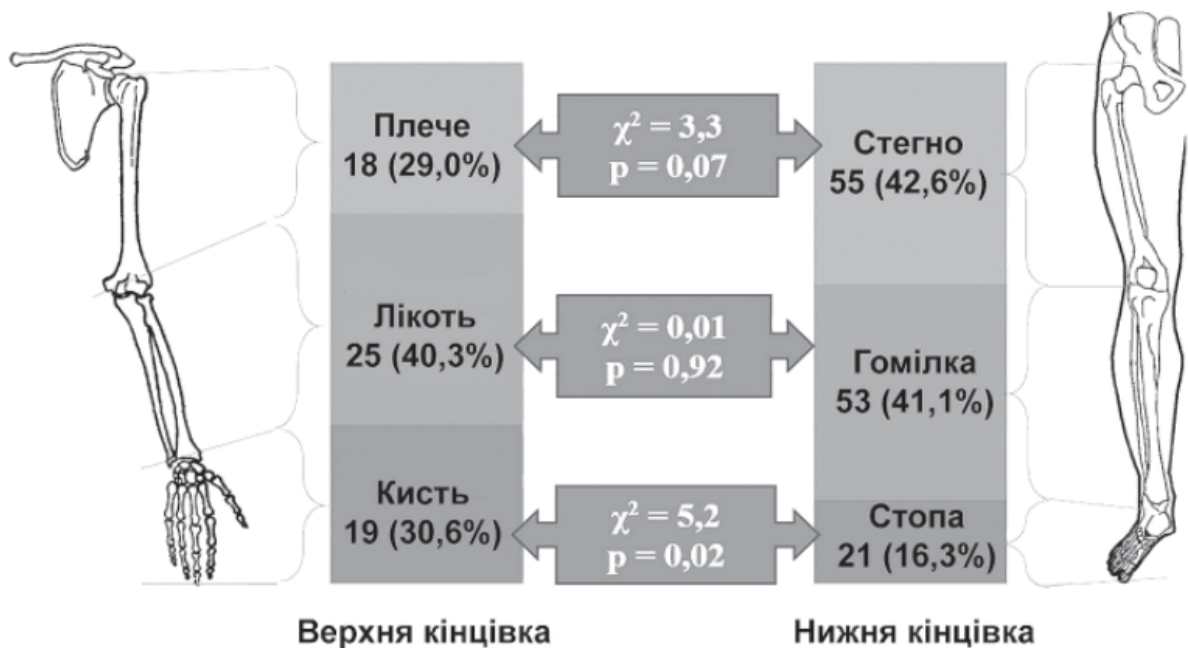


Рисунок 1.1 - Структура ампутації кінцівок залежно від сегмента верхньої та нижньої кінцівки

Якщо ж говорити про втрату (екзартикуляцію) фаланг пальців, то кількість операцій складатиме 13 шт., а це 21 % від ампутацій верхньої кінцівки, або 8.2 % від загальної кількості ампутацій. І це тільки серед військових.

1.1.3 Виробничий та побутовий травматизм

Це дуже велика категорія, яку статистично дуже важко визначити.

Виробнича травма – це наслідок дії на організм різних зовнішніх, небезпечних виробничих факторів. Найчастіше виробнича травма – це результат механічного впливу при наїздах або контакті з механічним обладнанням.

Травмування можливо внаслідок дій:

- хімічних чинників, наприклад, отрутохімікатів, у вигляді отруєнь або опіків;
- електричного струму – опіки, електричні удари та ін.;
- високої або низької температури (опіки або обмороження);
- поєднання різних факторів.

Розрізняють декілька причин виробничого травматизму:

- Технічні, що виникають внаслідок конструкторських недоліків, несправностей машин, механізмів, недосконалість технологічного процесу, недостатньої механізації та автоматизації важких і шкідливих робіт.

- Санітарно-гігієнічні, пов'язані з порушенням вимог санітарних норм (наприклад, по вологості, температурі), відсутністю санітарно-побутових приміщень і пристроїв, недоліками в організації робочого місця та ін.

- Організаційні, пов'язані з порушенням правил експлуатації транспорту і обладнання, поганою організацією вантажно-розвантажувальних робіт, через порушення режиму праці та відпочинку (понаднормові роботи, простої і т.п.), порушенням правил техніки безпеки, несвоєчасним інструктажем, відсутністю попереджувальних написів а ін

- Психофізіологічні, пов'язані з порушенням працівниками трудової дисципліни, сп'янінням на робочому місці, перевтомою, поганим здоров'ям і ін.

Отже, основними причинами виробничого та побутового травматизму є недбале ставлення з інструментом та кухарським спорядженням, нехтування правил безпеки, інструкцій та нецільового використання.

Прикладом може слугувати використання та встановлення циркулярного круга на кутову шліфувальну машину, що має набагато більшу кількість обертів і може перевищувати номінальну в 2-4 рази від рекомендованої максимальної

кількості обертів, що зазначені в інструкції користувача. Тому не витримується режим різання, внаслідок чого зростають навантаження. В результаті роботи такий диск у більшості випадків просто розлітається на великій швидкості, що неминуче призводить до важких травм.

1.1.4 Стихійні лиха

Стихійне лихо — екстремальне явище природи катастрофічного характеру, що приводить до раптового порушення нормальної діяльності людей. Якщо ампутація сталася під час стихійного лиха, що і є травматичним інцидентом, то реабілітація буде ускладнена завданням визначення ноцицептивних і нейропатичних причин. Тому під час реабілітації проявляються жахливі болі, що в даному випадку є неминучим наслідком ампутації та можуть ускладнитися супутнім ушкодженням тієї самої кінцівки чи інших частин тіла.

1.1.5 Екстремальні види діяльності та спорту

Екстремальний спорт — вид спорту, який створює загрозу для життя і здоров'я людини.

Займатися екстремальним видом діяльності — це вибір кожного.

Найчастіші випадки ампутації пальців кінцівок спостерігаються у альпіністів, бо наднизькі температури гарантовано ведуть до відморожування. В результаті тканина відмирає, що є приводом позбутися від неї. Якщо ж цього не зробити вчасно, то людина може вмерти.

1.1.6 Дорожньо-транспортні пригоди

Дорожньо-транспортна пригода (ДТП) — певна аварійна ситуація, яка має відношення до одного, двох або більше транспортних засобів, за яких загинули або постраждали люди або пошкоджені транспортні засоби, споруди, вантажі, або завдано іншої матеріальної шкоди. З точки зору ампутації є також травматичним інцидентом, тому супроводжується в результаті проявами болі. Деякі з них надзвичайно болючі і жахливо неприємні, а деякі просто дивні або бентежать. У тій чи іншій формі їх відчуває більшість людей, яким довелося позбавитися частини тіла.

Кількість загиблих за рік склала 3 тисячі 541 людина, а травмованих – 31 тисяча 974. Також в 2020-му загинули 1 тисяча 198 пішоходів. За шість місяців 2021 роки вже сталося 86 тисяч 459 ДТП: загинули – 1 тисяча 281 осіб, постраждали – 12 тисяч 753. На рисунку 1.2 приведено статистику ДТП в Україні з 1 січня по 30 квітня 2021 року.

18 628 ДТП сталися за 2022 рік в Україні. Це на 24% менше, ніж у 2021-му (24 521). Крім того, смертей на дорогах поменшало на 14%, а людей, які отримали травми, – на 22%, якщо порівнювати з 2021 роком.



Рисунок 1.2 - Статистика ДТП в Україні з 1 січня по 30 квітня 2021 року

1.2 Протез як засіб допомоги людям. Види протезів

Ознайомившись з причинами та масштабом ампутацій та некрозу кінцівок, та проаналізувавши статистичні дані, можемо зробити висновок, що розвиток протезування є актуальною потребою сьогодення.

Еволюція протезування представляє собою цікаву та тривалу історію, що бере свій початок від примітивних до надзвичайно складних та сучасних конструкцій. Одними з основних критерій використання протезів кінцівок є зручність та практичність, тому протягом довгого часу одні ідеї і винаходи працювали і успішно розвивалися, в той час як інші залишалися на узбіччі історії і були забутими.

Розвиток медицини, а саме впровадження нових методів в область хірургії, дозволило реалізувати прагнення максимально зберегти кінцівку, а також використовувати менший за розміром і вагою протез, що призвело до модернізації самого процесу ампутації.

У житті людини, яка перенесла ампутацію тільки дистальної (нігтьової) фаланги пальця відбуваються великі зміни. Ті види діяльності, які раніше здавалися абсолютно природними, вимагають нових зусиль і навичок.

Протези повинні відповідати призначенню, а саме в біомеханічному відношенні максимально відновлювати функцію та зовнішній вигляд втраченої частини кінцівки та бути практичним, комфортним, легким, міцним та безпечним при експлуатації.

Протези за їх способами керування та функціональними ознаками розділяють на:

- косметичні,
- функціонально-косметичні,
- активні, що отримують енергію від джерела живлення;
- робочі.

Коротко розглянемо їх властивості та особливості, що в свою чергу впливають на конструкцію та зовнішній вигляд.

Косметичні протези — це так звані пасивні та неробочі протези, які не виконують ніякої активної функції. Основне призначення такого протеза — заповнити косметичний дефект та зробити його максимально схожим на ампутовану кінцівку чи частину тіла.

Трішки раніше з'явилися функціонально-косметичні протези, що дозволяють здійснювати пасивні рухи під дією здорової руки. У таких протезах можна виконати примітивні дії як наприклад розсунути пальці штучної кисті і вставити ручку, інструмент чи ложку, або інший предмет. Вони дозволяють установити кисть у зручне положення для виконання обмежених визначених дій, зігнути штучну руку в ліктьовому шарнірі і зафіксувати це положення.

Робочі протези зазвичай призначаються в якості другого (додаткового до основного) протеза, з урахуванням робочих операцій, які пацієнт виконує на роботі й у побуті.

Основним технічним засобом протезування є активні (функціональні) протези. Вони містять механізми, що дозволяють здійснювати активні рухи та дії, що наближені до природних. Разом з тим, характер руху ланок протеза і конструктивне його виконання імітує здорову кінцівку, що достатньо маскує дефект. Керування протезами верхніх кінцівок буває тяговим, коли натяг протеза здійснюється за рахунок скорочення якої-небудь групи м'язів, що здійснюється рухом сегмента кінцівки або частини тулуба.

Активні протези верхніх кінцівок дозволяють пацієнту виконувати:

- Переміщення і маніпулювання об'єктами;
- Відтворення точних рухів;
- Самообслуговування: приймання їжі (виконання координованих дій і вимог при виготовленні їжі, піднесенні її до рота та використання столового обладнання); вживання напоїв та їх розмішування; одягання одяг та взуття; виконання гігієнічних заходів та тощо. Вище перелічені операції використовують захват визначених предметів, що буде дуже важко виконувати без дистальної фаланги пальця верхньої кінцівки, так як у більшості випадків вона відіграє роль точки дотику.

1.3 Будова людського пальця кисті верхньої кінцівки

Розберемося з визначенням та функціоналом фаланги.

Прийнято вважати, що фаланга - це коротка трубчаста кістка, яка утворює скелет пальців кінцівок хребетних тварин, до яких також відносяться люди.

У людини кожен палець, крім великого, складається з трьох фаланг, а великий - з двох. Ці три фаланги називаються:

- основною або проксимальною фалангою (phalanx proximalis);
- середньою фалангою (phalanx media), у великого пальця вона відсутня;
- нігтьовою або дистальною фалангою (phalanx distalis).

На рисунку 1.3 зображено будову кисті верхньої кінцівки людини:

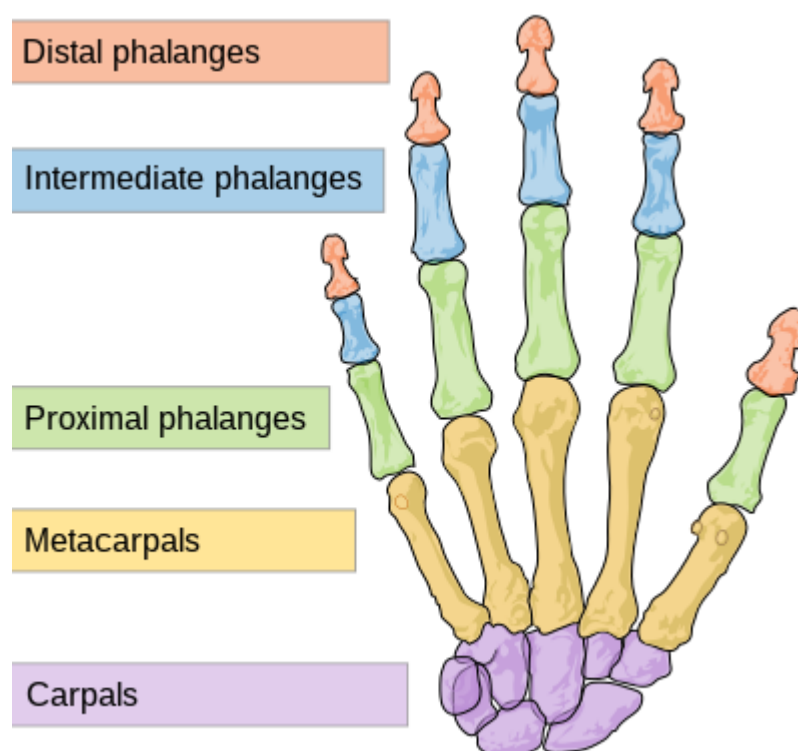


Рисунок 1.3 - Будова кисті верхньої кінцівки людини

На рисунку 1.3 можна побачити, що фаланги нижньої кінцівки відрізняються від фаланг верхньої кінцівки меншою довжиною. На пальцях руки найдовша фаланга — основна третього пальця, а найкоротша і найгрубша — основна фаланга великого пальця. Кожна фаланга є видовженою кісточкою, яка має в середній частині (діафіз) форму півциліндра, плоска частина якого обернена

на долонну, а випукла на тильну сторону. Кінцеві частини фаланги (епіфізи) несуть суглобні поверхні.

Між собою фаланги мають сполучатися міжфаланговими суглобами (articulationes interphalangeae): суглоби між проксимальними і середніми фалангами називаються проксимальними (articulationes interphalangeae proximales), між середніми і дистальними фалангами — відповідно дистальними (articulationes interphalangeae distales); на великому пальці є тільки один міжфаланговий суглоб.

Говорячи про ампутацію частин пальців кисті руки, то стандартно страхові компанії оцінюють частку втрат дистальної фаланги пальців кисті верхньої кінцівки за нормативами, що приведені в таблиці 1.1:

Таблиця 1.1 — Таблиця видів втрат пальця та його частин

№	Непрацездатність	Частка втрати	
		Права	Ліва
1	2	3	4
1	Повна втрата великого пальця	20%	15%
2	Часткова втрата великого пальця (нігтьової фаланги)	10%	5%
3	Повний анкілоз великого пальця	20%	15%
4	Повна ампутація вказівного пальця	15%	10%
5	Повна втрата двох фаланг вказівного пальця	10%	8%
6	Повна втрата нігтьової фаланги вказівного пальця	5%	3%
7	Одновременна ампутація великого пальця і вказівного пальця	35%	25%
8	Повна втрата великого пальця та іншого пальця (крім вказівного)	25%	20%
9	Повна втрата двох пальців (крім великого та вказівного)	12%	8%
10	Повна втрата трьох пальців (крім великого та вказівного)	20%	15%
11	Повна втрата чотирьох пальців, включаючи великий палець	45%	40%
12	Повна втрата чотирьох пальців, виключаючи великий палець	40%	35%
13	Повна втрата середнього пальця	10%	8%
14	Повна втрата пальця (крім великого, вказівного та середнього)	7%	3%

У нормальної людини на кисті руки розташовано п'ять пальців, кожен з яких має власну назву: великий, вказівний, середній, підмізинний і мізинець. Великий палець протиставлений іншим, що забезпечує різноманіття хапальні функції кисті, тому його втрата на правій руці складатиме 20% (згідно таблиці 1.1). Взагалі пальці рук людини пристосовані до точних дій, що дозволяють виконувати тонку роботу. Зусилля м'язів передається пальцям в основному з інших відділів руки за допомогою зв'язок, що і виконують тягову функцію.

Отже, втрата хоча б якоїсь частини пальця кисті верхньої кінцівки у різній степені внесе свої зміни в життя та діяльність потерпілого, що неминуче приведе до зменшення працездатності.

1.4 Аналіз особливостей сучасного рішення

Пошук вже запропонованих рішень та вивчення їх особливостей — є одним із етапів проектування та розробки.

Для прикладу розглянемо протези фаланги пальця, який пропонує американська компанія Naked Prosthetics. Ця компанія активно працює в напрямку розробки та наданні функціонального протезування, яке дозволяє тим, хто втратив один або кілька пальців (чи їх частини), займатися своїм повсякденним життям.

Їх протезування дозволяє постраждалим пацієнтам відновити майже повноцінне використання однієї з найважливіших кінцівок людського тіла - руки. Виготовлені з нержавіючої сталі, нейлонових компонентів та кремнієвих матеріалів, ці протези дозволяють не тільки здійснювати грубі рухи, але навіть повертати дрібну моторику.

Оголене протезування є ідеальним прикладом вирішення проблеми ампутації, яке має практичне застосування в реальному житті.

Naked Prosthetics спеціалізується на протезуванні пальців і допомагає у відновленні нормального функціонування. Це нетехнічний протез, для роботи якого не потрібна батарея. Користувач може носити його, і він точно імітує функції та реакції людських пальців. Слід зазначити, що Naked Prosthetics займається протезуванням після ампутацією лише пальців кисті верхньої кінцівки.

Ще нещодавно протезування кисті та пальців розглядалося як протез другого рівня через обмежену функціональність більшості запропонованих. Naked Prosthetics — одна з перших компаній, яка успішно змінила це, винайшовши цікаве рішення, що зараз втілено в життя.

Для прикладу протезу пальця пропонується розгледіти лінійку протезу фаланги пальця PIP Driver, що показана на рисунку 1.4:



Рисунок 1.4 - Протез фаланги пальця PIP Driver

PIP Driver призначений для людей, які мають ампутацію в середині дистальної фаланги. Як шарнірний протез, що керується тілом, протез відновлює довжину, забезпечує спритність, замінює відсутній DIP-суглоб і захищає чутливі залишки. Кожен пристрій спеціально розроблено та виготовлено з точністю до міліметрів відповідно до унікальної анатомії пацієнта, щоб успішно імітувати складний рух пальця.

PIP Driver отримує свою міцність завдяки жорсткому з'єднанню, що приводить в дію залишок пальця. Компанія достовірно порівнює протезовані суглоби з анатомічними суглобами пацієнта, щоб забезпечити максимально природний рух і форму.

Людина з ампутуваними кінцівками, яка не відповідає цим мінімальним вимогам, все одно може отримати функціональні переваги від цього пристрою.

Особливості конструкції протезу PIP Driver:

Спеціально розроблений для комфортного розміщення та задоволення щоденних потреб.

1. Легко одягати, знімати, чистити та доглядати.
2. Виготовлений з міцного та довговічного медичного нейлону.
3. Кліткова структура захищає залишки.
4. Тонкий і витончений дизайн дозволяє носити кілька пристроїв.

5. Наконечники з силіконової гуми нагадують натуральний кінчик пальця.
6. Легкі титанові застібки.
7. Дванадцять різних стилів кольорового покриття.
8. Два варіанти дизайну нігтьового ложа.

Даний протез налаштований відповідно до конкретного розміру, довжини та діапазону рухів пацієнта. Відновлення спритності, потужності та довжини ураженого пальця, він також допомагає захистити місце ампутації та протистоїть гіпертензії пальця.

PIP Driver™ використовує залишкову силу пальців і рух користувача для артикуляції штучної дистальної фаланги та відновлення працездатності пальця.

В роботі пропонується використати обраний протез в якості прототипу. Але спочатку необхідно більш детально ознайомитися з його конструкцією та проаналізувати її.

На рисунку 1.5 показано протез в різних позиціях.



Рисунок 1.5 — Протез фаланги пальця PIP Driver із складовими частинами

До конструктивних елементів та частин належать:

- a) Нігтьова (дистальна) фаланга;
- b) Отвір для прокладки гумового кільця;
- c) Отвір для прокладки гумового кільця;
- d) Основа;
- e) Велика застібка;
- f) Маленька застібка;
- g) Силіконовий наконечник;
- h) Обмежувач;
- i) Отвір для прокладки долонного кільця;
- j) Отвір для прокладки долонного кільця;
- k) Основна фаланга.

Аналізуючи структуру протезу, необхідно звернути увагу на обмежувач, який при обхваті та збільшенні навантаження може просто тріснути, що порушує комфортне використання та звужує функціональні можливості. У більшості випадків так воно і є. Тому в дані роботі пропонуємо вирішення цієї проблеми, що розширить функціональні можливості протезу за рахунок використання пластини, виготовленої з матеріалів підвищеної пружності.

1.5 Постановка задач роботи

Отже, для повноцінного виконання роботи по розробці протезу дистальної фаланги пальцю верхньої кінцівки необхідно:

1. Розробити модель протезу з використанням пластини з пружного матеріалу.
2. Використовуючи інструменти аналізу та комп'ютерного моделювання, обґрунтувати використання та вплив матеріалу, з якого виготовлена пружна пластина, на розширення функціоналу.
3. Описати фізичні властивості та технологічні особливості обраних матеріалів.
4. Надати експлуатаційні рекомендації по використанню спроектованого протезу.
5. Після завершення роботи зробити висновки.

Висновок до розділу 1

В розділі детально розглянуті причини ампутації кінцівок або їх частин, які описані та розкриті в статистичних дослідженнях.

В розділі запропоноване рішення у вигляді розробки функціонального міжфалангового протезу як один із реальних та практичних варіантів вирішення проблеми після ампутації, що сприятиме швидкій реабілітації пацієнта.

Показано та описано структуру верхньої кінцівки

Для прикладу розглянуто протез фаланги пальця, що пропонує американська компанія Naked Prosthetics. Ця компанія активно працює в напрямку розробки та наданні функціонального протезування.

Отже, голе протезування дозволяє постраждалим пацієнтам відновити майже повноцінне використання однієї з найважливіших кінцівок людського тіла — руки.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ

2.1 Опис використаних інструментів моделювання

Правильний вибір програмних інструментів проектування та моделювання відіграють велике значення, що впливає на швидкість та коректність відображення результатів.

Для моделювання виробу та виконання інженерних розрахунків було використано програмний продукт від відомої провідної компанії AUTODESK – Fusion 360.

Fusion 360 об'єднує процеси дизайну, проектування, інженерних розрахунків, роботу над комплектацією та підготовку до виробництва в єдине крос-платформне рішення, яке знімає обмеження традиційних настільних процесів.

Обране середовище моделювання інтегрується з іншими хмарними інструментами Autodesk для моделювання 360 та PLM 360.

Первинні функції моделювання Fusion 360 призначені саме для скульптингу та формування, що найбільше підходить не тільки для раннього етапу дизайну, а й для оформлення відповідної документації для виробництва.

Треба зазначити, що проект Fusion 360 весь час розвивається, тому команда розробників Autodesk працює над додаванням нових параметрів, пов'язаних із параметричними змінами, що автоматично встановлюються всім користувачам.

Щоб отримати модель Fusion 360 в нашому випадку необхідно створити її спочатку, або скористатися можливістю імпорту практично будь-якого файлу систем автоматичного проектування за допомогою зручної функції перетягування.

Переваги, які вплинули на вибір, та якими володіє Fusion 360:

1. Зручний інтерфейс, до якого легко адаптуватися.
2. Наявність розширених наборів інструментів для 3D-дизайну та моделювання.

3. Наявність різних інструментів дизайну, що не обмежують творчість та здатність швидко створювати кілька ітерацій.
4. Можливість редагування моделей на всіх етапах процесу розробки продукту.
5. Можливість тестувати свої проекти на ранніх етапах процесу розробки, щоб робить процес зручним та комфортним.
6. Можливість виявити непомітні недоліки, використовуючи інструменти аналізу.
7. Можливість швидко створити високоефективні альтернативні варіанти проектування з урахуванням низки виробничих та матеріальних обмежень, що дозволить швидко реалізувати інноваційні рішення.
8. Можливість створити документацію типу 2D-креслення прямо з готової 3D-моделі.
9. Процес розробки та його результат автоматично зберігається на хмарному сховищі, що буде доступним незалежно від місця знаходження, країни світу та часового поясу.
10. Забезпечує перегляд всіх проектних даних на єдиній панелі керування проектом, що легко взаємодіє як із внутрішніми, так і зовнішніми зацікавленими сторонами.

Отже, вибір Fusion 360 — це професійний продукт, вибір якого є правильним рішенням, що відповідатиме поставленим задачам.

2.2 Етапи та процес 3D моделювання

Після вибору програмного середовища необхідно приступати до процесу моделювання об'єкту розробки — протезу дистальної фаланги кисті руки 17го розміру, що є найбільш популярним серед жінок і чоловіків.

Але треба розуміти та дотримуватися послідовності етапів моделювання, а саме:

1. Моделювання або створення геометрії моделі без обліку фізичних та хімічних властивостей об'єкту, за рахунок використання:
 - вичавлювання;
 - модифікаторів;
 - полігонального моделювання;
 - обертання.
2. Збірка.
3. Текстурування об'єкту, що безпосередньо залежить від вибору матеріалів для створення текстур та зовнішнього вигляду моделі.
4. Інженерні розрахунки та дослідження на статичні навантаження, які остаточно допоможуть визначитися з вибором матеріалу та обґрунтувати його.

Для початку необхідно створити новий проект, виконуючи команду «File» - «New Project». В результаті буде створений окремий каталог, що матиме ім'я створеного проекту - «Finger».

Необхідно створити новий компонент (Вкладка «Solid» – «CREATE» – «New Component»), та зробити його активним. Потім необхідно вибрати ту площину, в якій знаходиться раніше вставлене зображення й створити ескіз (Вкладка «Solid» – «CREATE» – «Create Sketch»).

Майже в усіх компонентах за основу взято циліндр, який можливо досягти або ескізним моделюванням, або обертанням навколо своєї осі. Далі за рахунок інших інструментів надаємо естетичний вид. Після отримання всіх конструктивних одиниць виконується конструктивна збірка, а потім вже можливо дати та призначити матеріали елементам.

2.3 Результат 3D моделювання

Розглянемо результат моделювання в програмному середовищі Fusion 360, що зображено на рисунках 2.1 — 2.7, на яких вказано різні варіанти видів з різних сторін.

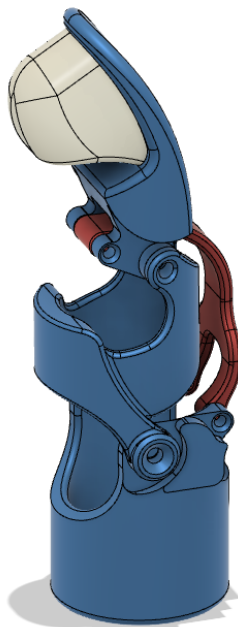


Рисунок 2.1 — Зовнішній вигляд протезу (вид збоку 1 варіант)

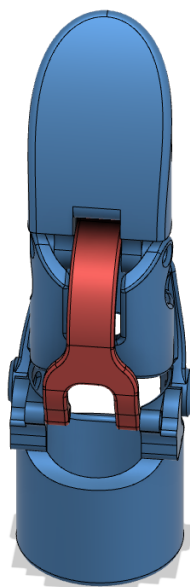


Рисунок 2.2 — Зовнішній вигляд протезу (вид з заду 1 варіант)

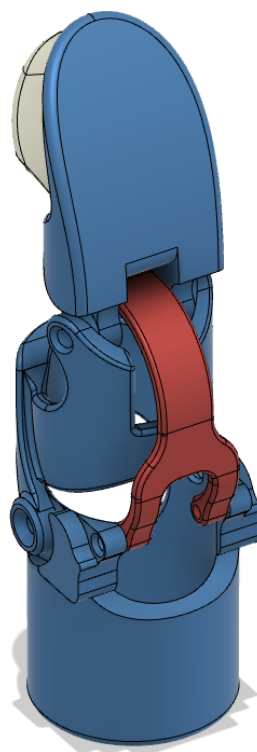


Рисунок 2.3 — Зовнішній вигляд протезу (вид з заду 2 варіант)

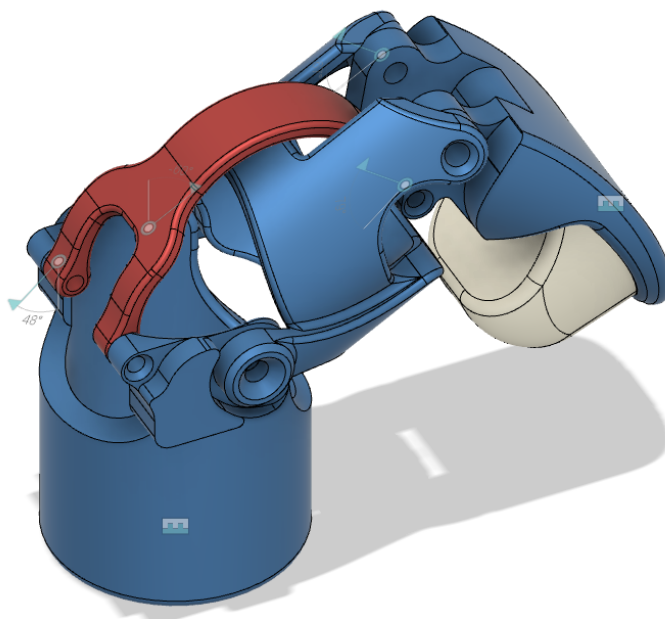


Рисунок 2.4 — Зовнішній вигляд протезу в складеному стані (вид збоку 1 варіант)

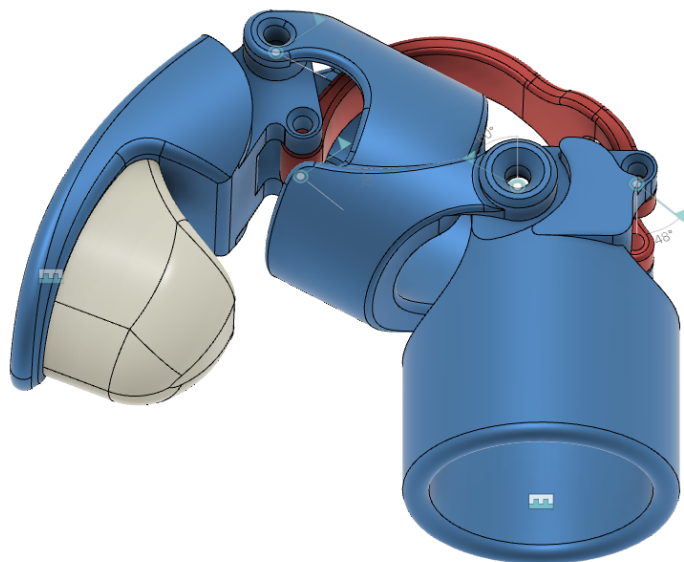


Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд протезу в складеному стані (вид знизу 1 варіант)

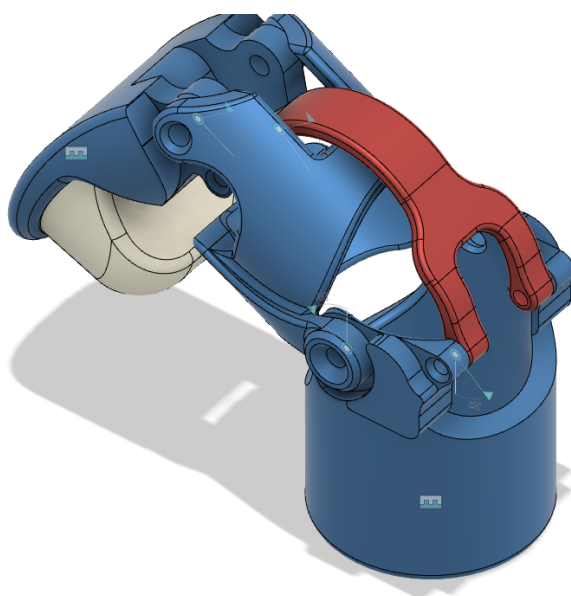


Рисунок 2.6 - Зовнішній вигляд протезу в складеному стані (вид зверху 1 варіант)

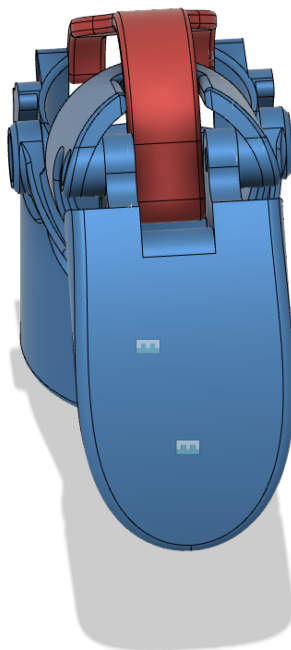


Рисунок 2.7 - Зовнішній вигляд протезу в складеному стані (вид спереду)

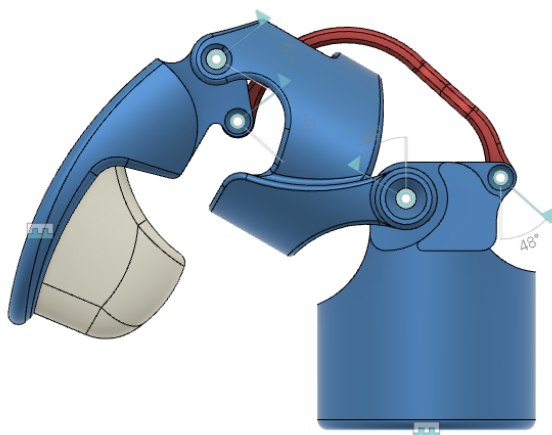


Рисунок 2.8 - Зовнішній вигляд протезу в максимально складеному стані
(вид збоку 2 варіант)

Отже, кожна фаланга має чітко встановлені розміри. Вони можуть відрізнятися залежно від людини, якій буде служити протез. Тому розглянемо конструкцію та визначимо функції кожного елемента.

2.4 Конструкція протезу та роль кожного елемента

Можемо побачити, що конструктивно спроектований протез фалангового суглобу кисті руки схожий на обраний прототип PIP Driver, що зображений на рисунках 1.4 та 1.5.

Отриманий протез має ряд відмінностей та вдосконалень, з якими пропонуємо ознайомитись далі. Тому давайте спершу розглянемо конструкцію та її особливості.

На рисунку 2.9 зображено конструкцію спроектованого протезу міжфалангового суглобу кисті верхньої кінцівки:

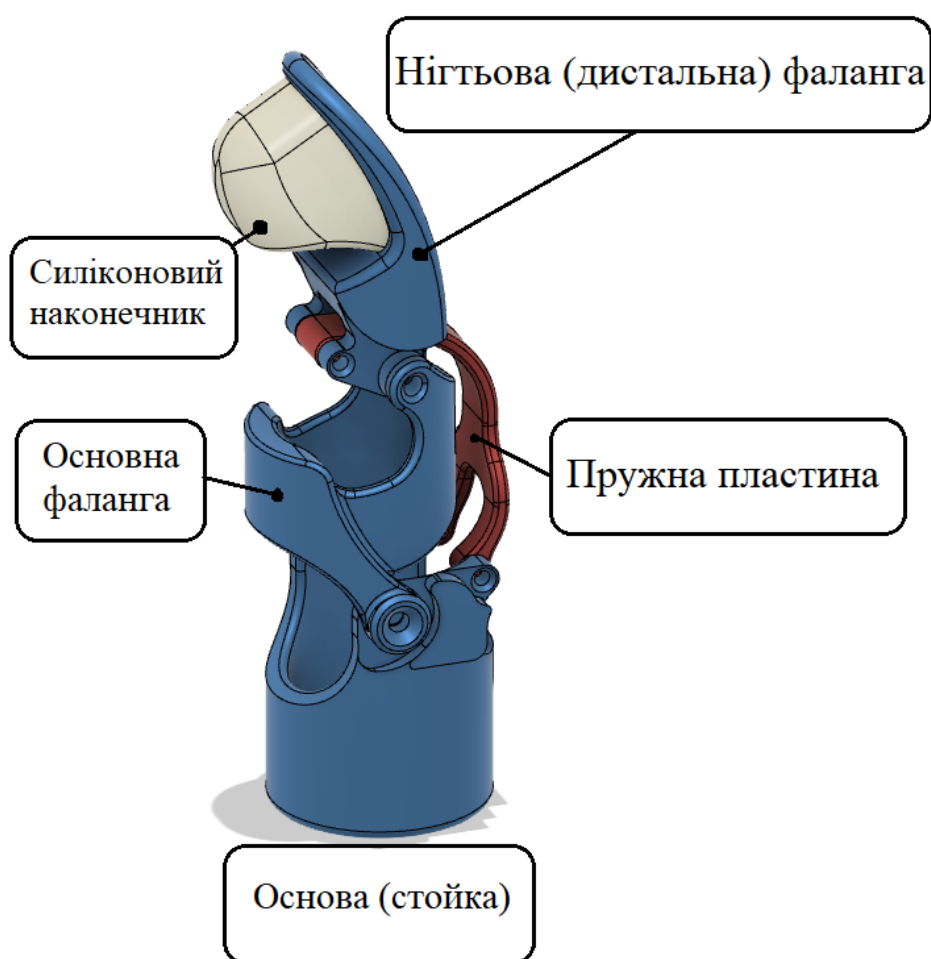


Рисунок 2.9 - Конструкцію спроектованого протезу міжфалангового суглобу кисті верхньої кінцівки

Розглянемо детальніше кожний елемент протезу окремо та виконаємо аналіз отриманого механізму з точки теорії механізмів та машин.

Основа виконує роль стійки, тому не виконує рухів, а слугує для фіксації протезу на пальці. Розмір самого протезу (діаметр проксимальної фаланги) — 17 мм. На рисунку 2.10 зображено основу та її розташування:

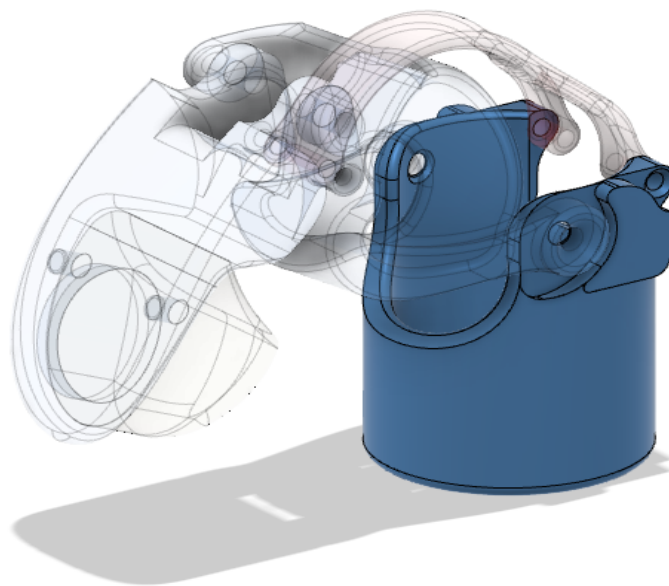


Рисунок 2.10 — Основа спроектованого протезу

До основи кріпиться кільце на основну фалангу та пружна пластина, що виконують обмежені обертові рухи навколо своєї осі.

Кільце основної фаланги є входною ланкою, яке рухається разом з фалангою. Отже з основою утворює обертову кінематичну пару. На рисунку 2.11 зображено кільце основної фаланги та його розташування:

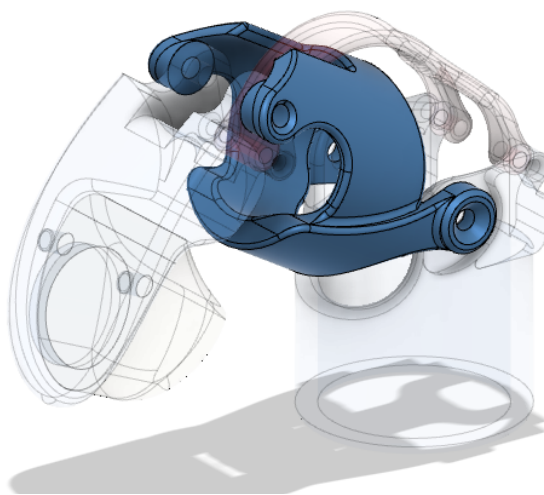


Рисунок 2.11 — Кільце основної фаланги

До кільця основної фаланги приєднано штучну дистальну фалангу з силіконовим наконечником, яка і виконує роль ампутованої частини. На рисунку 2.12 показано нігтьову фалангу протезу:



Рисунок 2.12 — Нігтьова фаланга протезу

Для комфортної та зручної адаптації до предметів використовується силіконовий наконечник. Силікони володіють рядом унікальних якостей в комбінаціях, відсутніх у будь-яких інших відомих речовин: здатності збільшувати або зменшувати адгезію, надавати гідрофобність, працювати і зберігати властивості при екстремальних і швидкозмінних температурах або підвищеної вологості, діелектричні властивості, біоінертність, хімічна інертність, еластичність, довговічність, екологічність, а також зменшують тертя. Все це дозволяє утримувати предмети різної форми. Сам наконечник зображений на рисунку 2.13. Між наконечником та штучною дистальною фалангою є місце, яке призначене для монтажу NFC міток або інших пасивних чипів, що дозволить розширити функціонал протезу. Наприклад, якщо монтувати NFC чип з банківської карти, то завдяки протезу можна буде оплачувати та здійснювати покупки. Різноманіття ідей щодо використання програмованих пасивних чипів, що підтримують безконтактну передачу даних вражає. Тому протезом можна буде відкривати двері домофону, ділитися своїми даними, заводити будильник, відповідати на дзвінки та виконувати дуже багато інших звичайних дій.

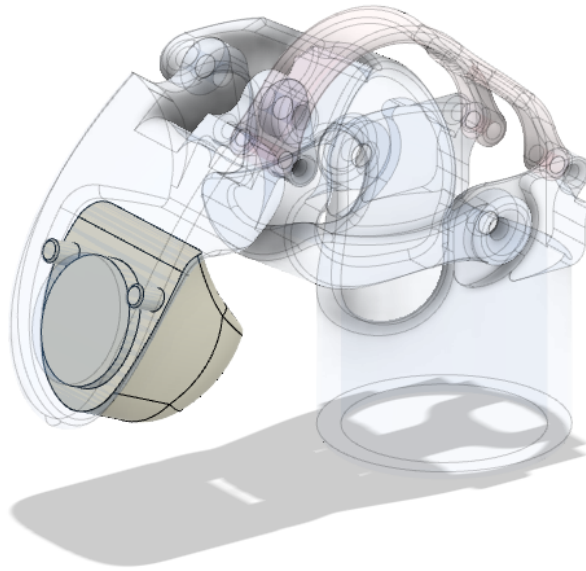


Рисунок 2.13 — Силіконовий наконечник

Зробимо простий горизонтальний розріз, що зображено на рисунку 2.14:

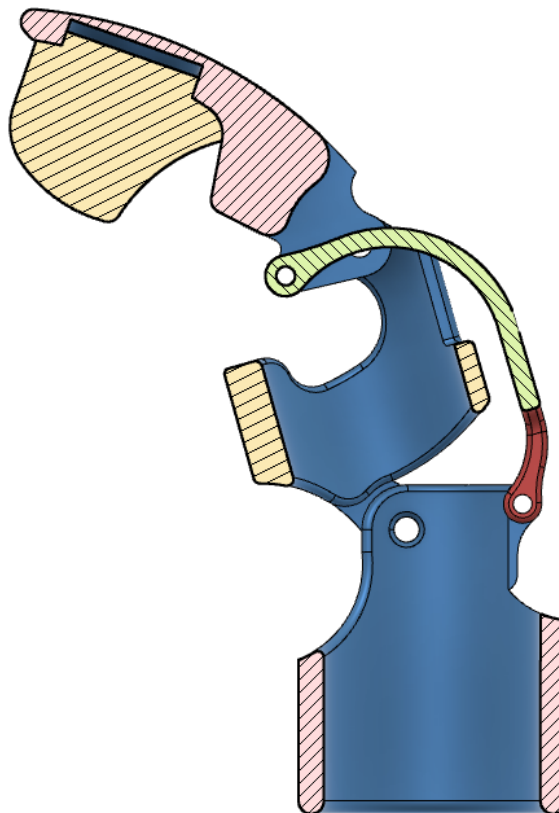


Рисунок 2.14 — Простий горизонтальний розріз (вид збоку)

Залишилося розглянути пружну пластину, завдяки якій можливо виконувати функцію захвату. В залежності від матеріалу пластини можемо отримати різне призначення. Пружна пластина зображена на рисунку 2.15:

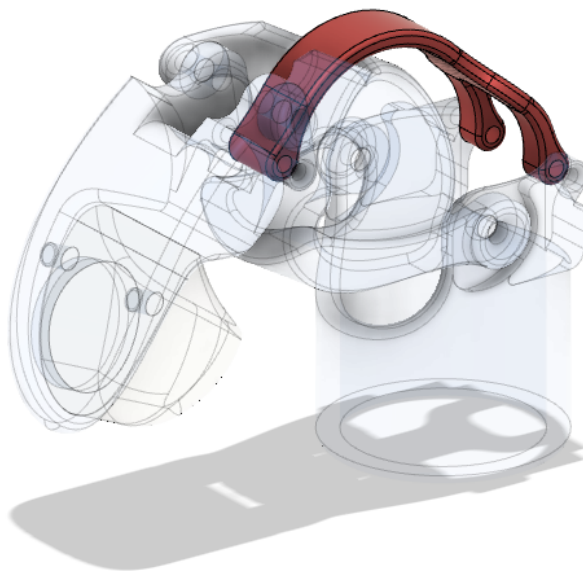


Рисунок 2.15 — Пружна пластина

Отже, розширений функціонал протезу фалангового суглобу буде залежати від властивостей пружної пластини. Використовуючи різні матеріали для виготовлення пластини можемо отримати максимальну адаптацію пацієнтів, так як кожен має свої потреби, що залежать від професійного напрямку та виду діяльності. Тоді розширений функціонал залежить від властивостей пластини та використання пасивних чіпів з безконтактною передачею даних.

2.5 План положень

Залишилося розглянути ще в цьому розділі план положень, що графічно зобразить положення ланок в просторі.

План положень виконаний з кроком 10° від початкового положення до кінцевого, та зображений на рисунках :

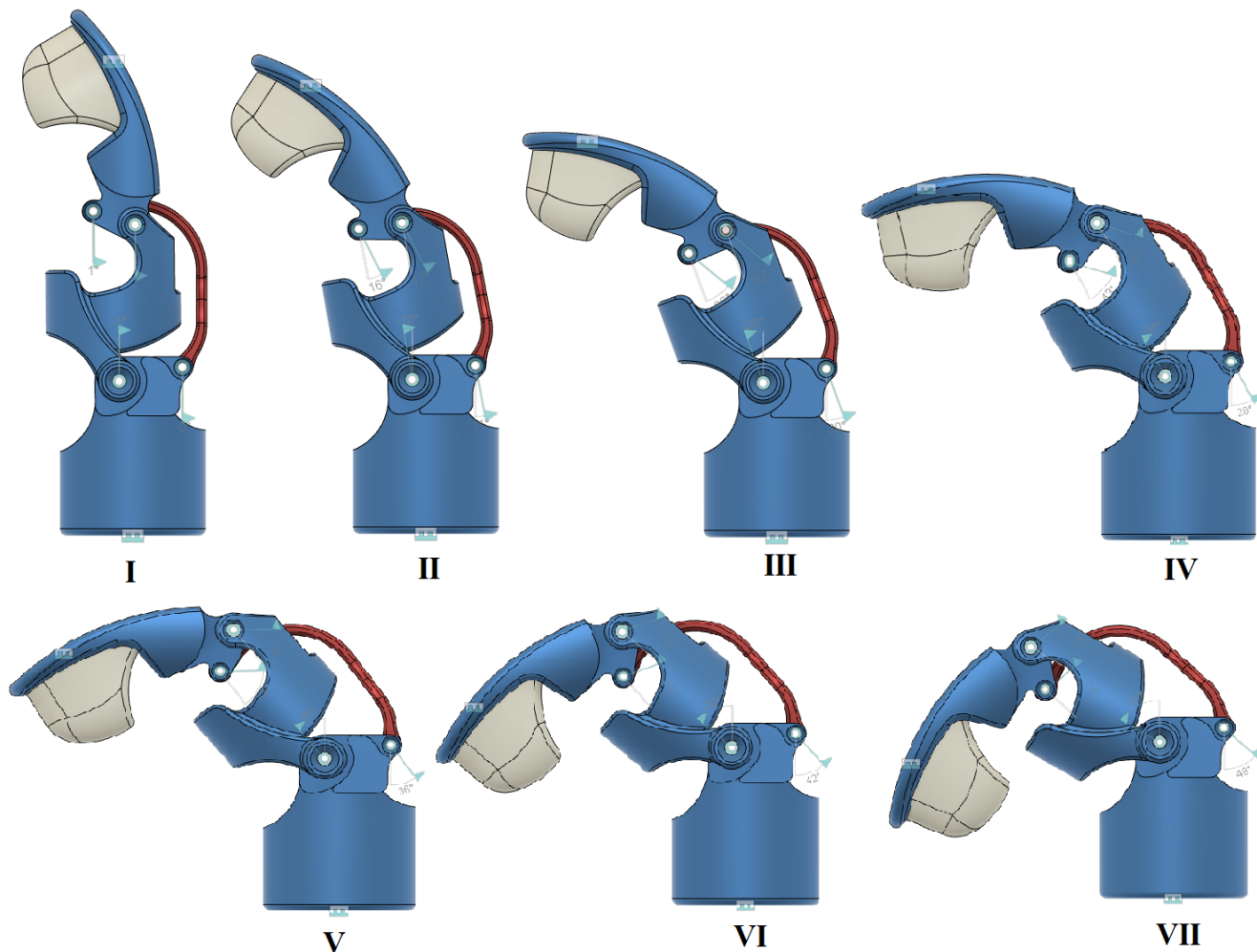


Рисунок 2.16 — План положень спроектованого протезу

Отже, спроектований протез дійсно виконуватиме функцію обхвату. Наступним етапом є вибір та обґрунтування матеріалів, з яких і будуть виготовлені конструкційні одиниці, що виконуватиметься в наступному розділі.

Висновок до розділу 2

В даному розділі розглянуто етапи моделювання міжфалангового протезу кисті верхньої кінцівки. Обрано інструменти моделювання, а саме — це програмне середовище Fusion 360 від провідної компанії Autodesk.

Також розглянуто конструкцію спроектованого протезу та описано функціонал кожного елемента та зображено план положень, що демонструє виконання функції обхвату при ампутованій нігтьовій фаланзі пальця руки.

Особливу увагу виділено розширеному функціоналу протезу, який залежить від властивостей пружної пластини. Використовуючи різні матеріали для виготовлення пластини можемо отримати максимальну адаптацію пацієнтів, так як кожен має свої потреби, що залежать від професійного напрямку та виду діяльності.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір та обґрунтування матеріалів

Під час розробки конструкції мають бути обрані матеріали для кожного конструкційного елементу. Корпус протезу має бути виготовлений з достатньо міцного, водостійкого та безпечного для людини матеріалу.

Вибір матеріалів складових в першу чергу залежить від діяльності та умов використання. Наприклад, для будівника треба виготовити протез з ударостійких та міцних матеріалів. Тому є вибір між металевими сплавами, або ударостійким пластиком.

Металевий корпус спроектованого протезу буде стійкішим до температури та здатним витримати більші навантаження, але важчим. Тому одним із оптимальних варіантів є можливість виготовлення з композитного вуглепластику.

Отже, вибір матеріалів елементів конструкції протезу визначає їх механічні властивості. В таблиці 3.1 приведено вибір рекомендованих матеріалів для елементів конструкції:

Таблиця 3.1 — Рекомендовані матеріали елементів конструкції

№	Найменування елемента	Рекомендований матеріал елемента	
		Металеві сплави	Пластик
1	Основна стійка	Нержавіючі та алюмінієві сплави	Нейлон, ABS, вуглепластик
2	Кільце основної фаланги		
3	Дистальна фаланга		
4	Силіконовий наконечник	-	Силікон
5	Пружна пластина	Нержавіючі та ресорно - конструкторські сталі	Нейлон

В даному розділі ми порівняємо отримані в результаті розрахунків властивості пружної пластини, так як вони й визначатимуть рівень

функціонального покращення та рівень адаптації. Але спочатку ознайомимося детальніше з характеристиками рекомендованих матеріалів для її виготовлення.

3.2 Характеристика матеріалів пружної пластини

Користуючись таблицею 3.1, підберемо матеріали для пружної пластини, які матимуть підвищенні пружні властивості.

3.2.1 AISI 316L Stainless Steel

З нержавіючих сталей оберемо AISI 316L Stainless Steel, так як вона відповідає умові вибору — має виражені пружні властивості.

З усіх сталей 300-ї серії марка AISI 316L є найбільш корозійностійкою та стійкою до різних зовнішніх та хімічних впливів. Ця нержавіюча сталь відмінно показує себе в сірчаноокислотному середовищі, при впливі на сплав органічними, фосфорними, жирними кислотами.

Популярність металу підвищує і його відмінний опір всім типам корозії. Такі високі антиокислювальні властивості обумовлені вмістом у складі сталі молібдену та нікелю у порівняно великих масових частках.

Сплав AISI 316L відноситься до категорії легко зварювальних сталей. Особливості зварювання:

- після завершення робіт не потрібна термічна обробка;
- шви після зварювання необхідно очистити від окалини, а потім пасивувати.

Пасивація проводиться при температурі 20⁰ з використанням 20-25%-го розчину HNO₃. Для зони зварювання рекомендовано застосовувати пасивні пасти.

AISI 316L – цей клас нержавіючої сталі відносять до міцних, пружних та пластичних металів. Завдяки цим особливостям сплав легко піддається формуванню. Його згинають, використовують волочіння, ротаційну витяжку для надання деталям необхідної форми. Обробку AISI 316L проводять з використанням того ж обладнання, яке застосовують для формування вуглецевої сталі, але з більшим механічним навантаженням.

Нагрівання нержавіючої сталі AISI 316L при відпалі в температурному діапазоні 1050⁰ С ± 25⁰ С. Після відпалу потрібне швидке охолодження в повітряному або водному середовищі, травлення та пасивування. Відпуск сплаву

проводиться при температурі 200-400⁰ С і вимагає подальшого продування повітрям.

Хімічний склад AISI 316 виглядає так:

- Залізо – близько 64%.
- Хром – 15-17%.
- Нікель – 14-16%.
- Молібден – 2,5-3%.
- Вуглець – до 0.03%.

Інші хімічні елементи присутні в мінімальній концентрації, тому вони ніяк не впливають на властивості металу та його основні характеристики. Важливу роль в складі сплаву грає високий вміст хрому і нікелю. Хром захищає від впливу вологи та хімічно активних речовин, а нікель надає додаткову жароміцність та твердість. Властивості обох елементів посилюються молібденом.

Технічні характеристики сталі AISI 316L:

- Межа плинності AISI 316L становить 220 МПа. Зі підвищенням температури показник падає.
- Допустима напруга сталі AISI 316L при тесті на розрив становить не менше 520 МПа. Це досить високий показник серед нержавіючих сплавів із аналогічним хімічним складом.
- Щільність AISI 316L - 7990 кг/м³, що вище, ніж більшість аналогів.
- Твердість AISI 316L за Бринелем (НВ) становить 217 одиниць. Аналогічний показник за Роквеллом (HRB) буде в межах 85 одиниць із максимальних 100.

У продажу метал представлений в різних видах прокату - коло, дріт, лист, труба, стрічка. Це дозволяє легко знайти відповідний сортамент для виготовлення різних виробів.

Сталь володіє високими експлуатаційно-технічними якістьми, що знайшли широке застосування у різних галузях промисловості:

- У харчовій промисловості та фармацевтиці – трубопроводи з підвищеними вимогами до санітарно-гігієнічних якостей.

- У хімічній промисловості – тара для зберігання та транспортування агресивних хімічних елементів, включаючи різноманітні кислоти.
- У суднобудуванні – різні елементи конструкцій, які тривалий час контактуватимуть із морською водою.
- У машинобудуванні – деталі механізмів, які працюватимуть у широкому температурному діапазоні, перебуваючи у вологому агресивному середовищі.

Отже, сталь AISI 316L є досить популярною, бо має широке використання у різних галузях.

3.2.2 Ресорно-конструкторська легована вуглецева сталь AISI 1060

Сталь 1060 — популярна вуглецева сталь, відома своїми чудовими механічними властивостями. Вона демонструє чудову стійкість до корозії та підвищену твердість, надаючи користувачам безпроблемний будівельний матеріал для різноманітних застосувань. Пластичність сталі 1060 також робить її ідеальною для виробів, які вимагають згинання та інших складних геометрій, чого було б важко досягти без шкоди для міцності та якості. Цей матеріал може піддаватися термічній обробці за потреби, щоб покращити властивості або зменшити витрати, пов'язані з формуванням. Таким чином, сталь 1060 є ефективним вибором як у промисловому секторі, так і за його межами.

Хімічні властивості сталі 1060 роблять її ідеальним вибором для застосувань, які вимагають чудової стійкості до корозії та зносу завдяки високому вмісту хрому (до 1%). Крім того, низький вміст вуглецю робить її ідеальним для зварювання, оскільки зварювальний шов не твердне під час охолодження після зварювання, як це відбувається з високовуглецевими сталями. Хімічний склад сталі 1060 приведений в таблиці 3.2:

Таблиця 3.2 - Хімічний склад сталі 1060

Марка сталі	Склад та вміст хімічних елементів, %				
	Залізо, Fe	Марганець, Mn	Карбон, C	Сірка, S	Фосфор, P
1060	98,35-98,85	0,60-0,90	0,55-0,660	≤ 0,050	≤ 0,040

Сталь AISI 1060 відома своєю твердістю, особливо порівняно з іншими марками сталі. Усі типи 1060 мають рівномірну твердість приблизно 50-58 HRC за шкалою Роквелла, при цьому 59 HRC є максимально досягнутим. Тест на твердість за Роквеллом використовується для вимірювання стійкості матеріалу до постійних змін поверхні за допомогою машини, яка застосовує індентор і вимірює глибину проникнення як у слабких, так і в глибоких вдавненнях. Сталь 1060 має багато різних застосувань, включаючи мечі та старовинну зброю, і може витримувати удари без пошкоджень або сколів від матеріалу. Як і з усіма типами сталі, важливо вживати відповідних заходів безпеки під час зварювання або різання сталі марки 1060, оскільки під час цих процесів утворюються небезпечні пари. Цю марку сталі можна термічно обробити для додаткової міцності та твердості. Найпоширенішою термічною обробкою цієї марки сталі є загартування та відпуск.

А також вона легко оброблюється стандартними методами та інструментами механічної обробки або зварювання.

Фізичко-механічні властивості сталі 1060, що відображаються в бібліотеках Fusion 360, приведені в таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 - Фізичко-механічні властивості сталі 1060, що відображаються в бібліотеках Fusion 360

Щільність	7,99E-06 кг / мм ³
Модуль Юнга	193000 МПа
Коефіцієнт Пуассона	0,25
Межа текучості	170 МПа
Межа міцності на розрив	485 МПа
Теплопровідність	0,0163 Вт / (мм С)
Коефіцієнт теплового розширення	1.59E-05 / С
Питома теплоємність	500 Дж / (кг С)

Отже, сталь 1060 є винятковим матеріалом, який забезпечує чудову корозійну стійкість разом із чудовими механічними властивостями, такими як високе співвідношення міцності до ваги та хорошу стійкість до втоми, що робить її придатною для використання в різних галузях промисловості, починаючи від автомобілебудування та закінчуючи проектами аерокосмічної техніки. прецизійні

деталі, виготовлені з цього сорту матеріалу. Завдяки її унікальному набору характеристик, які роблять її ідеальним для багатьох складних завдань за умови належної термічної обробки перед будь-якими операціями механічної обробки.

3.2.3 Нейлон 6

За визначенням, нейлон - це напівкристалічний поліамід. Серед ряду модифікацій та вибору по умові пружності, особливо виділяються нейлон 66 та 6, формули яких приведені на рисунку 3.1:

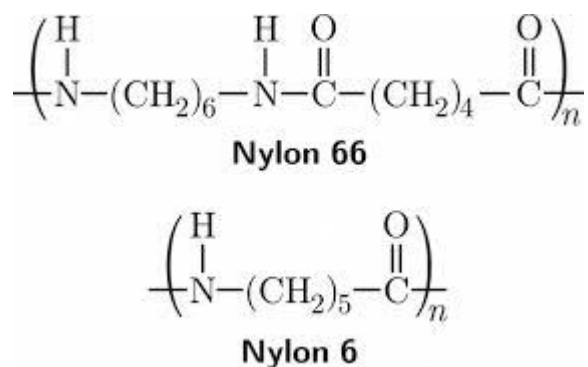


Рисунок 3.1 — Хімічні формули нейлону

На відміну від більшості інших нейлонів, нейлон 6 не є полімером конденсації, а натомість утворюється в результаті полімеризації з розкриттям циклу, що робить його особливим випадком при порівнянні конденсаційних та адитивних полімерів. Нейлон 6 більше відомий як капролон — це унікальний неметалевий синтетичний матеріал, продукт полімеризації амідів амінокапронової кислоти.

Капролон листовий ПА-6 широко використовується для виготовлення підшипників, втулок, валів, вкладишів і роликів. Завдяки своїм чудовим властивостям отримав розповсюдження в вузлах агрегатів, де потрібно підвищені антифрикційні властивості, безшумність, стійкість до агресивних хімічних середовищ і корозії. Також є чудовим діелектриком.

Капролон (нейлон 6) нетоксичний і може застосовуватися в харчовій промисловості. Вироби застосовуються в тих областях, де потрібна підвищена міцність і зносостійкість., а в нашому випадку особливі властивості пружності. У порівнянні з багатьма металами нейлон 6 легше по вазі, більш простий, доступний та легко оброблюється фрезеруванням, свердлінням, точінням.

Собівартість готових деталей з нейлону 6 в кілька разів нижче за виготовлення з кольорових сплавів, а зносостійкість і довговічність набагато вище. Матеріал легко обробляється, не схильний до окислення і корозії, добре протистоїть механічному впливу.

Отже, саме ці фактори і ряд інших переваг забезпечили нейлону одну з провідних позицій в області застосування.

В таблиці 3.4 приведено фізико-механічні властивості нейлону 6 з бібліотеки матеріалів Fusion 360, що використовуватимуться для подальших розрахунків:

Таблиця 3.4 - Фізико-механічні властивості нейлону 6 з бібліотеки матеріалів Fusion 360

Щільність	1.12E-06 кг / мм ³
Модуль Юнга	2758 МПа
Коефіцієнт Пуассона	0,35
Межа текучості	70,4 МПа
Межа міцності на розрив	75,7 МПа
Теплопровідність	2.81E-04 Вт / (мм С)
Коефіцієнт теплового розширення	9.53E-05 / С
Питома теплоємність	1670 Дж / (кг С)

Нейлон 6 — це матеріал конструкційного й антифрикційного призначення. Застосовується в різних галузях промисловості для виготовлення деталей широкої номенклатури:

- підшипників ковзання, втулок, облицювань, направляючих і вкладишів вузлів тертя, що працюють при навантаженні до 20 МПа при змащенні маслом, водою або всуху; знижують втрати на тертя;
- шківів, блоків, коліс і роликів вантажопіднімальних механізмів з тяговим зусиллям до 30 тонн, гідравлічних візків, кран-балок, транспортерів, конвеєрів;
- корпусів, кронштейнів для різних приладів і автоматів, маточин коліс візків, вагонеток, вакуумних і карусельних фільтрів до яких пред'являються підвищені вимоги по ударостійкості;

- шестерень, зірочок і черв'ячних коліс для автоматів миття пляшок, розливу, нанесення етикеток, комбайнів, редукторів приводів; знижують рівень шуму і вібрації (до 15 ДБ);
- деталей ущільнення (замість фторопласту) для дозаторів, сепараторів, арматури;
- деталей конвеєрних ліній рибної та м'ясопереробної промисловості, ліній для виробництва напоїв.

Обравши матеріали та проаналізувавши їх властивості, необхідно провести інженерні розрахунки, що можливо виконати в програмному середовищі Fusion 360 в режимі «Simulation». В результаті отримаємо графічні інтерпретації аналізу на статичні навантаження, що дасть можливість побачити вразливі зони та розподіл навантажень.

3.3 Розрахунок та формування звітів в Fusion 360

Як вже раніше зазначалося, то в якості прикладу розглянемо розрахунок пружної пластини, та визначимо різницю між використанням різних матеріалів, що описані вище.

Розрахунки необхідно проводити в режимі «Simulation». Результатами розрахунків допоможуть зрозуміти поведінку досліджуваної моделі при статичних навантаженнях, що будуть наближені до реальних.

Для кожного дослідження необхідно провести підготовчі роботи, а саме зафіксувати модель та прикласти силу. В даному випадку це будуть точки кріплення в обох місцях з'єднання з основою, що зображено на рисунку 3.2:

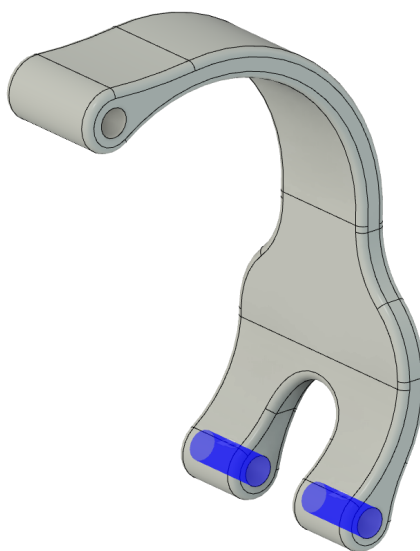


Рисунок 3.2 — Місця фіксації пластини

А точка сили буде направлена уздовж самої пластини, що відповідатиме реакції опори стрижня, що зображено на рисунку 3.3:

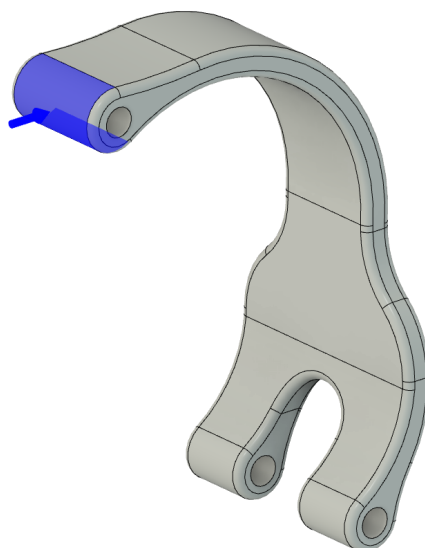


Рисунок 3.3 — Напрямок та точка прикладання сили

Для початку отримаємо результати для нержавіючої сталі AISI 316L Stainless Steel, навантажуючи її силою, модуль якої численно рівний 25 Н та 50 Н.

Отримаємо графічне представлення аналізу на міцність по Фон Мізесу, що зображено на рисунку 3.4:

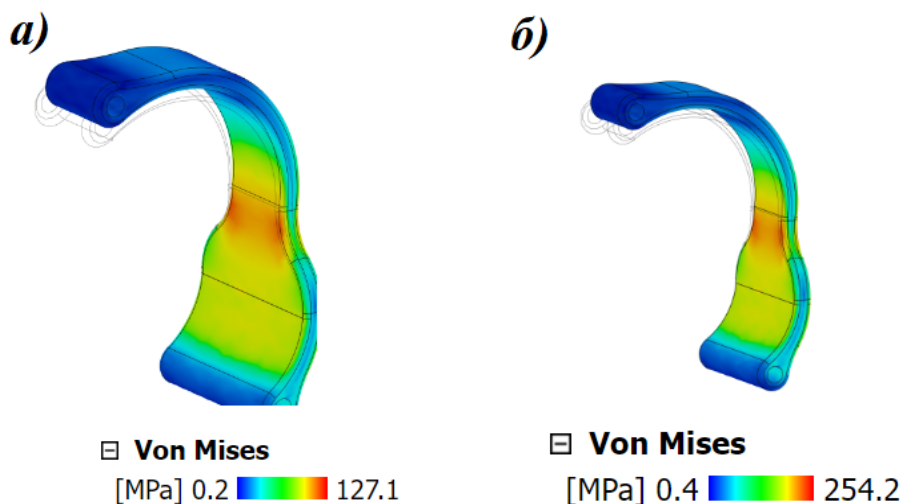


Рисунок 3.4 — Дослідження на міцність по Фон Мізесу сталі AISI 316L:

а) силою 25Н; б) силою 50Н

Також для сталі AISI 316L розглянемо переміщення, графічне представлення яких зображено на рисунку 3.5:



Рисунок 3.5 — Переміщення пружної пластини сталі AISI 316L:

а) силою 25Н; б) силою 50Н

Отже, використовуючи пластину із нержавіючої сталі AISI 316, то побачимо, що вона зовсім не деформується. А це означає, що компенсування при захваті буде виконувати силіконовий наконечний, який дуже швидко зноситься. Тому перейдемо до дослідів над іншим матеріалом.

Проаналізуємо модель пластини, яка виготовлена із ресорно-конструкторської сталі AISI 1060. Досліди будемо проводити для сил 20Н та 50Н.

Графічний результат досліджень на міцність по Фон Мізесу силою 20Н приведено на рисунку 3.6:

☐ **Von Mises**
[MPa] 0.1 193.4, Threshold: 0.1 - 177.3

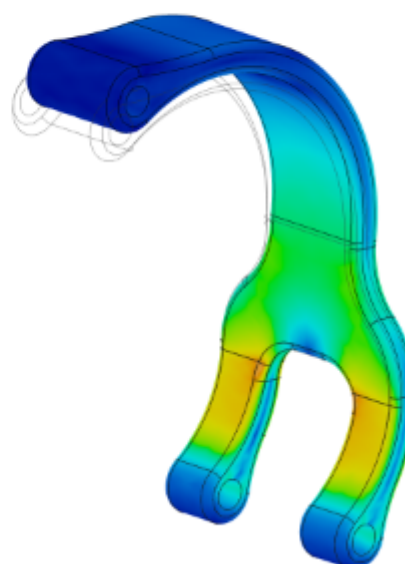


Рисунок 3.6 - Дослідження на міцність по Фон Мізесу сталі AISI 1060
силою 20Н

А приклавши силу розміром 50Н, отримаємо:

☐ **Von Mises**
[MPa] 0.3 483.6

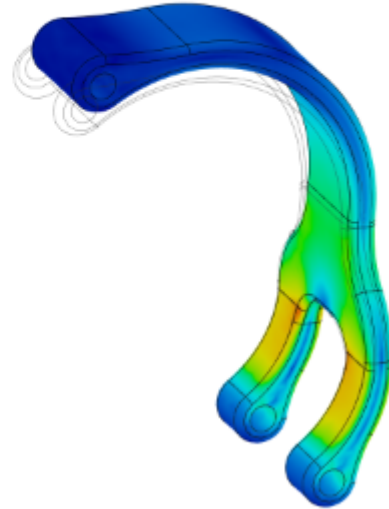


Рисунок 3.7 - Дослідження на міцність по Фон Мізесу сталі AISI 1060 силою 50Н

А також розглянемо досліди на переміщення для тієї ж сталі та модулів сил, результати яких будуть приведені на рисунках 3.8 та 3.9:

☐ **Total**
[mm] 0 0.271

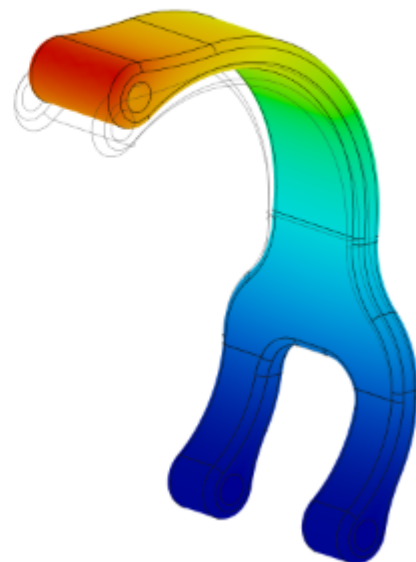


Рисунок 3.8 - Переміщення пружної пластини із сталі AISI 1060 силою 20Н

☐ Total
[mm] 0  0.6776

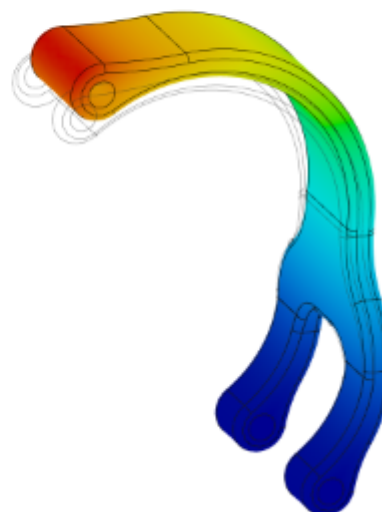


Рисунок 3.9 - Переміщення пружної пластини із сталі AISI 1060 силою 50Н
Отримані результати досліджень на статичні навантаження пластини зі сталі AISI 1060 майже однакові, якщо порівняти з отриманими раніше із нержавіючої сталі AISI 316L.

Отже, дані пластини можуть бути доречними для протезів міжфалангового суглобу кисті верхньої кінцівки людей, що є або військовими, або будівниками. Тобто для напрямків та професій, які потребують значних навантажень на дистальну фалангу пальця руки. Але треба враховувати, що корпусні елементи повинні також бути виконані з матеріалу, який буде міцнішим - типу із титанових сплавів.

Залишилося виконати дослідження пластини, яка виготовлена із нейлону 6.

Досліджувати будемо силою, модуль якої чисельно рівний 10Н, що еквівалентно 1 кг.

Отримаємо графічну інтерпретацію дослідження на міцність по Фон Мізесу, що зображено на рисунку 3.10:

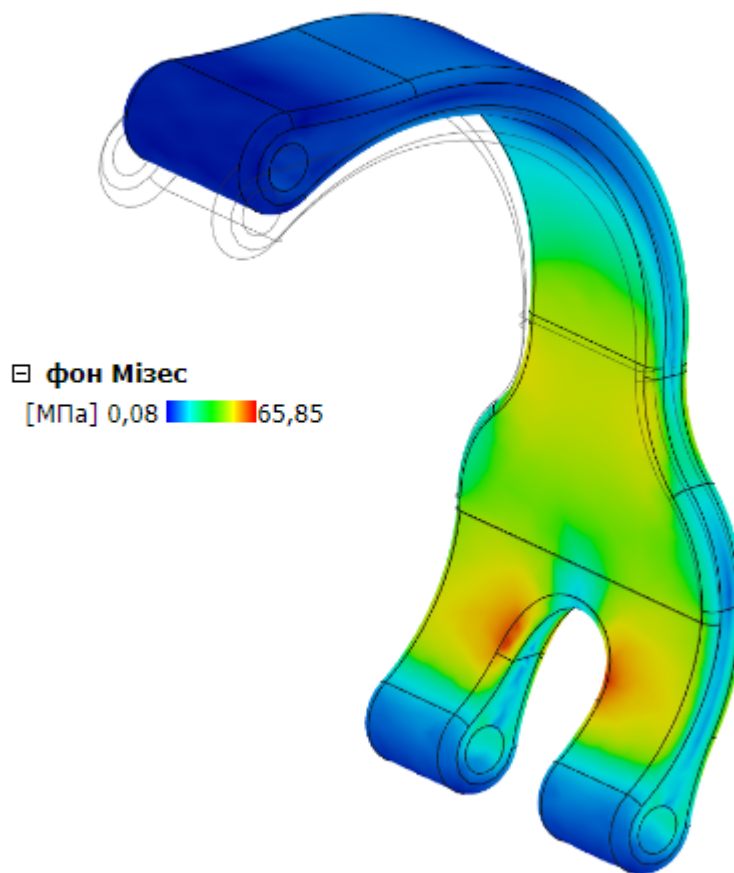


Рисунок 3.10 - Дослідження на міцність по Фон Мізесу пластини із нейлону 6 (силою 10Н)

Та відразу ж розглянемо переміщення, що зображено на рисунку 3.11:

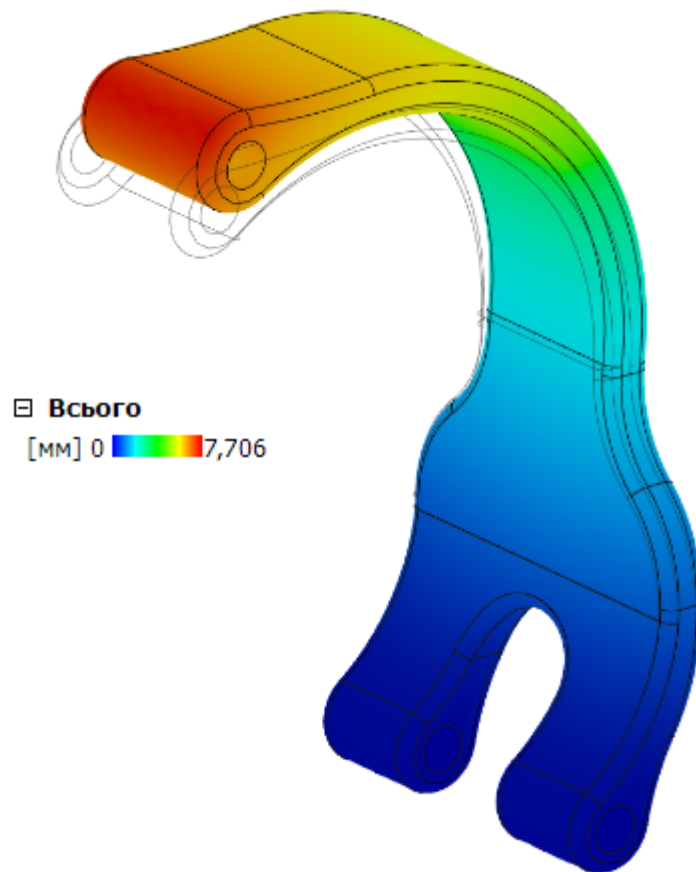


Рисунок 3.11 — Переміщення пружної пластини із нейлону 6

Отже, виготовлена пружна пластина із нейлону 6 вже при зусиллі в 10Н вільно деформується, що в результаті робить схожими рухи протезу на природні. Переміщення, що чисельно майже дорівнює 8мм при силі 10Н, робить протез чутливим. Використання такого протезу буде комфортним та звичним для людини, що вирішить питання адаптації.

Далі в роботі пропонується розглянути як буде деформуватися обрана нейлонова пластина, якщо розглядати її як пружну пластину, що закріплена між двома точка як вказано на рисунку 3.12:

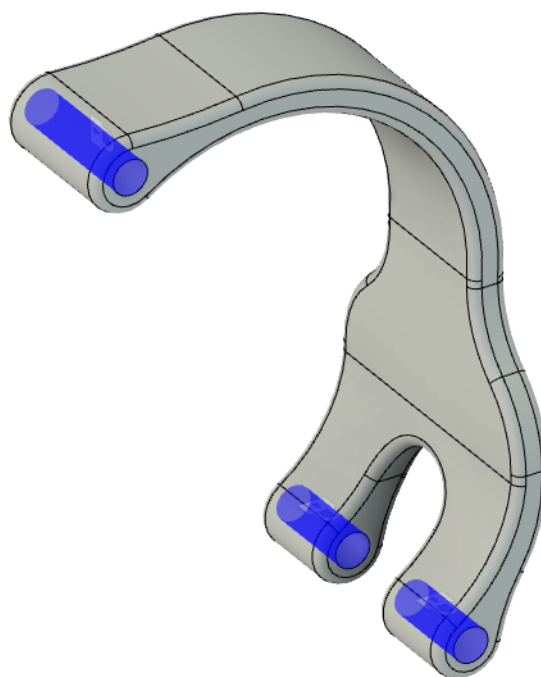


Рисунок 3.12 — Пружна пластина, що закріплена між двома точками
Рівномірно-розподілене навантаження силою 25 Н прикладемо до випуклої
поверхні, що зображено на рисунку 3.13:

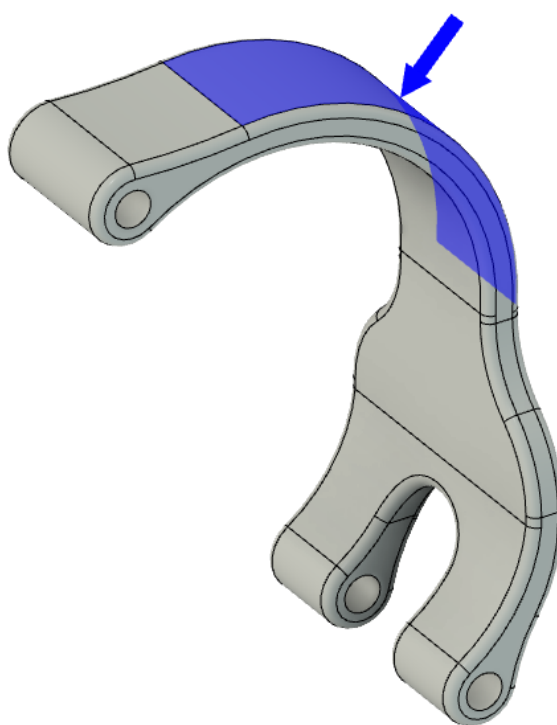


Рисунок 3.13 - Точка прикладання сили 25 Н

Тоді отримаємо графічну інтерпретацію досліду на міцність по Фон Мізесу, що зображено на рисунку 3.14:

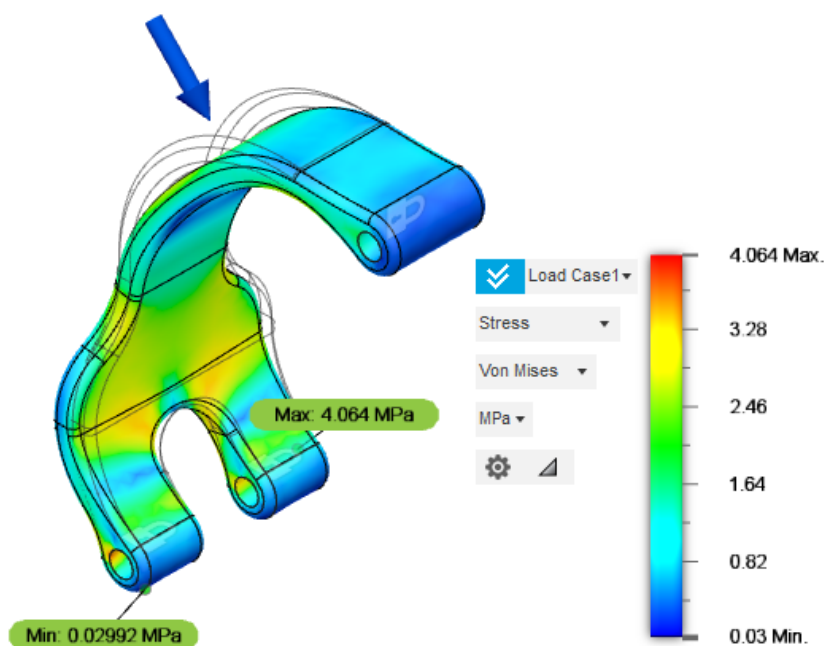


Рисунок 3.15 — Результат досліду на міцність по Фон Мізесу

Також розглянемо результат переміщення під дією вказаної сили 25 Н, який зображено на рисунку 3.16:

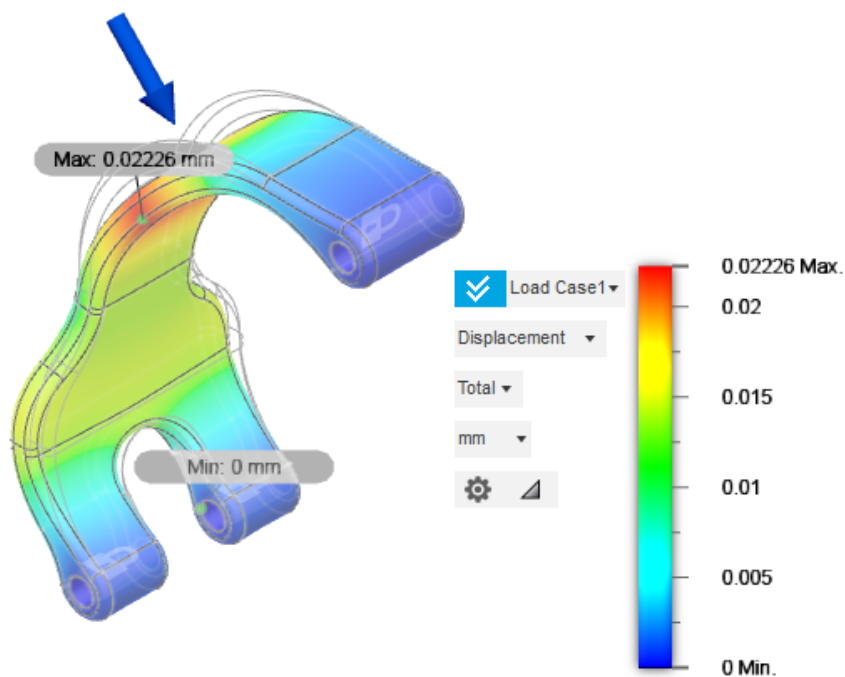


Рисунок 3.16 — Результат переміщення під дією сили 25 Н

То й же дослід проведемо із силою 50 Н, та отримаємо:

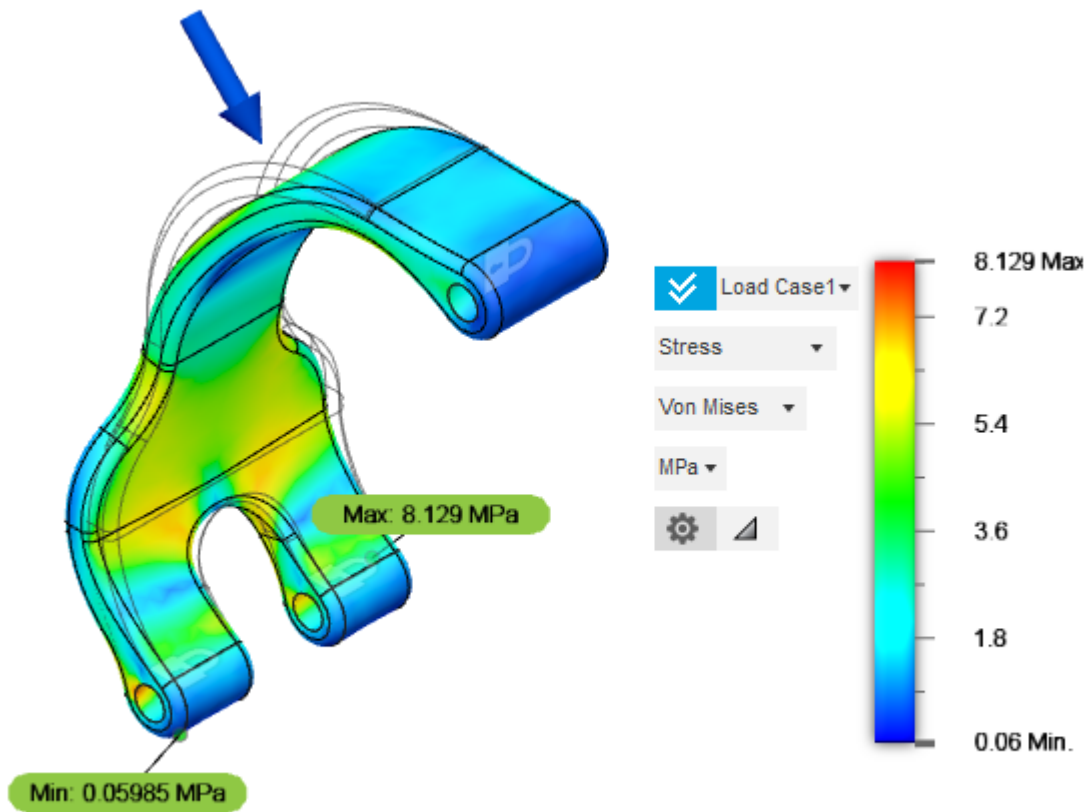


Рисунок 3.17 - Результат дослід на міцність по Фон Мізесу (силою 50 Н)

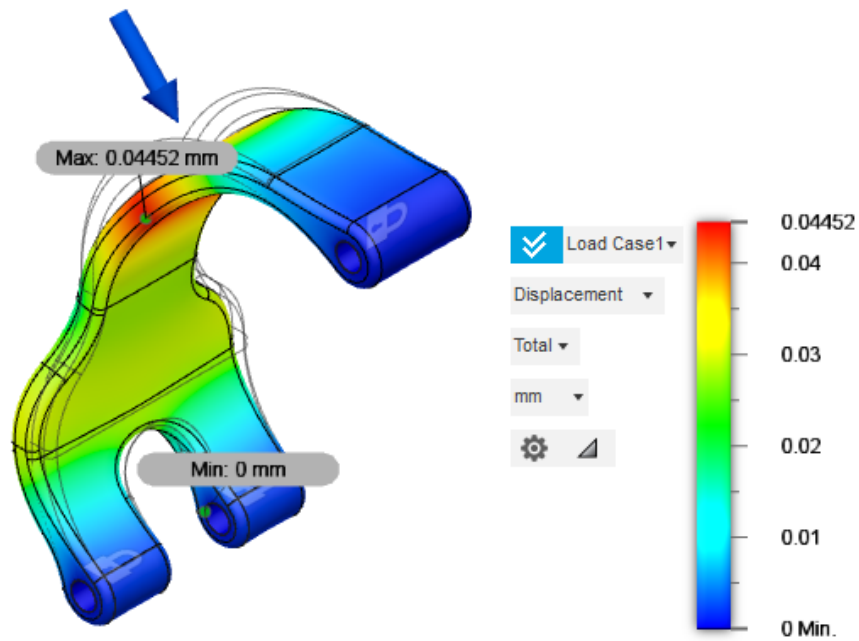


Рисунок 3.18 - Результат переміщення під дією сили 50 Н

Порівнявши результати, то побачимо, що пластина залишається стійкою навіть у випадку, коли протез випадково зажати або покласти на нього предмет. Отримані деформації є пружними, тому в описаному вище випадку, пластина після зняття навантаження поверне собі вихідну форму.

Закінчує дослідження в нашій роботі аналіз міцності та переміщень відповідно до положення плану (рисунок 2.16). Результати досліджень приведені в таблиці 3.5, що проводилися з кроком 10° :

Таблиця 3.5 — Результати досліджень навантаження пластини під різним кутом прикладання сили

№ дослідю	Кут прикладання сили	Максимальні навантаження, МПа	Максимальне переміщення, мм
1	10°	185,5	24,61
2	20°	200,7	29,25
3	30°	209,9	33,02
4	40°	224,9	35,8
5	50°	235,3	37,51
6	60°	238,6	38,09
7	70°	234,6	37,51
8	80°	223,5	35,81
9	90°	205,6	33,04

На основі досліджень побудуємо діаграми максимальних навантажень та максимальних переміщень, що зображені на рисунках 3.19 та 3.20 відповідно:

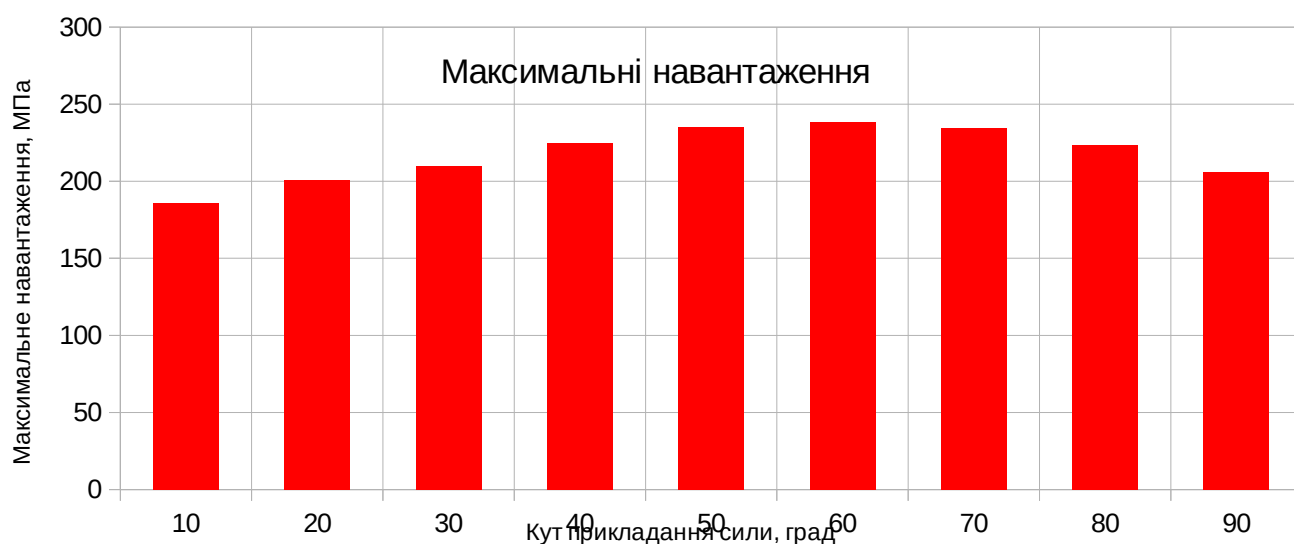


Рисунок 3.19 — Діаграма результатів дослідів на міцність по Фон Мізесу

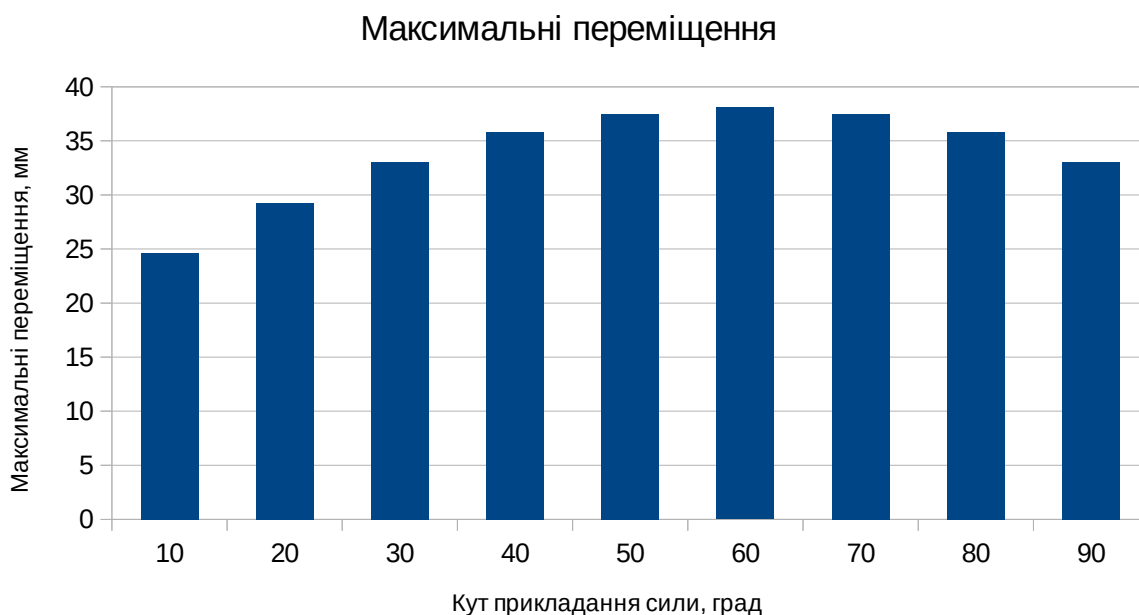


Рисунок 3.20 — Діаграма результатів переміщень

Отже, максимальні навантаження та переміщення утворюються при куті в 60° , що відповідає **п'ятому** положенню (рисунок 2.16). Дивлячись на діаграми результатів, бачимо плавність переходів, що говорить про максимальну комфортність під час користування — а це і впливає на розширення функціональності запропонованого рішення.

Висновок до розділу 3

В даному розділі було підібрано матеріали, розглянуті їх властивості та розкриті технологічні питання по виготовленню пружної пластини. А також виконано ряд дослідів на статичні навантаження, та обрано матеріал, який зможе розкрити та розширити функціонал протезу. Для здійснення дослідів використано режим Simulation програмного середовища Fusion 360, та отримано графічну інтерпретацію дослідів, на яких вказано рівневий розподіл навантажень та процесів деформації. По результатам отримані діаграми дослідів на міцність та переміщення для різного кута прикладання сили з модулем 25 Н.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Інструкція по використанню протезу

Даний протез підходить для пацієнтів з ампутованими кінцівками, які мають середній суглоб. Міцний, але елегантний, захищає місце ампутації від подальших травм та гіперчутливості, а також забезпечує людині спритність рук та силу хвату. Індивідуальний дизайн, зручний у використанні і відповідає вашим основним повсякденним потребам. Легко забиратися, доглядати, одягати і знімати. Виготовлений з міцного нейлону медичного класу 12. Структура, подібна до клітини, захищає залишки каучуку, що нагадують натуральний кінчик пальця.

Рекомендації, щодо використання протезу:

- а) Надягніть протез на ампутований палець.
- б) Встановіть його в правильне положення.
- в) Перевірте початкову посадку:
 - Кільце основної фаланги та основа мають щільно прилягати, як обручка.
 - Обережно струсіть рукою догори дном, щоб переконатися, що протез зафіксований та залишається на пальці.
 - Якщо пристрій ослаблений, встановіть будь-яку комбінацію силіконових прокладок.
 - Якщо помічено розрив навколо залишкового пальця, за потреби додайте прокладки.
- г) Кілька разів перевірте правильне згинання та розгинання.

Далі розглянемо рекомендації використання протезу. Які допоможуть запобігти пошкодження м'язів, які, можливо, недостатньо використовувалися до цього моменту:

- а) Пацієнтам із підвищеною чутливістю рекомендується використовувати протез тільки із пружною нейлоною пластиною.
- б) Якщо на шкірі з'явилося почервоніння, то використовувати протез тільки у випадку необхідності;

- в) Якщо почервоніння не зникає або виникає дискомфорт, негайно припиніть використання пристрою та зверніться до свого протезиста.

4.2 Технічне обслуговування протезу

Конструкція та властивості обраних матеріалів визначають експлуатаційні можливості, а саме:

- Простота конструкції означає легкість обслуговування.
- Протез не потребує змащення.
- Є водонепроникним, стійким до бруду, хімічних речовин і тепла та створений для використання, що обґрунтовано використаними матеріалами.
- Щоб полегшити обслуговування або отримати додаткові силіконові прокладки, потрібно звернутися до свого протезиста.

Пропонуємо ознайомитись з рекомендаціями по догляду та очищенню протезу:

1. Тривалий вплив сильних розчинників може пошкодити пофарбовані поверхні.
2. Промийте прісною водою після використання в солоній воді.
3. За потреби очистити пристрій теплою водою з м'яким миючим засобом. Висушіть на повітрі.
4. За бажанням очистити пристрій від бруду за допомогою старої зубної щітки або стисненого повітря.
5. НЕ прати в машинці; НЕ кладіть у сушарку.

4.3 Утилізація та переробка відходів поліаміду на вторинну гранулу

Із запропонованих вище матеріалів значна увага належить нейлону.

Тому в даному розділі будуть розглянуті лише аспекти, які відносяться до різновиду пружних пластиків.

Як вже зазначалося в роботі, що нейлон - це напівкристалічний поліамід.

На відміну від більшості інших нейлонів, нейлон 6 не є полімером конденсації, а натомість утворюється в результаті полімеризації з розкриттям

циклу, що робить його особливим випадком при порівнянні конденсаційних та адитивних полімерів.

У вигляді синтетичної пластини, нейлон 6 зазвичай блідувато білого кольору, але перед виробництвом його можна пофарбувати у ванні з розчином для отримання різних колірних результатів. Його температура плавлення становить 215°C , і він може захищати від тепла в середньому до 150°C . А отже, боїться прямого вогню.

Цей вид полімерів органічного походження застосовується у багатьох галузях: харчовій, легкій, медицині, нафтохімічній.

З нього виробляють безліч споживчих товарів, від гумотехнічних виробів до одягу, галантереї, килимів.

Звичайно, утворюються великі обсяги відходів, що піддаються вторинній переробці.

Різні типи матеріалів мають схожі властивості – жорсткість та стійкість до зносу.

1. Високе водопоглинання. Властивості відновлюються після висушування.
2. Еластичність. Зберігається за низьких температур.
3. Розм'якшення. Гранична температура становить близько 140°C , що дає можливість стерилізувати пластмасу паром.
4. Міцність при продавлюванні та ударах.
5. Легка зварюваність методом високочастотного зварювання.
6. Висока паро- та низька газопроникність. Властивість використовується для створення вакуумного пакування.
7. Палотна легко забарвлюються, на них наноситься друк.

Багато підприємств купують старі вироби та утилізують їх, або як варіант в утилізацію йде бракована первинна продукція.

В результаті одержують гранули поліаміду, з яких знову виготовляють товари того ж призначення.

За видом відходи поліаміду діляться на первинні та вторинні.

Первинні - це технологічні залишки під час виробництва волокон (11-13%) і переробки в товари (близько 3%).

Вторинні - це вироби, що вийшли з вживання (знос, одяг, побутові предмети). Переробка цієї групи відходів ускладнюється їхньою високою вологістю.

Існують методи утилізації, що поділяються на групи: механічний та фізико-хімічний.

Механічний метод. Для цієї технології підходять зливки та відходи лиття, брак при виробництві волокон. Основою технологічного процесу є подрібнення.

На виході одержують:

- крихту та порошки для виготовлення стрічки, злитків, щетини шляхом лиття під тиском;
- волокнисту сировину для текстильної промисловості.

Механічний метод не знижує фізичні параметри та хімічні властивості вихідного продукту.

Перспективними вважаються процеси виготовлення з нього покриттів для підлоги, нетканих матеріалів, штапельних тканин.

Зручніше та ефективніше для цих цілей використовувати відходи волокон, оскільки вони легко піддаються переробці та фарбуванню.

Фізико-хімічні методи. Вони являються різноманітними і поділяються на види за принципом матеріалу.

1. Деполімеризація для отримання моно- та олігомерів. Перші йдуть на виготовлення волокна, другі – у виробництво лаків, клеїв. Спосіб використовується у промисловості для отримання волокон технічного призначення. Для технології підходить лише чиста сировина.
2. Повторне плавлення та одержання гранул, агломерату. Оснащення технологічної лінії додатковим обладнанням дозволяє виготовляти вироби шляхом лиття та екструзії.
3. Пересадження речовини з розчинів із утворенням порошкоподібних покриттів.

4. Модифікація та одержання матеріалів з новими хімічними властивостями.
5. Створення композиційних матеріалів.

З усіх відомих способів найбільш поширений за кордоном другий метод.

Відходи поліаміду піддаються повторному плавленню протягом 2-3 годин під перегрітою парою або екструзією з електронагрівом.

При використанні тієї чи іншої технології одержують регенований полімер з певними властивостями.

Далі розглянемо устаткування для плавлення.

Зазвичай гранулятори працюють у складі технологічної лінії із вузлами:

- приймальний бункер;
- екструдер із ТЕНами;
- голівка з формуючою філ'єрою;
- ножі для нарізування шматочків (гранул);
- блоки охолодження (водяний чи повітряний);
- бункер приймання продукції;
- вібраційний стіл.

З пульта керування здійснюється запуск електроприводів пристроїв.

У потужних установках (продуктивністю понад 1000 кг/год) на початку ланцюжка встановлюються шредери.

Обладнання коштує недорого, невибагливо до умов експлуатації та обслуговування.

Подача сировини до бункеру здійснюється вручну або автоматично. Звідти маса зсипається в екструзійну камеру, одночасно нагріваючись та розплавляючись.

Розплив спочатку фільтрується, потім у зоні вакууму з нього відсмоктуються бульбашки повітря. Шнеки захоплюють масу на філ'єрі.

З матриці виходять джгути, які нарізаються та охолоджуються. Продукт сушиться, після чого готовий до упакувочки.

При необхідності перед упакованням гранули, які показано на рисунку 4.1, калібруються відповідно до дійсних норм.



Рисунок 4.1- Гранули поліаміду

Ринок пропонує вторинний матеріал у широкому асортименті розмірів та кольорів.

Розглянемо застосування вторинних гранул

Вторинна сировина:

- стійка до хімічних та механічних впливів;
- є діелектриком;
- не насичується вологою;
- нестійка до сонячного випромінювання.

Регенований матеріал може зберігатися довгий час (кілька років) у сухих приміщеннях та використовується у багатьох областях.

1. ПА-6 (капрон) йде на виготовлення кавроліну, штучного хутра та одягу.
2. Гранули повторно використовують у автомобільній промисловості, на харчових та сільськогосподарських виробництвах.

Вторинна гранула , яка показана на рисунку 4.2 використовується у виробництві:



Рисунок 4.2 - Вторинна гранула

1. конструкційних деталей, так як можуть мати великі навантаження;
2. стрижнів, профілів, труб;
3. пакувальної плівки;
4. будівельних матеріалів, підлогових покриттів;
5. композитів.

Матеріал нетоксичний, термостійкий, є гарним звуко- та віброізолятором. Його низька вартість поєднується із високими споживчими характеристиками.

Крім простих, виробляються модифіковані гранули, отримані шляхом збагачення сировини різними добавками.

Вони набувають необхідних властивостей виготовлення запчастин, оболонок, різноманітних ємностей, антикорозійних покриттів, штучних протезів.

Поліамід може перероблятися чотири і більше разів без істотних втрат експлуатаційних характеристик.

Висновок до розділу 4

У висновку, можна сказати, що поліамід являється цінною сировиною виготовлення промислових виробів. Під час виробництва утворюється обов'язковий відсоток браку. Разом з тим попит на продукцію із поліаміду постійно зростає. Ці фактори призводять до збільшення кількості відходів, що забруднюють довкілля.

Поліамід виготовляється з натуральних компонентів і в порівнянні з іншими штучними матеріалами, вважається дорогим. Цінні фізико-хімічні властивості поліаміду роблять його привабливим для вторинної переробки, що дає змогу значно знизити собівартість.

Обидва аспекти свідчать про важливість створення заводів із утилізації відходів поліаміду. Підприємства можуть бути рентабельними, оскільки вони виробляють цінну сировину зі сміття. Технологія приносить економічну вигоду, отриманий матеріал прямує для ефективного використання.

Основні проблеми у даному секторі рециклінгу – налагодження збору, сортування та очищення відходів.

ВИСНОВКИ

Ампутація пальця кінцівки – це операція з часткового або повного видалення пальця внаслідок його некрозу і виконується лише у разі, коли відновлення цієї частини кінцівки вже неможливо і застосовується як крайня міра, спрямована на усунення процесу некрозу, збереження всієї кінцівки. Треба зазначити, що ампутація — це крайня міра та її невиконання загрожує загибеллю пацієнта.

Якщо ампутація сталася та кінцівка або її частини втрачена, то вже легкі щоденні завдання, які ще раніше здавалися абсолютно звичними та простими, вимагають нових зусиль і навичок. Тому кожного дня людина, якій не пощастило з ампутацією, буде зустрічатися з незручностями та відчувати себе неповноцінною. Як результат - це негативно відзначиться на її психофізіологічному стані, комфорті та повноцінності життя. Кожного дня пацієнт буде займатися «само-саботажем» та знаходитися в стані жертви, який також проявлятиметься на близьких. Але вже сьогодні є безліч унікальних рішень типу протезування.

В даній роботі продемонстровано оголене протезування, що є ідеальним прикладом вирішення проблеми ампутації, яке має практичне застосування в реальному житті. Тому в даній роботі спроектовано протез дистальної фаланги, що має розширені можливості за рахунок правильного та коректного підбору матеріалів.

Розглянуто конструкцію спроектованого протезу та описано функціонал кожного елемента та зображено план положень, що демонструє виконання функції обхвату при ампутованій нігтьовій фаланзі пальця руки.

Особливу увагу виділено розширеному функціоналу протезу, який залежить від властивостей пружної пластини. Використовуючи різні матеріали для виготовлення пластини можемо отримати максимальну адаптацію пацієнтів, так як кожен має свої потреби, що залежать від професійного напрямку та виду діяльності.

Було підібрано матеріали, розглянуті їх властивості та розкриті технологічні питання по виготовленню пружної пластини. А також виконано ряд дослідів на статичні навантаження, та обрано матеріал, який зможе розкрити та розширити функціонал протезу. Для здійснення дослідів використано режим Simulation програмного середовища Fusion 360, та отримано графічну інтерпретацію дослідів, на яких вказано рівневий розподіл навантажень та процесів деформації. Виконані діаграми по результатам досліджень, що показують залежність навантаження від кута прикладання сили.

Конструкція та властивості обраних матеріалів визначають експлуатаційні можливості, а саме:

- Простота конструкції означає легкість обслуговування.
- Протез не потребує змащення.
- Є водонепроникним, стійким до бруду, хімічних речовин і тепла та створений для використання, що обґрунтовано використаними матеріалами.
- Щоб полегшити обслуговування або отримати додаткові силіконові прокладки, потрібно звернутися до свого протезиста.

А також надано рекомендації по експлуатації та догляду за протезом.

Розглянути аспекти та методи утилізації пружної пластини, що виготовлена із нейлону.

Результатом даної роботи є протез, який відповідає призначенню, а саме в біомеханічному відношенні максимально відновлює функцію та зовнішній вигляд втраченої частини кінцівки та є практичним, комфортним, легким, міцним та безпечним при експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. «Історико-статистичне дослідження рівня ампутації кінцівки у поранених», Є. В. Цема, І. П. Хоменко, А. А. Беспаленко, О. А. Бур'янов, В. Г. Мішаков, А. Ю. Кіх — УДК 617.57/58-089.873-089.168.
2. ОПОРОФОРМУВАЛЬНІ ОСТЕОКОРЕГУВАЛЬНІ ОПЕРАТИВНІ ВТРУЧАННЯ У ХВОРИХ ІЗ СИНДРОМОМ ДІАБЕТИЧНОЇ СТОПИ: [https://doi.org/10.24026/1818-1384.4\(64\).2018.149981](https://doi.org/10.24026/1818-1384.4(64).2018.149981)
3. Горобейко, М.Б. Синдром діабетичної стопи. Надумана чи реальна загроза / М.Б. Горобейко // Клінічна ендокринологія та ендокринна хірургія. – 2017. – № 1(57). – С. 81-89. – Режим доступу : DOI : 10.24026/1818-1384.1(57).2017.96946.
4. Грекова, Н.М. Хирургия диабетической стопы / Н.М. Грекова, В.Н. Бордуновский. – М: «МЕДПРАКТИКА-М», 2009. – 188 с.
5. International Working Group on the Diabetic Foot. The 2015 IWGDF guidance documents on prevention and management of foot problems in diabetes: development of an evidence-based global consensus / K. Bakker, J. Apelqvist, B.A. Lipsky, J.J. Van Netten. // Diabetes Metab Res Rev. – 2016. – Suppl. 1. – P. 2–6. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1002/dmrr.2694>.
6. Біопротезування. Історія та сучасність [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.science-education.com>
7. Протези кінцівок [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://khkepop.com.ua/uk/produksiya/protežno-ortopedicheskie-izdeliya/protezy-k-onechnostej/>.
8. Протезування верхніх кінцівок [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://orto-lux.com.ua/protezuвання-verhnih-kintsivok/>.
9. Сучасні технології протезування. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

http://itc.ua/articles/covremennye_tehnologii_protezirovaniya_kak_it_pomogaet_lyudyam_zhit_48171/

10. Оголене протезування в Naked Prosthetics [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.npdevices.com/>
11. Людина / Навч. посібник з анатомії та фізіології. — Львів, 2002. - 240 с.
12. Будова кисті верхньої кінцівки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%8C>
13. Сучасна класифікація та номенклатура протезів верхніх та нижніх кінцівок в Україні А. Д. Салєєва, Л. Є. Ватолінський, К. Я. Карпенко, Т. Є. Кудрявцева, О. Д. Чернишов, А. Є. Кравець.
14. Сучасна класифікація та номенклатура протезів верхніх та нижніх кінцівок в Україні А. Д. Салєєва, Л. Є. Ватолінський, К. Я. Карпенко, Т. Є. Кудрявцева, О. Д. Чернишов, А. Є. Кравець.
15. Основи технології складання приладів: Підручник/ В.О. Румбешта. - К.: ІСДО, 1993. - 303с.
16. Нержавіюча сталь AISI 316 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://wikipedia.org/wiki>
17. Нержавіюча сталь AISI 304, AISI 316L [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://agart.ua/nerzhaveyuschaya-stal-aisi-304-aisi-316l>
18. Нелегована конструкційна сталь AISI 1060 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://waldunsteel.com/ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B/1060-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C/>
19. Характеристики марки сталі 1060 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/1060>

20. Нейлон 6, 66. Характеристики. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://skytechpolymer.com.ua/ua/pa-6-kaprolon.html>
21. Безкоштовне протезування нижніх кінцівок [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://health-ukraine.com.ua/uk/protezi-nignih-konechnostey/>
22. Протези верхніх та нижніх кінцівок [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tellus.od.ua/product/bionicheskij-protezi-ruki/>
23. Реабілітація після ампутації [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dopomoga.biz.ua/pages/5.html>
24. Experience of the organization in Ukraine of the system of training of specialists for prosthetic industry according to international standards / V. Semenets, A. Salieieva, O. Avrunin. New Collegium. 2021. № 1(103). P.19–28. URL: <https://doi.org/10.30837/nc.2021.1.19>
25. Інтенсивна терапія. Реанімація. Перша допомога : навч. посіб. / за ред. В. Д. Малишева. – М. : Медицина. – 2000. – 464 с.
26. Бояркіна Г. В. Інтенсивність болю після операції пов'язана з рівнем передопераційної тривоги і депресії /Г. В. Бояркіна, О. Л. Потапов // Біль, знеболювання і інтенсивна терапія. – 2013. – № 29. – С. 48–50.
27. Осипова Н. А. Постампутаційний фантомний больовий синдром: медичні та соціальні проблеми /жінок основної групи з емболією та тромбозом артерій (з 7,5 до 2) та флегмонами та абсцесами кінцівок (з 8 до 2) ніж у чоловіків. Н. А. Осипова, Л. А. Собченко // Анестезіологія та реаніматологія. – 2011. – № 6. – С. 41–43.
28. Comparison of phantom limb pain or phantom extremity sensation of upper and lower extremity amputations / F. Ugur, A. Akin, A. Esmaoglu [et al.] // Agri. – 2007. – Vol. 19, № 1. – P. 50–56.

29. Переробка та прийом відходів Поліаміду [Електронний ресурс] –
Режим доступу до ресурсу: <https://ecolos.com.ua/ru/poliadmid/>
30. Як утилізують пластик [Електронний ресурс] –
Режим доступу до ресурсу: <https://tisprofile.com/info/novini/kak-utilizirujut-plastik>