

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
(інститут)

Механіко-машинобудівний  
(факультет)

Кафедра Конструювання, технічної естетики і дизайну  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студентки Новак Ганни Романівни  
(ПІБ)

академічної групи 132-20-2 ММФ  
(шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_  
(за наявності)

«Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»  
(офіційна назва)

на тему Вибір раціональних параметрів конструкції підвісного крісла  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище_ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Мацюк І.М.			
розділів:				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Мацюк І.М.			
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Мацюк І.М.			
Інженерно-технологічний	Ротт Н.О.			
Експлуатаційний	Федоряченко С.О.			
Рецензент	Кривда В.В			
Нормоконтролер	Гаркавенко Д.В.			

Дніпро  
2024

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
конструювання, технічної естетики і дизайну  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Федоряченко С. О.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеню бакалавра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Новак Ганни Романівни академічної групи 132-20-2 ММФ  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство  
спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»

на тему – Вибір раціональних параметрів конструкції підвісного крісла  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30.04.2024 р.  
№ 380-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Аналіз об'єкта та матеріалів для виготовлення підвісного крісла	20.03.2024.
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Проведення функціонального аналізу, моделювання 3D-моделі, розрахунки на навантаження	16.05.2024.
Інженерно-технологічний	Технологія виготовлення, обґрунтування матеріалу та їх фізико-хімічний аналіз	05.06.2024.
Експлуатаційний	Переробка та утилізація матеріалів, оцінка якості матеріалів	12.06.2024.

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Мацюк І.М.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 03.07.2024

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

Новак Г.Р.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 136 с, 66 рисунків, 32 таблиць, 40 формула, 88 джерел, 6 додатків.

ПІДВІСНЕ КРІСЛО, КРІСЛО-СТІЛЬНИК, СТІЙКА, ПАЛЕЦЬ-ШТИФТ, СТАЛЬ, АКРИЛ, ЕРГОНОМІКА, ТЕХНІЧНА БІОНІКА, ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ, 3D МОДЕЛЮВАННЯ, МЕТОД СКІНЕЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, АНТРОПОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ, ВИПРОБУВАННЯ, ТЕРМОМЕХАНІЧНА ОБРОБКА, ПОРОШКОВЕ ФАРБУВАННЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ПЕРЕРОБКА.

Мета роботи – розробка оптимальної конструкції підвісного крісла з покращеними ергономічними характеристиками та зменшенням маси, використовуючи принципи біоніки.

Об'єкт розроблення – взаємодія матеріалів та елементів конструкції для розробки ергономічного і біонічного дизайну підвісного крісла.

Проведено аналіз конструкцій і матеріалів підвісних крісел та обрано найбільш ефективно поєднання.

Виконано функціонально-вартісний аналіз підвісного крісла, обрано їх важливі елементи та способи їх оптимізації та покращення.

Проведено антропометричні дослідження різних вікових груп для створення ергономічної складової виробу.

Обґрунтовано конструкцію корпусу крісла у вигляді бджолиного стільника з ціллю економії матеріалу.

Побудовано 3D модель підвісного крісла та обрано матеріал для його конструкції.

Перевірено 3D модель підвісного крісла на міцність, жорсткість; палець-штифт та зону регулювання висоти на зріз; стійку на перекидання.

Обрано технологію виготовлення та переробки підвісного крісла та його елементів.

Описано методи сертифікації та контролю якості підвісного крісла.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ .....	6
1.1 Аналіз одномісного і багатомісного підвісного крісла.....	6
1.2 Опис видів підвісних крісел.....	8
1.3 Аналіз форм підвісних крісел .....	10
1.4 Види стійок для конструкції крісел.....	12
1.5 Матеріали для виготовлення підвісних крісел.....	13
1.6 Існуючі технології виготовлення підвісних крісел .....	15
1.10 Постановка задач.....	16
2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ (МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ) .....	18
2.1. Технологія проектування промислового виробу.....	18
2.2. Функціонально-вартісний аналіз виробу.....	19
2.3. Моделювання промислового виробу .....	23
2.3.1. Ергономічні параметри.....	23
2.3.2. Технічна біоніка та біодизайн.....	29
2.3.3. Моделювання стійки.....	32
2.3.4. Моделювання корпусу підвісного крісла .....	38
2.4. Випробування промислового виробу.....	43
2.5. Висновки до розділу .....	53
3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	54
3.1. Обґрунтування вибору матеріалу підвісного крісла .....	54
3.3. Технології виробництва підвісного крісла.....	61
3.4. Термомеханічна обробка.....	68
3.5. Порошкове фарбування.....	77
3.6. Утилізація та переробка матеріалу крісла .....	80
3.6. Висновки до розділу .....	83
4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	85
4.1. Контроль якості виготовлення підвісного крісла .....	85
4.2. Експлуатація виробу.....	91
4.3 Висновки до розділу .....	93

ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95
ДОДАТКИ.....	104

## ВСТУП

Підвісні крісла є популярними меблями для комфортного відпочинку на природі і вдома. Вони не втрачають своєї актуальності з моменту їх створення.

Першими підвісними меблями, якими надихалися дизайнери є дитячі гойдалки і гамаки. Вони дуже схожі на підвісні крісла, оскільки схоже працюють і справляють схожий ефект. Лежачи або сидючи у затишному і обмеженому у просторі людина відчуває спокій, усамітнення, умиротворення, невагомість.

Окрім позитивного психологічного впливу підвісні крісла мають ще низку переваг, таких як: різноманітність форм і кольорів, різноманітність матеріалів і екологічність, простота догляду, конструкційність, універсальність, мобільність.

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто і запропоновано модернізацію стійки підвісного крісла з урахуванням антропометричних параметрів людей різних вікових груп, а саме запровадження функції регулювання висоти за допомогою кріплення пальця-штифта. За допомогою принципів ергономіки та програми Autodesk Fusion 360 розроблено 3D модель стійки з урахуванням антропометричних параметрів хлопців та дівчат віком 5-20+ років.

Додатково розроблено новий дизайн крісла у формі кулі стільника. Під час створення виробу застосовувались принципи біоніки та біодизайну, ергономіки та технічної естетики. Метою завдання було зробити не тільки новий вигляд крісла, а й зменшити його вагу для зменшення силового навантаження на стійку під час подальшого користування.

# 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ

## 1.1 Аналіз одномісного і багатомісного підвісного крісла

Першими підвісними меблями, якими надихалися дизайнери є дитячі гойдалки і гамаки. Не можна однозначно сказати, хто і де першим винайшов гамак, однак його популяризації сприяло відкриття Америки і завезення цього виробу у Європу конкістадорами і колоністами від корінних американців. М'які меблі були належно оцінені солдатами у тривалих походах, мандрівниками і навіть вельможами, які полюбили післяобідній відпочинок в гамаку для відновлення сил.

Перша модель підвісного крісла була створена у 1957 році дизайнеркою Нанні Дітзель зі звичайного плетеного гамака. З'єднавши краї гамака і додавши підвіс, вона підвісила крісло яйцеподібної форми на сталеву балку. Для зручності на напівкруглу основу крісла поклали м'які подушки. Виріб став дуже популярним серед людей, і вже у 1968 році декоратор Ееро Аарніо із Фінляндії модернізував і створив крісло у формі мильної бульбашки з пластику і ланцюгом у якості підвісу до стелі. За минулі десятиліття дизайнери створили багато нових форм підвісних крісел, використавши багато натуральних і синтетичних матеріалів, видів підвісів і монтажу. Популярність цих меблів не зникає через унікальне облаштування місця відпочинку і його універсальність (однаково добре виглядає і в інтер'єрі, і у ландшафтному дизайні, підходить для дітей і дорослих). Доведено, що ефект левітації та гойдання сприяє швидкому засипанню і глибшому зануренню в тривалу фазу сну [1, 2, 3, 4].

Підвісне крісло складається з крісла, стійки з опорою, м'якої подушки, та підвіса. Підвіс – загальна назва функціональних компонентів, які забезпечує надійне і безпечне для користувача з'єднання крісла і монтажного компонента (гаки, петлі, рим-болти або стійка). Підвісом може виступати мотузка або канат з синтетичних волокон або металевий ланцюг. У разі використання другого додатково застосовують металеві карабіни або S-подібні гачки, а також амортизуючу пружину з зачепами. Модель зі стійкою можна переставити у інше місце у будь-

який момент. Або можна повісити крісло на гак, що монтується у стелю. Недоліком цього методу є обов'язкове дотримання правил монтажу та техніки безпеки [2, 5]. Крісла, підвіси, стійки і монтажні вироби витримують високі статичні і динамічні навантаження.

Після аналізу доступних для придбання виробів у відкритих джерелах, було складено переліки критеріїв для класифікації корпусів крісел та стійок.

Корпус можна класифікувати за: формою (кокон, пелюстка, крапля, куля, яйце, гніздо, гамак тощо), місткістю (одномісне, багатомісне), жорсткістю (м'яке, жорстке), відкритістю (закрите, напівзакрите, відкрите), матеріалами (натуральні, синтетичні), положенням тіла (сидяче, напівлежаче), наявністю додаткових конструкційних елементів (підставки під ноги).

Стійки з опорою можна класифікувати за: формами і наявністю певних конструкційних елементів, матеріалами і їх міцнісними характеристиками (звичайні і посилені стійки), можливістю зібрати і розібрати.

Одномісні підвісні стільці, які часто називають кріслами-гамаками або кріслами-каркасами, створюють затишний та індивідуальний простір для відпочинку. Ці стільці зазвичай мають підвісну тканину, сітку або жорсткий каркас, що створює комфортне відчуття замкненого простору (рис. 1.1.а). Вони ідеально підходять для відпочинку або читання на самоті і, як правило, доступніші і дешевші за свої більші аналоги.

З іншого боку, підвісні стільці, призначені для кількох людей, такі як крісла-гойдалки або підвісні дивани, є чудовим місцем для спілкування та відпочинку з друзями чи родиною. Ці стільці часто мають ширшу та міцнішу раму, витримують більшу вагу (до 150 – 200 кг) та пропонують простору зону відпочинку (рис. 1.1.б). При цьому середня вага крісла не перевищує 20-30 кг [6].



Рисунок 1.1 – Приклад одномісного (а) і багатомісного (б) підвісного крісла

## 1.2 Опис видів підвісних крісел

Закриті моделі підвісних крісел характеризуються наявністю корпусу з щільного або напівщільного матеріалу навколо користувача, ергономічної форми для підтримки тіла (рис.1.2, б). Закрита конструкція створює відчуття затишку і усамітнення, захищає стихії і сонця, є більш стійкою до деформацій і безпечною для відпочинку малих дітей. Недоліком є: обмежена видимість навколишнього середовища і погане пропускання світла, можливе ускладнене пересування, дуже обмежений простір у деяких моделях, що може викликати некомфортні відчуття.

Відкриті моделі підвісних крісел відрізняються відкритим дизайном через наявність нещільного матеріалу корпусу або відсутність деяких його частин (рис. 1.2, а). Відкрита конструкція дозволяє легше пересуватися, безперешкодно бачити навкруги, пропускати багато світла та повітря. Є легшою у транспортуванні та переміщенні. Але такі крісла можуть не забезпечувати необхідний рівень конфіденційності, підтримки тіла, захисту від стихії та мати меншу міцність.

Але ці проблеми можуть бути вирішені вибором напівзакритих підвісних крісел (рис. 1.2, в). Вони забезпечать необхідний рівень мобільності, конфіденційності, здорового і комфортного відпочинку.



Рисунок 1.2 – Приклад відкритого (а), закритого (б) і напівзакритого (в) підвісного крісла

Крісла з жорстким каркасом – конструкції, виготовленні з міцних матеріалів, часто металу чи дерева, здатних тримати статичну форму і високі навантаження (рис. 1.3, б). Є довговічними, здатні витримати велику вагу користувача протягом тривалого часу, не втративши своєї форми, та підтримати тіло. Для жорстких крісел властива стійкість до різних погодних умов та температур. Мають широкий вибір дизайнів, форм. Деякі моделі можуть містити додаткові конструкційні і функціональні елементи, такі як навіс, підставка для ніг. Недоліками є труднощі зі встановленням, монтажем, транспортуванням, особливо для великогабаритних моделей, недостатня гнучкість і амортизація конструкції.

Крісла з м'яким каркасом – конструкції нестатичної форми, виготовленні з натуральної або синтетичної тканини або сітки, іноді можуть мати тверду основу (рис. 1.3, а). Забезпечують м'яке і комфортне сидіння за рахунок гнучкого матеріалу, що прилягає до тіла. Як правило, легкі та прості в установці, зберіганні, транспортуванні. Можна використовувати як у приміщенні, так і на вулиці. Прикладами м'якого крісла є крісла-гамаки, крісла-гнізда тощо. Недоліками таких видів крісел є менша надійність та міцність, обмеження по вазі користувача і потенційні проблеми з довговічністю. Крісла не здатні утримувати статичне положення користувача.



Рисунок 1.3 – Приклад м'якого (а) і жорсткого (б) підвісного крісла

### 1.3 Аналіз форм підвісних крісел

При дослідженні відкритих джерел не можна не помітити різноманіття різних форм, кольорів, фактур і стилів підвісних крісел. Оскільки підвісне крісло як виріб складається з декількох компонентів, важливим є їх гармонійне поєднання як між собою у єдиній композиції, так і з навколишнім середовищем. Найбільш помітним є вплив біоніки та біодизайну (біофільного дизайну), що відображається у створенні природних форм, використанні натуральних матеріалів і стилів виготовлення.

Прикладами біофільного дизайну є крісла у формі кокона, пелюстки, яйця, краплі, гнізда поряд з формами кулі або гамака. Природні форми поєднуються з техніками плетіння, що створюють природній візерунок (павутиння, листя, мушля, панцир черепахи, плющ тощо). Зовнішній вигляд стійок ймовірно надихався стеблами рослин, лозою та ліанами (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Приклади біофільного дизайну підвісних крісел

Крісла з підставкою під ноги мають підставку для підтримки ніг, що разом з ергономічною стінкою забезпечує додаткове розслаблення, покращений кровообіг, знижений тиск на низню частину спини.

Підвісне крісло-шезлонг має контурну форму тіла у лежачому та напівлежачому положенні, відкриту конструкцію.



Рисунок 1.5 – Приклад крісел з додатковими конструкційними елементами:

а – з підставкою під ноги; б – лежаче крісло.

## 1.4 Види стійок для конструкції крісел

Стійки для підвісних крісел - це конструкції, що встановлюються на підлогу для підтримки підвісного крісла. Вони забезпечують необхідну міцність і безпеку, дозволяючи комфортно проводити час (рис.1.6, а).

Існують два основних типи стійок для підвісних крісел в залежності від матеріалів і їх міцнісних характеристик: звичайні та посилені. Також існує багато варіацій за формами і конструкціями.

Варіанти форм і наявність певних конструкційних елементів варіюється в залежності від заданих на підвісне крісло навантажень. У багатомісних підвісних кріслах обґрунтованим є вибір посилених опорних стійок з додатковими розпірками, опорними балками і точками підвішування. Такі моделі мають ширшу основу, дві вертикальні стійки, розташовані паралельно одна одній або дзеркально, утворюючи з'єднану літеру «П» (дивись рис. 1.1, б).

Деякі виробники представляють опорні стійки для декількох одномісних підвісних крісел (рис 1.6, в).

Також існують моделі з тканим навісом для захисту від сонця, що робить відпочинок на природі або пляжі особливо приємним (рис 1.6, б).

Під час пошуку майже не знайдено достатньо міцних і естетично привабливих стійок з можливістю регулювання висоти.

Зазвичай звичайні стійки виготовляються з легких матеріалів, таких як сталь, алюміній або металеві сплави. Вони призначені для звичайного використання та мають достатню міцність для витримування крісла та людини, легкість та зручність в установці, доступність у ціні. Можна використовувати у домашньому середовищі або у невеликих комерційних приміщеннях. Але, не дивлячись на міцнісні властивості, звичайні стійки з часом втрачають форму, через обмежений запас тривалої міцності.

Як і звичайні стійки, посилені виготовляються з міцних матеріалів, таких як сталь або інші важкі сплави. Їх конструкція і матеріали розраховані на більші навантаження та жорсткішу експлуатацію, мають запас тривалої міцності, однак

мають більшу вагу, що впливає на транспортування та встановлення, та вищу вартість.

Отже, при виборі між звичайною і посиленою стійкою, користувачам варто враховувати власні потреби та очікувану експлуатацію.

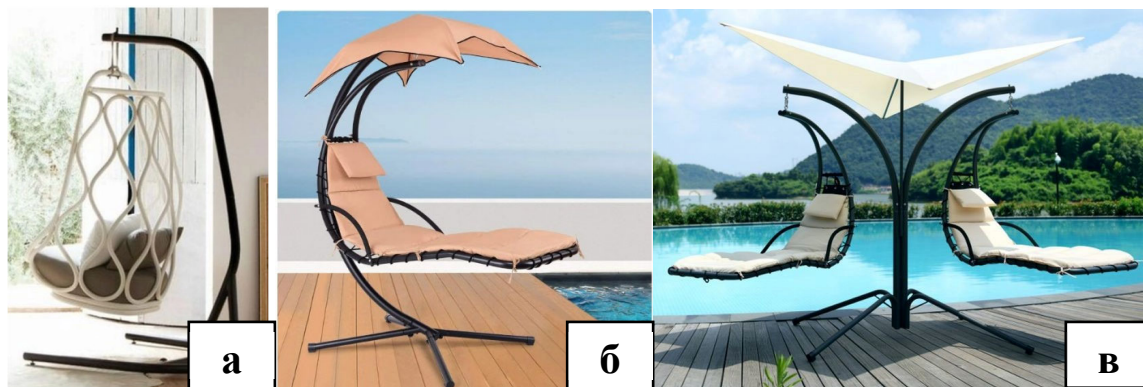


Рисунок 1.6 – Приклад стійок: а – одномісна; б – одномісна з навісом; в - багатомісна.

### 1.5 Матеріали для виготовлення підвісних крісел

Для виготовлення компонентів підвісних крісел використовують різні за своєю природою матеріали: метали, пластики, натуральні та синтетичні тканини, нитки, шнури тощо. Усі вони надають різний вигляд виробам, але мають суттєві відмінності.

Лоза - це популярний, доступний матеріал з високою міцністю. Завдяки гнучкості дозволяє створювати навіть дуже складні орнаменти плетіння. Виглядає легким, майже невагомим, що пов'язано з малою товщиною вербових прутів. Лоза не є особливо вимогливою до догляду.

Натуральний ротанг - це стебла ротангових пальми, які ростуть в тропіках. Екологічний, легкий та довговічний матеріал. Завдяки великій довжині гілок дозволяє сплести весь каркас з одним або двома стиками, що забезпечує стійкість до деформацій. Натуральний ротанг піддається впливу холодного і мокрого клімату (починає страждати від цвілі). При частому контакті з водою меблі можуть

розбухнути і деформуватися. Крім цього меблі з ротангу бояться високих температур. У разі користування меблями під прямими сонячними променями, або біля опалювальних приладів – виріб пересохне і почне тріскатися. Для захисту регулярно доведеться оновлювати лакування.

Штучний ротанг – це синтетичне волокно, яке виробляють методом екструзії – розплавлений під певною температурою пластик продавлюють через спеціальну форму. Матеріал добре переносить вологу, великі перепади температур, не втрачає колір, не тріскається, є легким і нетоксичним. Має підвищену в кілька разів міцність, більш багату кольорову гаму і збільшений термін служби. При цьому їх вартість на порядок нижча меблів з натурального ротангу [3, 7].

Текстиль використовується для виготовлення м'яких подушок та м'якого каркасу (гамаки та крісла-гамаки). Як би ви не розташовувалися в підвісному кріслі, основа з тканини деформується і приймає положення тіла. Велике різноманіття кольорів та візерунків дозволяє обирати виріб на будь-який смак. Всі тканини можна охарактеризувати як натуральні або синтетичні волокна (або їх суміш).

Натуральні волокна - це волокна, виготовлені з натуральних матеріалів, отриманих з рослин, тварин або мінералів. Волокна є екологічними, оскільки не використовують стільки хімікатів в процесі виробництва, але є винятки, тому що деяким рослинам потрібно більше води для росту.

Синтетичні волокна виготовляються з синтетичних матеріалів, зазвичай утворюються в результаті хімічних процесів. Їх перевагами є ціна, стійкість до плям, водонепроникність та водостійкість. Але волокна чинять негативний вплив на екологію як під час їх експлуатацій (змивання у каналізацію та неможливість фільтрації мікропластику), так і після неї [5, 8].

Під час аналізу підвісних крісел у Інтернет магазинах виявлено, що габардин є найпопулярнішим матеріалом для пошиття м'яких подушок, другим по популярності є рогожка, оскільки тканина стійка до кігтів домашніх тварин. Для підвісних крісел гамаків виробники пропонують різні типи тканин, тому є можливість обрати, що більше подобається.

Оргскло (органічне/акрилове скло) - акрилова термопластична смола. Це прозорий пластик, який може зазнавати фарбування та тонування. Також зустрічається під комерційними назвами: PMMA, Plexiglas, Altuglas, Diakon, Acrylite, акрил, акрилове скло та багато інших. Найчастіше назви формуються від назв популярних брендів. Поліметилметакрилат - повна та найправильніша назва органічного скла.

Формується двома способами: методами лиття або екструзії, а отримані листи називають "литьовим" та "екструзійним" оргсклом. Вони мають ідентичний зовнішній вигляд, подібні основні властивості та технічні характеристики, але все ж таки відрізняються один від одного. Важливо знати, яким із зазначених методів матеріал був виготовлений, щоб зрозуміти поведінку при обробці та поведінку за конкретних умов експлуатації.

За типом скла виділяють: прозоре, забарвлене прозоре, матове, кольорове в масі, рифлене, флуоресцентне.

Оргскло є популярним матеріалом для виготовлення виробів у сфері реклами і торгівлі, будівництва, оптики, автомобіле-, судно- та літакобудування, медицині для виготовлення багатошарового скла, світлотехнічних деталей тощо [9, 10].

## **1.6 Існуючі технології виготовлення підвісних крісел**

Шиття - це широко використовувана техніка виготовлення одягу, домашнього та промислового текстилю, взуття, меблів, іграшок, спортивних товарів. Являє собою з'єднання двох або більше шматків матеріалу (тканини, шкіри, хутра) за допомогою різних методів зшивання ниткою, створення стібків та швів [11]. У випадку з підвісними кріслами шиття часто використовується для створення подушок, оббивки, чохлів або м'якого каркасу-гамаку.

Плетіння - ремесло з виготовлення доморобних господарсько-побутових та художніх виробів з різноманітної еластичної сировини [12]. Це передбачає переплетення різних матеріалів, таких як ротанг, лоза або синтетичні волокна, для створення міцної та візуально привабливої конструкції. Вправні майстри

використовують різні техніки, щоб отримати красиві, складні та міцні візерунки[5, 12].

Лиття - це техніка виробництва, яка полягає в тому, що рідкий матеріал (метал, сплав, пластик, смола, деякі гірські породи) заливають у ливарну форму та дозволяють йому затвердіти в бажану форму. Техніка в основному використовується для створення як металевих каркасів, корпусів для підвісних крісел, так і стійок, підвісів. Матеріал для їх виробництва обирають залежно від бажаної міцності та зовнішнього вигляду. Лиття дозволяє створювати складні та детальні конструкції, забезпечуючи міцність, довговічність та естетичну привабливість елементів підвісного крісла [13].

### **1.10 Постановка задач**

Аналіз розглянутих виробів та методів їх створення показав, що одиниці з існуючих моделей стійок на підвісні крісла мають функцію регулювання висоти. Тому задачі, які потрібно вирішити у даній кваліфікаційній роботі – це спроектувати міцну та надійну стійку з можливістю регулювання висоти, а також легке та естетично привабливе крісло. Для обох виробів враховуємо ергономічні параметри користувачів, застосовуємо біофільний дизайн, підбираємо екологічні та зручні у догляді матеріали.

Задачі, які потрібно вирішити у даній кваліфікаційній роботі:

1. Провести аналіз конструкцій і матеріалів підвісних крісел та обрати найбільш ефективне поєднання.
2. Виконати функціонально-вартісний аналіз підвісного крісла, обрати його важливі елементи та способи їх оптимізації та покращення.
3. Провести антропометричні дослідження різних вікових груп для створення ергономічної складової виробу.
4. Обґрунтувати конструкцію корпусу крісла у вигляді бджолиного стільника з ціллю економії матеріалу.

5. Побудувати 3Д модель підвісного крісла та обрати матеріал для його конструкції.
6. Перевірити 3Д модель підвісного крісла на міцність, жорсткість; палець-штифт та зону регулювання висоти на зріз; стійку на перекидання.
7. Обрати технологію виготовлення та переробки підвісного крісла та його елементів.
8. Описати методи сертифікації та контролю якості підвісного крісла.

## **2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ (МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ)**

### **2.1. Технологія проєктування промислового виробу**

Перед початком виготовлення технічного об'єкту він має пройти процес проєктування. Для кожного конкретного випадку процес створення має індивідуальну структуру чи етапи проєктування.

Процес проєктування виробів в умовах виробництва складається з таких основних етапів:

Перший етап - дослідження та складання завдань проєкту. На цьому етапі обирають об'єкт проєктування, досліджують його проблеми, індивідуальну та суспільну користь, висувають вимоги та цільову аудиторію. Для дослідження використовують власний досвід або досвід інших користувачів та відкриті джерела інформації (довідники, книги, журнали, каталоги, мережу Інтернет). На основі виконаної роботи складають технічне завдання і окреслюють план майбутньої діяльності і її результатів.

Другий етап - художньо-конструкторський пошук. На цьому етапі створюються початкові творчі ідеї у вигляді ескізів і макетів. Ескізи можуть відображати як окремі частини, так і весь виріб в цілому. Ескізи конструктивних елементів та виробів розробляють з урахуванням вимог міцності, жорсткості конструкції, а також вимог стійкості, зважаючи на максимальні габаритні відхилення у процесі експлуатації. На основі ескізування проводиться макетування (3D моделювання), щоб остаточно визначити компоновальні варіанти, з'ясувати об'ємно-просторові пропорції тощо. 3D моделювання проводиться за допомогою спеціальних програм: Autodesk Inventor, 3D-Max, Fusion 360, SolidWorks та ін.

Третій етап – ескізний проєкт. На цьому етапі відбувається презентація остаточної творчої пропозиції від команди фахівців, яка повністю відображає характеристики виробу. До його графічної частини також виготовляють ортогональні вигляди виробу, його перспективне зображення, зображення макета

виробу чи інтер'єру, розрізи вузлів, схеми компоновок, номенклатурні креслення, пояснювальну записку. Також фахівці представляють функціональний і композиційний аналіз, аналіз матеріалів, інструментів, технологій виготовлення обраної конструкції. Можуть додати економічні, екологічні та міні-маркетингові дослідження.

Четвертий етап - складання конструкторської документації. На цьому етапі проектування складають креслярську документацію - робочі креслення, необхідні для виготовлення запланованого виробу.

До суб'єктивних обставин, що впливають на етапи і процеси проектування, відносять накопичені на конкретний момент наукові відомості в певній галузі знань, особливості матеріально-технічного оснащення проектних робіт, вимоги економіки, визначені строки виконання експериментального зразка і т. д.

Після проходження проектувального етапу виріб проходить етап виготовлення, а за ним – етап тестування і сертифікації. Зазвичай виготовляється прототип, виконуються операції, що заплановані й передбачені у змісті технологічного процесу з дотриманням технологічної, трудової дисципліни, культури праці. На кінець здійснюють кінцевий контроль, порівняння виготовленого виробу із запланованим, випробування. Виявлені недоліки та неполадки намагаються усунути. Виконану роботу аналізують, з'ясовують, чи досягнуто мети, яким є результат праці, роблять оцінку спроектованого виробу [14].

## **2.2. Функціонально-вартісний аналіз виробу**

Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) - це метод техніко-економічного дослідження систем, метою якого є оптимізація співвідношення між споживчими функціями або властивостями системи (як продукту, технічного об'єкту або послуги) і витратами на досягнення цих функцій або властивостей [15].

До основних завдань функціонально-вартісного аналізу відносять:

- зниження витрат на виробництво продукції при збереженні чи поліпшенні його якості;
- визначення диспропорції між значимістю функції і витратами на її здійснення, виявлення зайвих витрат і причин їх виникнення;
- пошук оптимальних поєднань функціональних і конструкторсько-технологічних рішень при створенні нової продукції;
- попередження появи зайвих функцій і витрат при підвищенні якості продукції;
- адаптація продукції до нового ринку підприємства;
- пошук нових сфер використання вже діючих об'єктів.

ФВА використовується в основному при проектуванні нових видів продукції, виробів, робіт чи послуг [16].

Технічний об'єкт (ТО) – створений людиною чи автоматом, реально існуючий прилад, призначений для задоволення певної потреби.

У даній кваліфікаційній роботі ТО – це стійка як елемент спроектованого підвісного крісла – основний інструмент для підвішування крісла у просторі, а також крісло.

Основні потреби до стійки:

- Забезпечити просту але надійну можливість регулювати висоту для користувачів віком від 5 до 20+ років;
- Мати запас тривалої міцності для протидії деформаціям і руйнуванням;
- Забезпечити надійне стояння на підлозі і підвішування у просторі;
- Забезпечити відчуття погойдування для комфортного відпочинку;
- Бути гармонійним компонентом з іншими елементами підвісного крісла і навколишнім середовищем.

Основні потреби до крісла:

- Мати запас тривалої міцності для протидії деформаціям і руйнуванням;
- Забезпечити відчуття погойдування для комфортного відпочинку;
- Бути гармонійним компонентом з іншими елементами підвісного крісла і навколишнім середовищем.

На основі досліджень з відкритих джерел і нового технічного завдання було створено таблицю складових компонентів і функцій підвісного крісла (табл. 2.1) та зроблено оцінку ефективності такого виробу (табл. 2.2).

Таблиця 2.1 – Опис функцій підвісного крісла (з можливістю регулювання висоти)

Елементи		Функція	
Позначення	Назва	Позначення	Опис
E <sub>0</sub>	Крісло	$\Phi_0^*$	Забезпечує обмежене у просторі і затишне місце для сидіння
		$\Phi_0^{**}$	Забезпечує статичну форму
		$\Phi_0^{***}$	Виконує функцію прикраси усього виробу
E <sub>1</sub>	М'яка подушка	$\Phi_1^*$	Комфортне сидіння за рахунок підтримки спини
		$\Phi_1^{**}$	Доповнює естетичний вигляд крісла
E <sub>2</sub>	Карабін	$\Phi_2^*$	З'єднує крісло з ланцюгом
E <sub>3</sub>	Ланцюг	$\Phi_3^*$	З'єднує крісло зі стійкою
		$\Phi_3^{**}$	Забезпечує гойдання
E <sub>4</sub>	Пружина з зачепами	$\Phi_4^*$	Амортизація різких ривків і поштовхів
		$\Phi_4^{**}$	З'єднання ланцюга зі стійкою
E <sub>5</sub>	Стійка	$\Phi_5^*$	Тримає крісло у повітрі на певній висоті
		$\Phi_5^{**}$	Забезпечує надійне стояння на підлозі
		$\Phi_5^{***}$	Регулює висоту крісла відносно підлоги
		$\Phi_5^{****}$	Виконує функцію прикраси

Таблиця 2.2 – Оцінка ефективності елементів підвісного крісла

Елементи	Функція	Значимість, %	Вартість, %	Ефективність
Крісло	$\Phi_0^* + \Phi_0^{**} + \Phi_0^{***}$	30	38	1,3
М'яка подушка	$\Phi_1^* + \Phi_1^{**}$	10	18	1,8
Карабін	$\Phi_2$	5	0,8	0,2
Ланцюг	$\Phi_3$	15	0,8	0,1

## Продовження таблиці 2.2

Пружина	$\Phi_4^* + \Phi_4^{**}$	5	1,4	0,9
Стійка	$\Phi_5^* + \Phi_5^{**} + \Phi_5^{***} + \Phi_5^{****}$	35	41	1,2
		<b>100</b>	<b>100</b>	

У теорії і практиці ФВА виправдане співвідношення між значимістю функції та витратами на неї повинне бути рівним чи близьким до 1. Якщо коефіцієнт ефективності менше 1, співвідношення вважається більш сприятливим. Якщо коефіцієнт ефективності більше 1, то рекомендується вживати заходів по зниженню витрат на створення функції [17].

При дослідженні стійок у відкритих джерелах виявлено, що часто виробники ставлять високу або завищену ціну на свою продукцію. У такому разі співвідношення вартості і значимість виробу є несприятливим, а коефіцієнт ефективності має високе значення.

Тому прийнято рішення додати до стійки функцію регулювання висоти. Таке рішення зменшить високий коефіцієнт ефективності стійки до 1,2 (табл. 2.2), створивши більший відсоток значимості елементу за збереження його заявленої ціни.

Що стосується крісла, то можна зменшити його вартість шляхом оптимізації конструкції і зменшенням витраченого на його виробництво матеріалу. У такому разі при збереженні попереднього відсотка значимості елемента, але при зменшенні його вартості, коефіцієнт ефективності також зменшується до 1.3 (табл. 2.2). При скороченні кількості витраченого на виробництво матеріалу, зменшується вага крісла, що є однією з цілей кваліфікаційної роботи.

## 2.3. Моделювання промислового виробу

### 2.3.1. Ергономічні параметри

Підвісне крісло, як і будь-який виріб, зазнає модернізації для покращення умов експлуатації та підвищенню рівня зручності використання. Для проектування нового підвісного крісла необхідно знати і вміти застосовувати принципи ергономіки.

Ергономіка – наука, загальна мета якої формулюється як єдність трьох аспектів дослідження та проектування - підвищення ефективності діяльності та відповідно функціонування системи «людина-машина-середовище», охорони здоров'я та розвитку особистості людей, які беруть участь у процесі діяльності [18]. Наука про пристосування посадових обов'язків, робочих місць, предметів і об'єктів праці, а також комп'ютерних програм для найбезпечнішої та найефективнішої праці працівника, виходячи з фізичних і психічних особливостей людського організму [19].

Перед початком проектування виробу необхідно зібрати необхідні дані про цільову аудиторію і ергономічні вимоги до виробу. Ергономічні вимоги – це стандарти, що встановлюють для забезпечення комфортних та безпечних умов перебування у системі «людина-машина-середовище». Включають у себе соціально-психологічні, психофізичні, психологічні, антропометричні, фізіологічні і гігієнічні фактори.

Для кваліфікаційної роботи було проведено антропометричні обстеження людей віком від 5 до 20+ років. Всі отримані дані поділили на дві групи: показники для проектування стійки з регулюванням висоти і показники для проектування крісла.

Для створення стійки було зібрано дані висоти від підшви до сидіння людей віком 5-20+ років. Основною задачею було подивитися, як змінюються показники у дітей, підлітків і дорослих у процесі дорослішання, виділити декілька вікових груп. Для кожної вікової групи вираховували свої значення показника для

подальшого проектування отворів для пальці-штифта на стійці. Результати вимірювань висоти від підшви до сидіння п'яти вікових груп зібрані у таблиці 2.3.

Для розробки гарного дизайну необхідно вибрати сектор із середніми показниками і сьогодні загальноприйнятою практикою вважається не брати до уваги крайні порогові значення та працювати на 90 відсотків населення. Тому більшість антропометричних даних виявляється у процентилях [18].

Процентиль (перцентиль) - значення антропометричні ознаки (наприклад, довжина тіла, висота плеча над підлогою) для сотої частки сукупності виміряних людей.

В основу методу процентилей покладено аксіому про те, що будь-яка антропометрична ознака є випадковою величиною, підпорядковується нормальному закону розподілу і можна з певною ймовірністю визначити його розміри. Причому необхідний діапазон мінливості характеристики, що враховується, задається в частках середньоквадратичного відхилення по відношенню до математичного очікування.

Процентилі можна розрахувати за формулою (2.1):

$$n = (P/100) \cdot N, \quad (2.1)$$

де  $N$  - кількість значень у наборі даних;

$P$  – процентиль;

$n$  - порядковий ранг даного значення (зі значеннями в наборі даних, відсортованим від найменшого до найбільшого).

Розраховуючи висоту підйому підвісного крісла над підлогою важливо врахувати зручне сидання і вставання для людей з низьким значенням висоти підшва-сидіння. Якщо задовільнити цю потребу для цієї групи людей, то для люди з високим значенням висоти підшва-сидіння ця потреба теж буде задоволена. Тому було запропоновано значення 10 процентиля для висоти від підлоги до сидіння і знайдено йому відповідне значення серед множини зібраних показників.

Значення висоти підошва-сидіння за 10 перцентилем для різних вікових груп можна побачити у таблиці 2.3 .

Таблиця 2.3 - Висота від підошви до сидіння різних вікових груп (см)

Люди	Вік				
	5-7 років	8-10 років	11-13 років	14-17 років	18-20+ років
Знач. 1	26	30	32	38	39
Знач. 2	27,3	32	32	37,7	42
Знач. 3	27	31,6	32,1	38,7	40
Знач. 4	27,9	31,4	33	38,5	38
Знач. 5	28,2	32	34,2	38,5	39
Знач. 6	28	31,5	34,6	39	41
Знач. 7	29	31	34,9	39,7	40
Знач. 8	29	33	35	39	43
Знач. 9	31	31,9	36,8	39	42
Знач. 10	27	32	37	40	42
Знач. 11	28	32,8	31,9	39	44
Знач. 12	29	32,8	31,8	40	45
Знач. 13	28	32	32	41	44
Знач. 14	29,6	33,1	34	40	44
Знач. 15	31	32	37	40	44,7
Знач. 16	30	32	38	41	44,5
Знач. 17	31,6	33	37,5	41,2	45
Знач. 18	30	31,5	38,2	42	46,7
Знач. 19	32	33,5	38,8	42,9	44,4
Знач. 20	32	31,5	39	43	45
Середнє значення	29	32	35	40	43
Перцентиль	10				
Значення за перцентилем	27	31	31,9	38	39

Також для подальшого розрахунку максимальної, мінімальної і проміжних висот ноги стійки (вертикальної частини, що тримає крісло на певній висоті) було вивчено стандарти і значення висоти стелі у різних типах житлових споруд.

Основним нормативним документом, що регламентує висоту стель в багатоквартирних будинках, є БНіП 31-01-2003 «Багатоквартирні житлові споруди», згідно з яким розглянутий параметр залежить від: кліматичних умов у конкретному районі; призначення і типу кімнати. Значення висоти стелі залежно від виду приміщення та типу будинку можна побачити у таблиці 2.4, 2.5, 2.6 [20, 21].

Таблиця 2.4 – Висота стелі у різних типах приміщень

Висота стелі	Тип приміщення
2,5 м	Кухня і різні кімнати
2,1 м	Коридорне приміщення і квартирні проходи з 1 або кількома антресолями

Таблиця 2.5 – Висота стелі в одно-, двох — або трикімнатній квартирі у різних типах будинку

Висота стелі	Тип будинку
3.3-3.6 м	«Сталінка»
2,5 м	«Хрущовка»*
2,6-2,7 м	«Брежнєвки»
2,5 м	Панельні і блочні будинки
2,65-2,75 м	Оновлені панельні та блочні будинки (з 80-х років ХХ ст.)
2,6-2,8 м	Маленькі квартири і квартири-студії у новобудовах
понад 3 м	Елітні квартири у дорогих новобудовах

\* окремі квартири могли мати стелі на 0,1 м нижче зазначеного показника, хоча це і не відповідає сучасним будівельним нормам; у північних краях висота від підлоги до стелі у квартирі могла досягати 2,7 м

Таблиця 2.6 – Висота стелі у приватних будинках

Висота стелі	Тип будинку
2,3-2,5 м	Каркасний будинок
3-3,2 м	Цегляний будинок
0,8–1,5 м	Будинок з мансардою*
* висота стелі залежить від кута нахилу мансарди	

Враховуючи вище наведені дані, максимальна висота підйому ноги стійки складатиме 2100 мм.

Для створення крісла було зібрано дані вимірювань зросту людей віком 18-20+ років, довжини тіла над сидінням людей віком 18-20+ років, ширини розсунутих ліктів людей віком 18-20+ років, ваги людей віком 18-20+ років.

Для кожного антропометричного показника був обраний свій процентиль: 95 для зросту, довжини тіла над сидінням, ширини розсунутих ліктів; 99 для ваги; 10 для довжини стегна редукованого. Логіка проста: якщо задовільнити потребу у зручності для людей з великими параметрами, то люди з маленькими параметрами теж будуть задоволені. Щодо процентилі 10 для довжини стегна редукованого, керуємось схожим принципом як з висотою від підшви до сидіння. Результати вимірювань та процентилі зібрані у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Антропометричні показники людей 18-20+ для проектування крісла-стільника

Люди	Показники				
	Зріст, см	Довжина тіла над сидінням, см	Довжина стегна редукованого, см	Ширина розсунутих ліктів, см	Вага, кг
Знач. 1	159	89	45	75	56
Знач. 2	172	90	47	71	60
Знач. 3	165	84	46	74	61
Знач. 4	157	89,1	45	75,2	58
Знач. 5	160	89	47,2	75,9	58

## Продовження таблиці 2.7

Знач. 6	163	85	45,9	74	59
Знач. 7	163	84,2	46,2	73,9	57
Знач. 8	170	89	45,1	75,4	57
Знач. 9	170	90,1	46,1	74,2	62
Знач. 10	171	85	46	74,6	60
Знач. 11	183	98	48	72	72
Знач. 12	184	97	49	72,5	75
Знач. 13	182	98	48,5	73	70
Знач. 14	180	98,1	48	72,1	75
Знач. 15	179	97,2	49,2	72,5	74
Знач. 16	179	96,9	48,7	73,4	76
Знач. 17	183	98,1	48,1	72	72
Знач. 18	187	98,3	48,2	72,4	74
Знач. 19	179	98,2	47,6	72	74
Знач. 20	182	98,1	47,9	72,5	73
Середнє значення, мм	173,4	92,6	47,1	73,4	66
Процент ль	95	95	10	95	99
Значення за процент лем	184	98,2	46	75,4	76
Призначе ння показника	Висота отвору крісла	Висота внутрішнього простору крісла	Глибина сидіння крісла	Ширина внутрішнього простору крісла	Визначення макс. силового навантажен ня на крісло, підвіс та стійку

У роботі було проведено оцінку якості антропометричних досліджень (див. Додаток А), метою якої є перевірити похибку серії послідовних вимірювань та довести правдоподібність отриманих значень.

### **2.3.2. Технічна біоніка та біодизайн**

Скориставшись знаннями технічної біоніки і біофільного дизайну (біодизайну) для розробки остаточного дизайну крісла було взято зовнішній вигляд і властивості бджолиних стільників.

Бджолині стільники – воскові будівлі бджіл, призначені для життя, зберігання запасів корму (меду та перги) і вирощування потомства. Складаються з шестигранних призматичних чашечок, що розташовані по обидва боки від загальної середньої стінки. [22]. Стільники виконані у формі шестикутника, зрідка п'яти- і семикутника. Така форма дозволяє використовувати мінімум будівельного матеріалу при максимумі внутрішнього обсягу кожної комірки. Заповнені медом стільники в стандартних рамках містять до 4 кг меду, а на будівництво стільника розміром 435×300 мм витрачається 140-150 грамів воску (на одну бджолину комірку - близько 13 мг воску) [23].

Важливим було не просто сліпо копіювати природну форму, а й використати цей аналіз принципу формоутворення та структурно-функціональну організацію бджолиних стільників для створення нового художньо-образного та композиційно-конструктивного рішення [24].

Доказом унікальних конструктивних властивостей бджолиних стільників є порівняння акрилових пластин за три-, чотири- і шестикутними отворами.

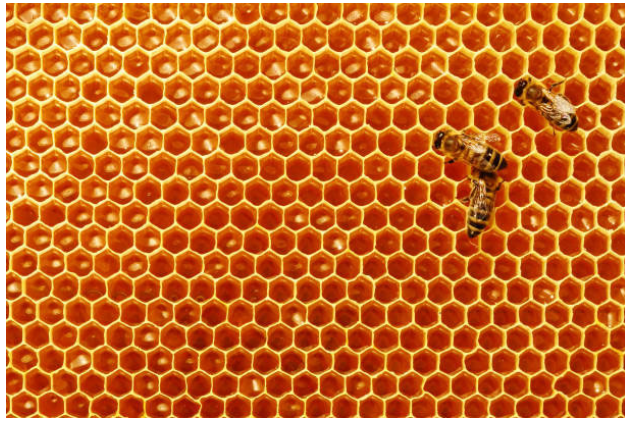


Рисунок 2.1 - Бджолині стільники

У правильному багатокутнику кут між двома сторонами дорівнює (2.2):

$$a = 180 - \frac{360}{n}, \quad (2.2)$$

де  $n$  – число сторін багатокутника.

Щоб декілька ( $k$ ) багатокутників примикали до однієї вершини повинна виконуватися умова (2.3):

$$k \left( 180 - \frac{360}{n} \right) = 360, \quad n \in N \quad (2.3)$$

З виразу видно, що найпростішим правильним багатокутником є три-, чотири- і шестикутник [22].

За таким принципом побудуємо три акрилові пластини  $230 \times 230$  мм, товщиною 10,5 мм, заповнимо їх правильними багатокутниками та порівняємо їх маси. Площа три-, чотири- і шестикутників -  $400 \text{ мм}^2$ , проміжки між отворами - 3,4 мм (3,388 мм). Довжину сторони кожної фігури (позначено  $a$ ) знаходимо з формул площі трикутника, чотирикутника та шестикутника (2.4, 2.5, 2.6):

$$S_3 = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4} \quad (2.4)$$

$$S_4 = a^2 \quad (2.5)$$

$$S_6 = \frac{a^2 * 3\sqrt{3}}{2} \quad (2.6)$$

На рисунку 2.2, 2.3, 2.4 показана модель кожної пластини і її маса. На основі цих даних можна зробити позитивний висновок про вибір бджолиних стільників для створення крісла та вибір матеріалу.

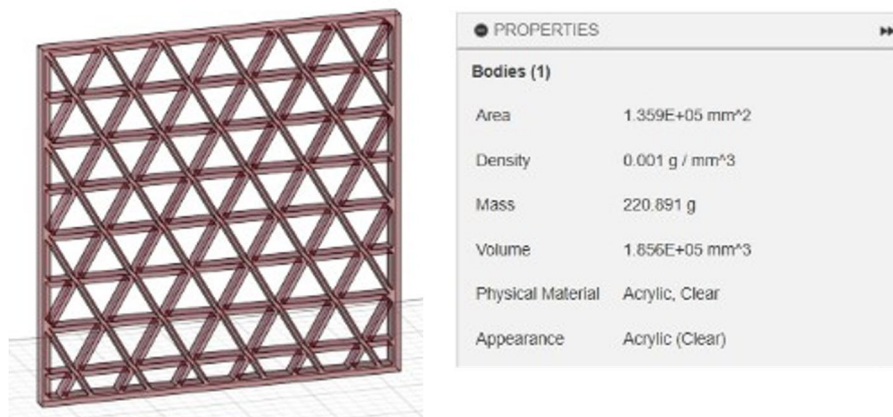


Рисунок 2.2 - Маса пластини з трикутниками

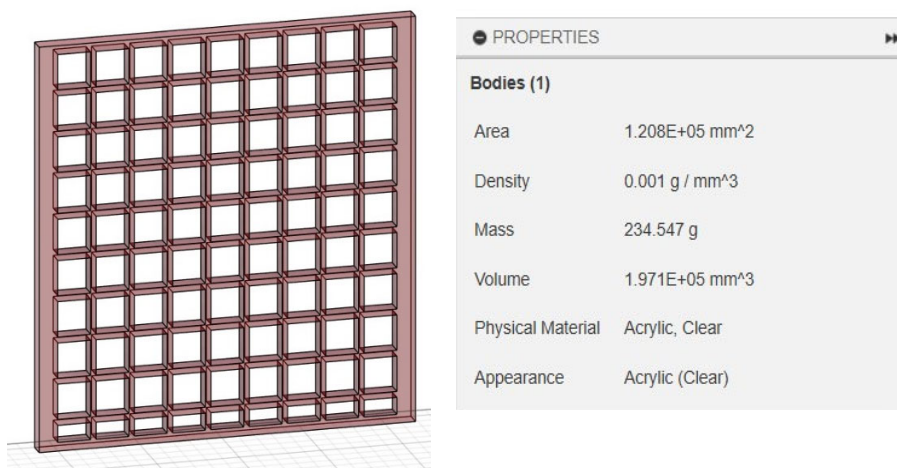


Рисунок 2.3 - Маса пластини з чотирикутниками

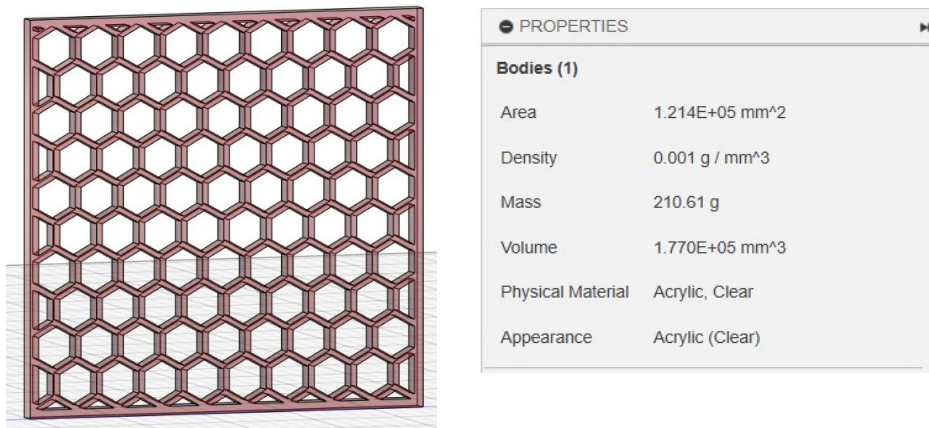


Рисунок 2.4 - Маса пластини з шестикутниками

### 2.3.3. Моделювання стійки

Після збору необхідної інформації з відкритих джерел малюємо ескізи майбутньої стійки з регулюванням висоти (рис. 2.5).

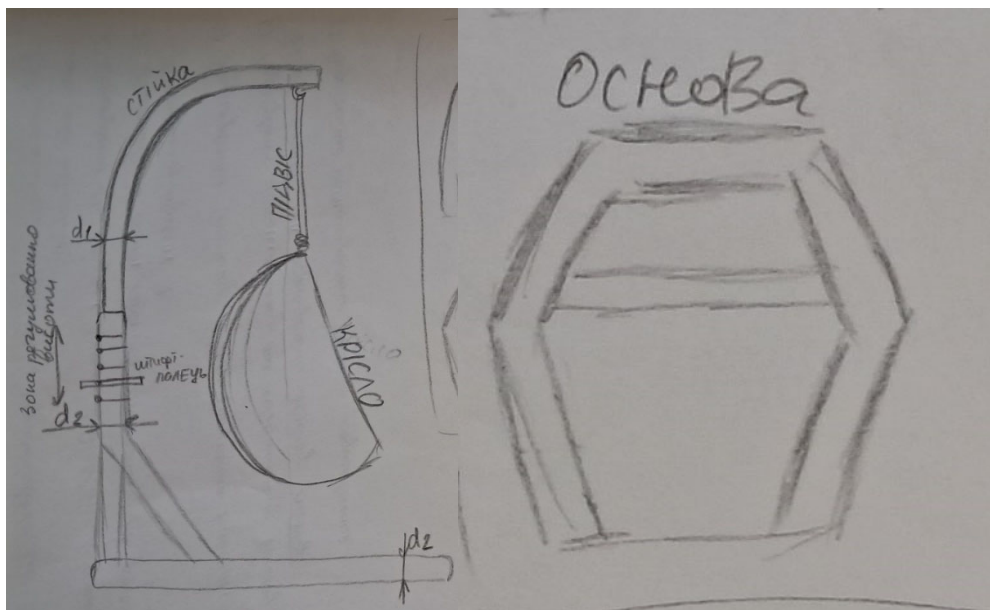


Рисунок 2.5 - Ескіз стійки

Стійка має складатися з таких частин: основа, нога, точка підвішування, опорна балка, отвори і палець-штифт. Нога стійки буде підніматися або опускатися на певну висоту і фіксуватися завдяки пальцю-штифту.

У програмі Autodesk Fusion 360 моделюємо кожний компонент конструкції починаючи з основи. Основа виконана з круглого профілю у формі неправильного шестикутника із закругленими кутами, вписаного у прямокутник 1300 × 1345 мм. Має 5 граней: 2 грані по 652 мм, 2 грані по 498 мм і 1 грань 462 мм. Діаметр профілю - 60 мм, радіус заокруглення з внутрішньої сторони – 130 мм, із зовнішньої – 190 мм. Точка підвішування знаходиться у центрі координат. Від центру на відстані 320 мм знаходиться горизонтальна опорна балка. Ескіз основи, зроблений у програмі, можна побачити на рисунку 2.6.

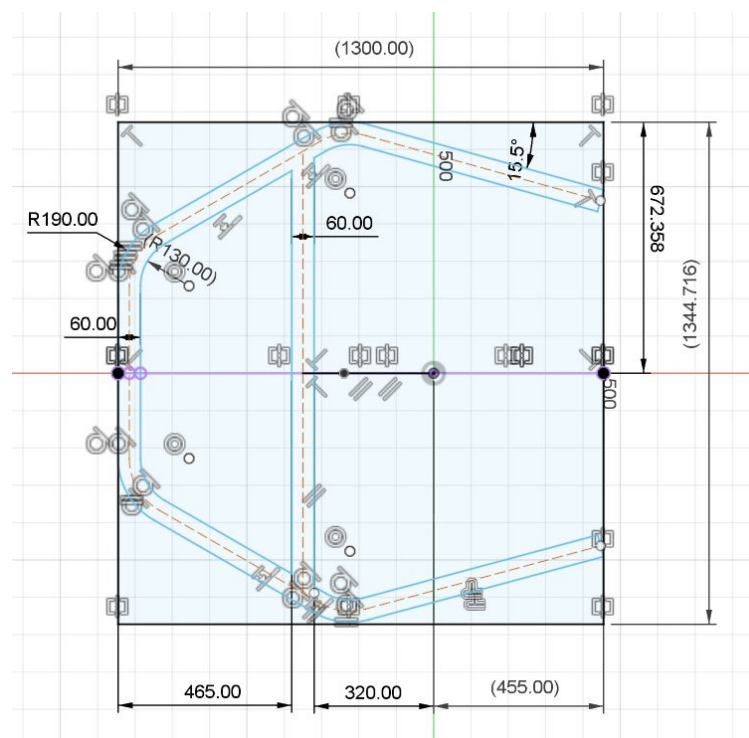


Рисунок 2.6 - Ескіз основи стійки у Fusion 360

Після основи моделюємо зону регулювання, вигнуту опорну балку, ногу, точку підвішування, палець-штифт. На нозі та зоні регулювання основи вирізаємо 5 отворів діаметром 15 мм та відстанню 40 мм один від одного. Кожен отвір відповідає висоті від підшви до сидіння людей віком від 5 до 20+ років, показники яких були виміряні заздалегідь і адаптовані під нашу конструкцію. Ескіз отворів представлений на рисунку 2.7. Знаючи ці дані, а також максимальну висоту ноги

стійки (з пункту 2.3.1), можна розрахувати висоту ноги для кожної вікової групи (табл. 2.8).

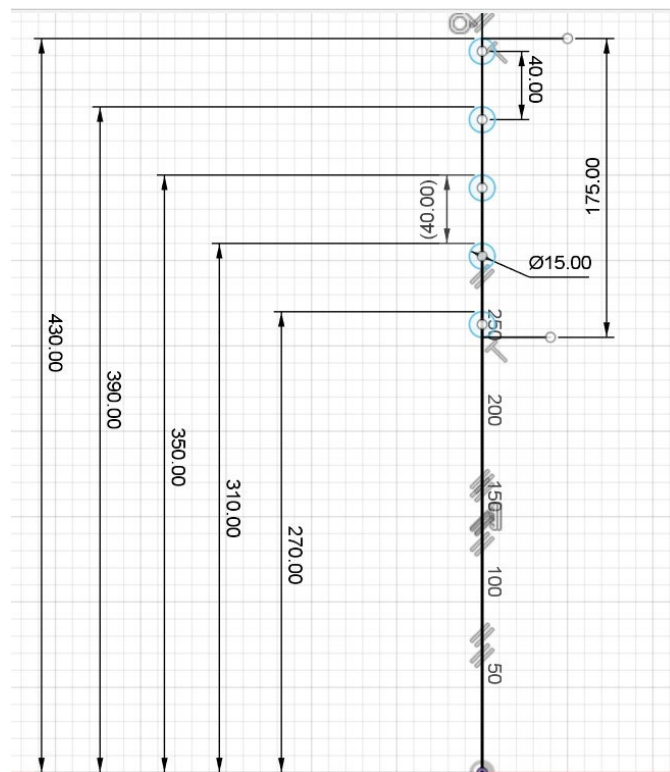


Рисунок 2.7 - Ескіз отворів під палець штифт

Таблиця 2.8 - Відношення висоти від підшви до сидіння до висоти ноги стійки

Висота підшва-сидіння, мм	Висота ноги стійки, мм
430	2100
390	2060
350	2020
310	1980
270	1940

За ескізами зроблено дві моделі стійки (Модель 1 та Модель 2). Різниця між першою та другою полягає у тому, що друга має вищу вигнуту опорну білку, додаткову малу балку і понижену зону отворів. Також для майбутнього тестування зроблений порожнистий і цілісний варіант кожної з моделей (рис. 2.8, 2.9, 2.10).

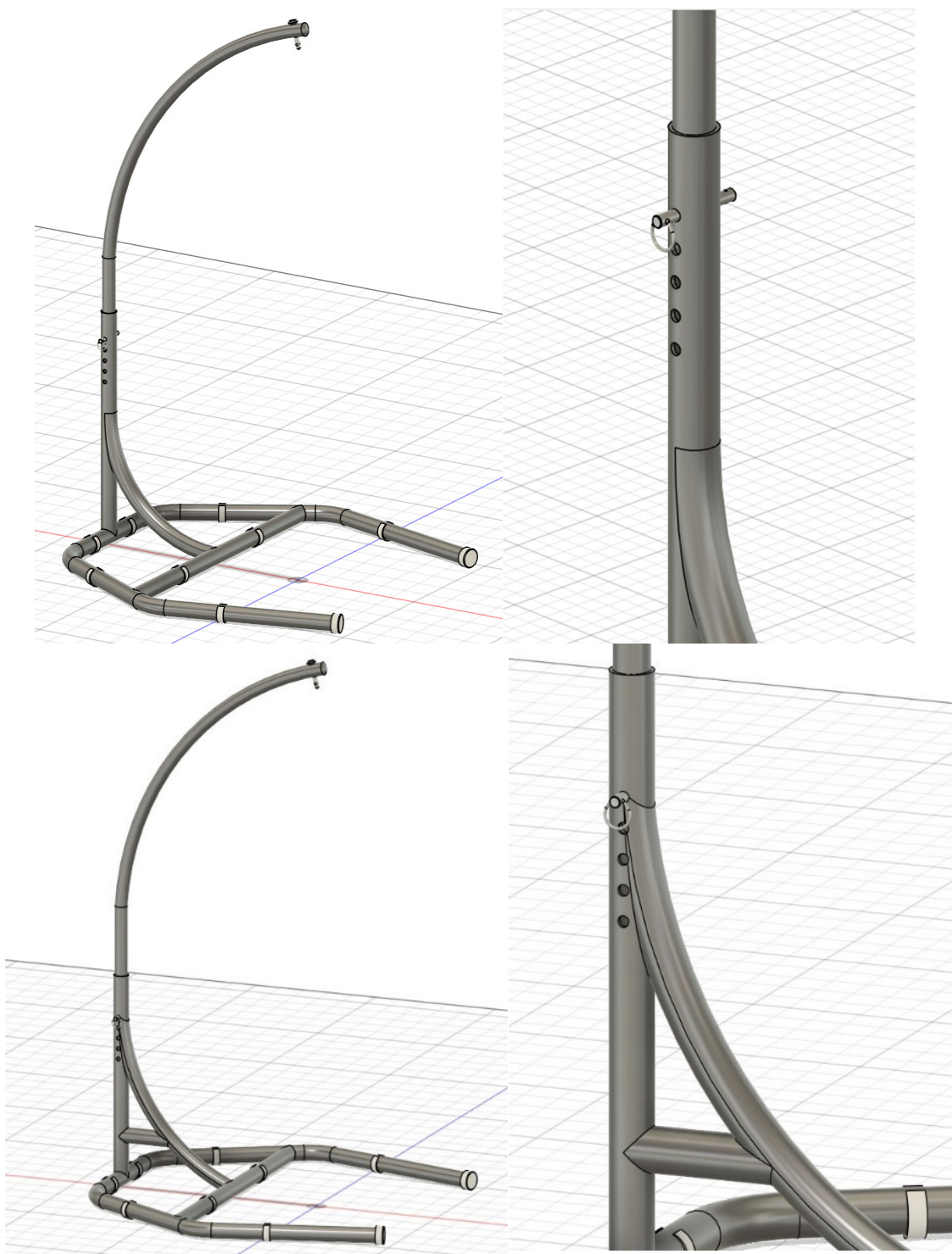


Рисунок 2.8 - Модель 1 та Модель 2

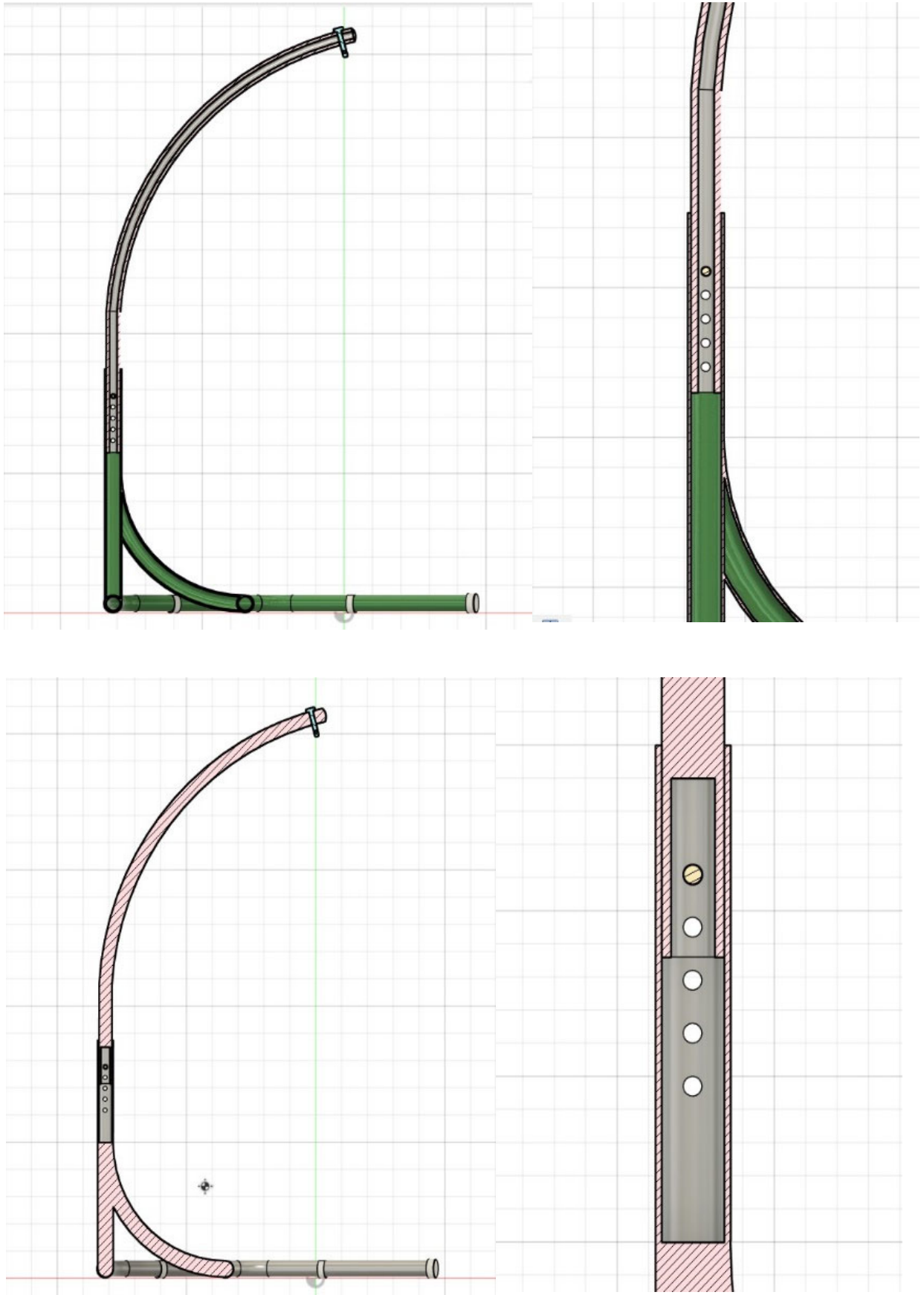


Рисунок 2.9 - Модель 1: порожнистий і цілісний варіант (у перерізі)

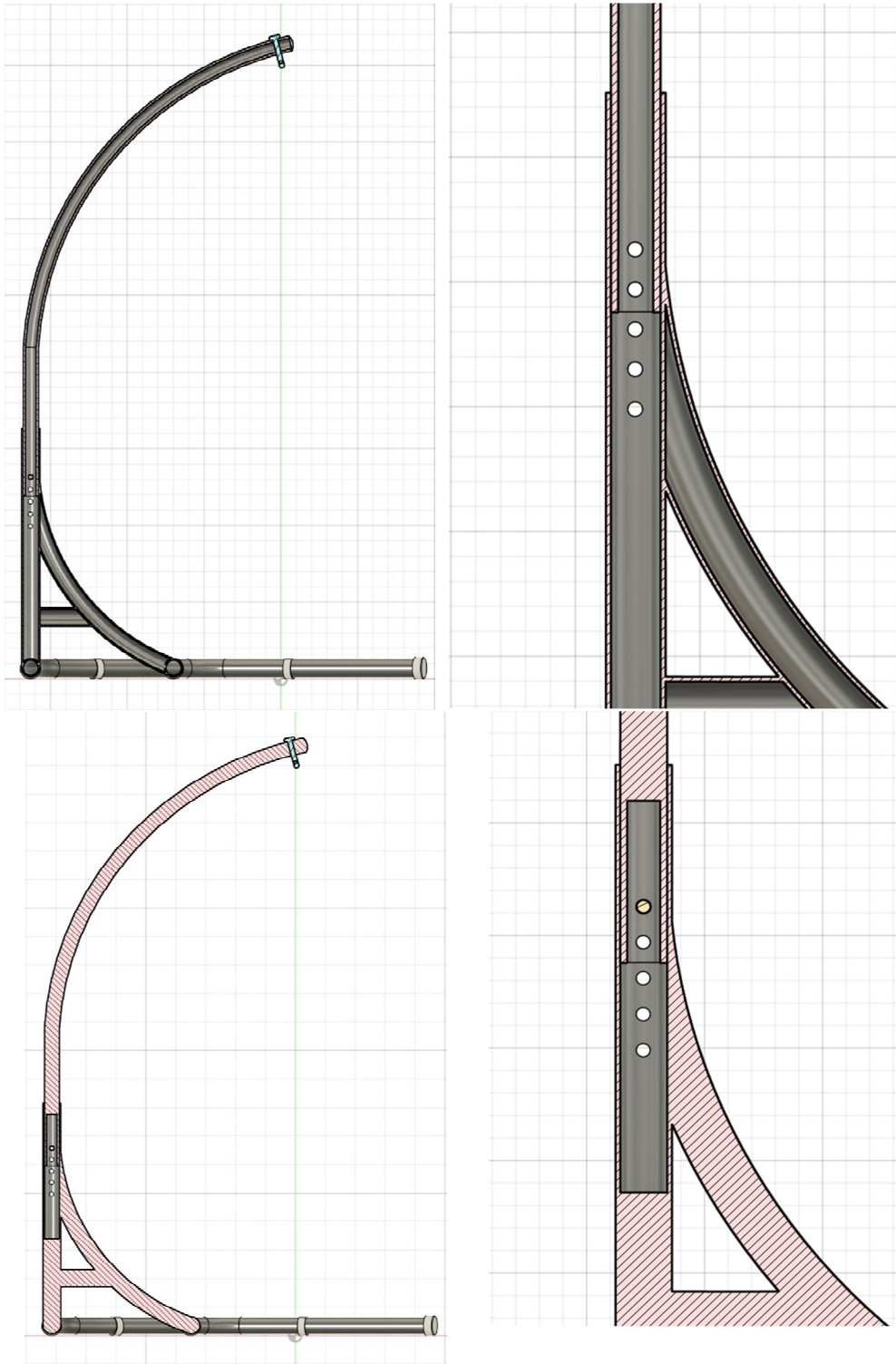


Рисунок 2.10 - Модель 2: порожнистий і цілісний варіант

### 2.3.4. Моделювання корпусу підвісного крісла

На створення крісла-стільника як нового предмету інтер'єру і ландшафтного дизайну надихнули бджолині стільники та малюнки і 3D моделі будинків та павільйонів у їх формі.

На початку роботи було намальовано ескіз майбутнього корпусу крісла, що показаний на рисунку 2.11.

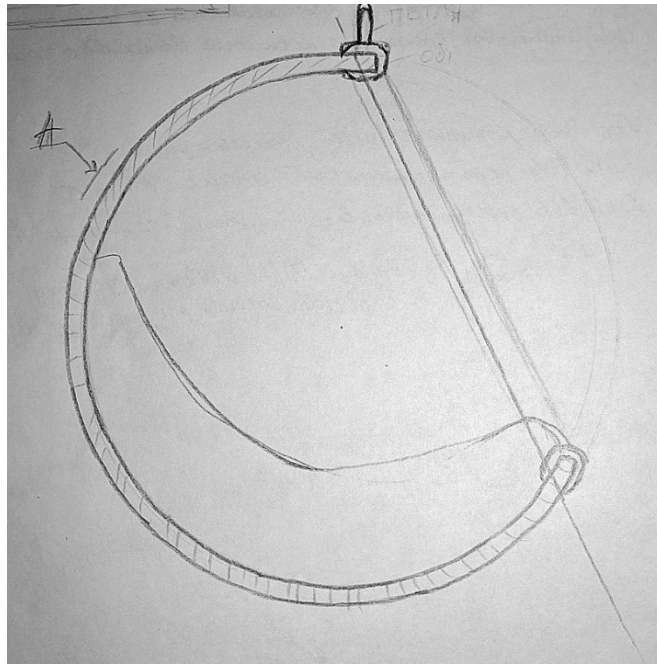


Рисунок 2.11 - Ескіз крісла-стільника

Моделюємо заготовку для майбутнього корпусу крісла у програмі Fusion 360, використовуючи ергономічні параметри з таблиці 2.13. Заготовка крісла має вигляд напівсфери з діаметром 1140 мм, товщиною стінки 10,5 мм, глибиною 790 мм, круглими отворами у кількості 17 шт по діаметру краю та великий прямокутний отвір під петлю. На край напівсфери за допомогою заклепок прикріплюється сталевий обод з канавками різної глибини по зовнішній та внутрішній стороні (рис. 2.12, а, б). Сталева петля з довгою основою вставляється через великий отвір з внутрішньої сторони ободу та корпусу і скріплюється заклепками (рис. 2.12, в).

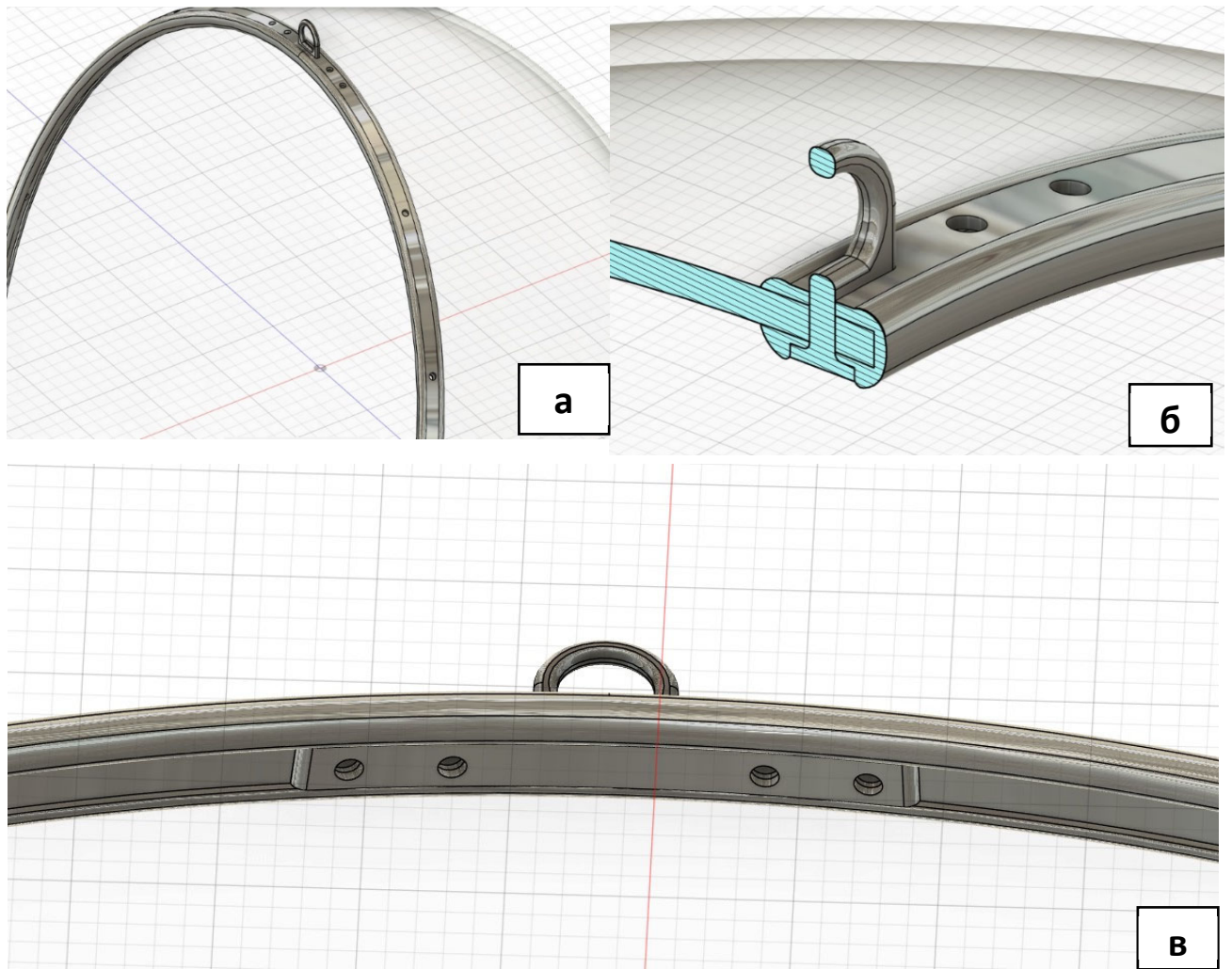


Рисунок 2.12 - Сталевий обод і петля: а – загальний вигляд; б – вигляд у розрізі;  
в – внутрішня сторона обода

Кінцевий результат можна побачити на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 - Кінцевий вигляд заготовки корпусу крісла

Після виготовлення заготовки необхідно створити тіла шести- і п'ятикутників, за якими у заготовці вирізатимуться отвори стільників. Для цього у програмі Hexasphere.js [25] генеруємо геодезичний багатогранник (гексасферу) радіусом 57 мм (відповідає радіусу напівсфери заготовки) і відстанню між тілами 0,8 розміру шестигранних плиток. Далі завантажену сітку тіл перетворюємо на збірку площин і кожній надаємо товщину, перетворюючи площини на тіла (рис. 2.14).

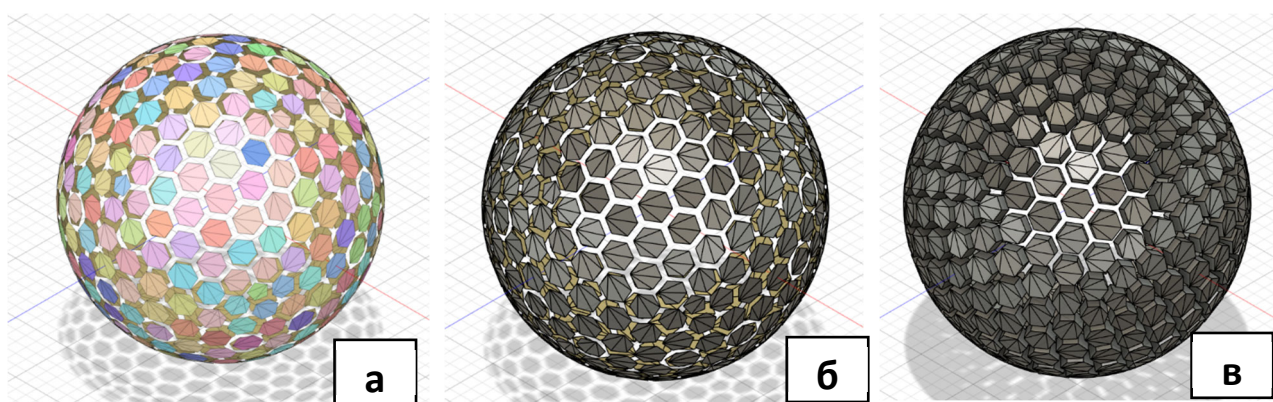


Рисунок 2.14 - Створення збірки шести- і п'ятигранників: а – сітка;  
б – площини; в – тіла

Додаєм новостворені тіла до нашої заготовки, накладаючи їх на неї. Створюємо нову додаткову площину біля ободу, продивляємося кожне тіло, видаляючи тіла, що не накладаються на заготовку і розташовані за додатковою площиною. Залишкові тіла, що перетинаються з додатковою площиною, обрізаються. Нові непотрібні тіла видаляються. Для полегшення роботи проєктувальнику тіла перейменовувалися і перефарбовувалися для подальших операцій над ними.

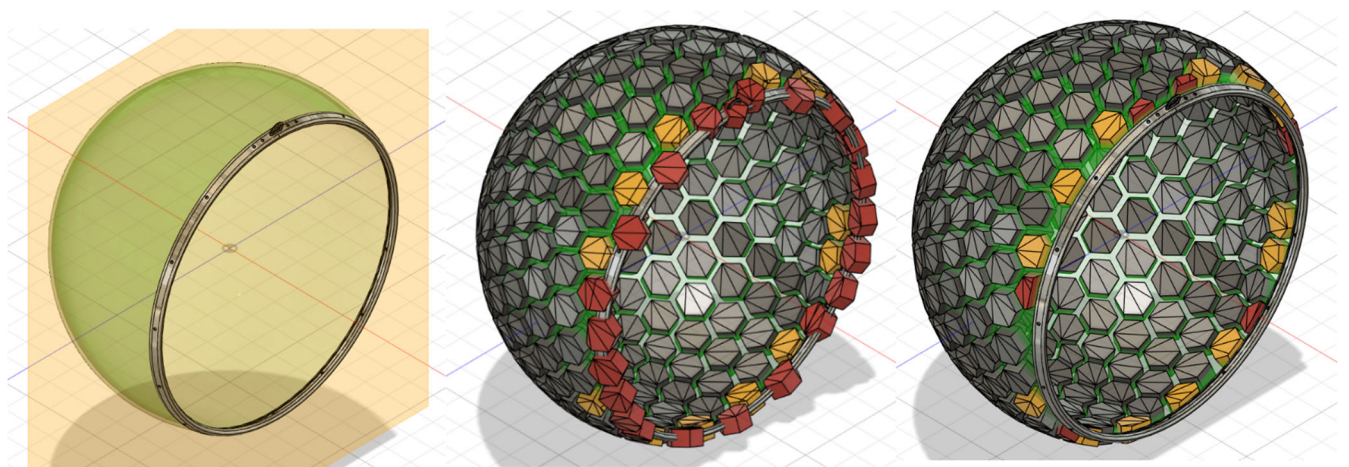


Рисунок 2.15 - Створення крісла-стільника

Після редагування шести- і п'ятикутників вирізалися отвори у заготовці. Кінцевий результат корпусу крісла-стільника можна побачити на рисунку 2.16.

На рисунку 2.17 показано, як змінилася маса нового корпусу у порівнянні з його заготовкою. Нове крісло важить на 21 кг менше ніж його початковий варіант, а це значить про зменшення силового навантаження на підвіс та стійку під час користування кріслом.

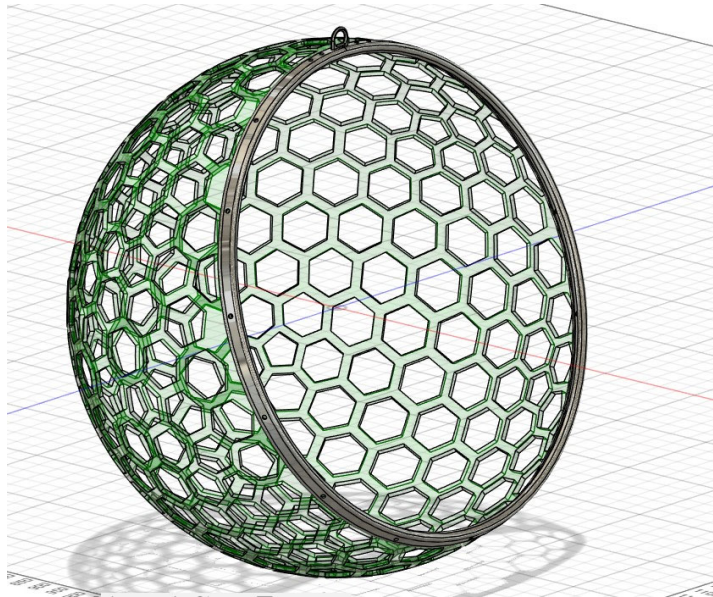


Рисунок 2.16 - Крісло-стілник

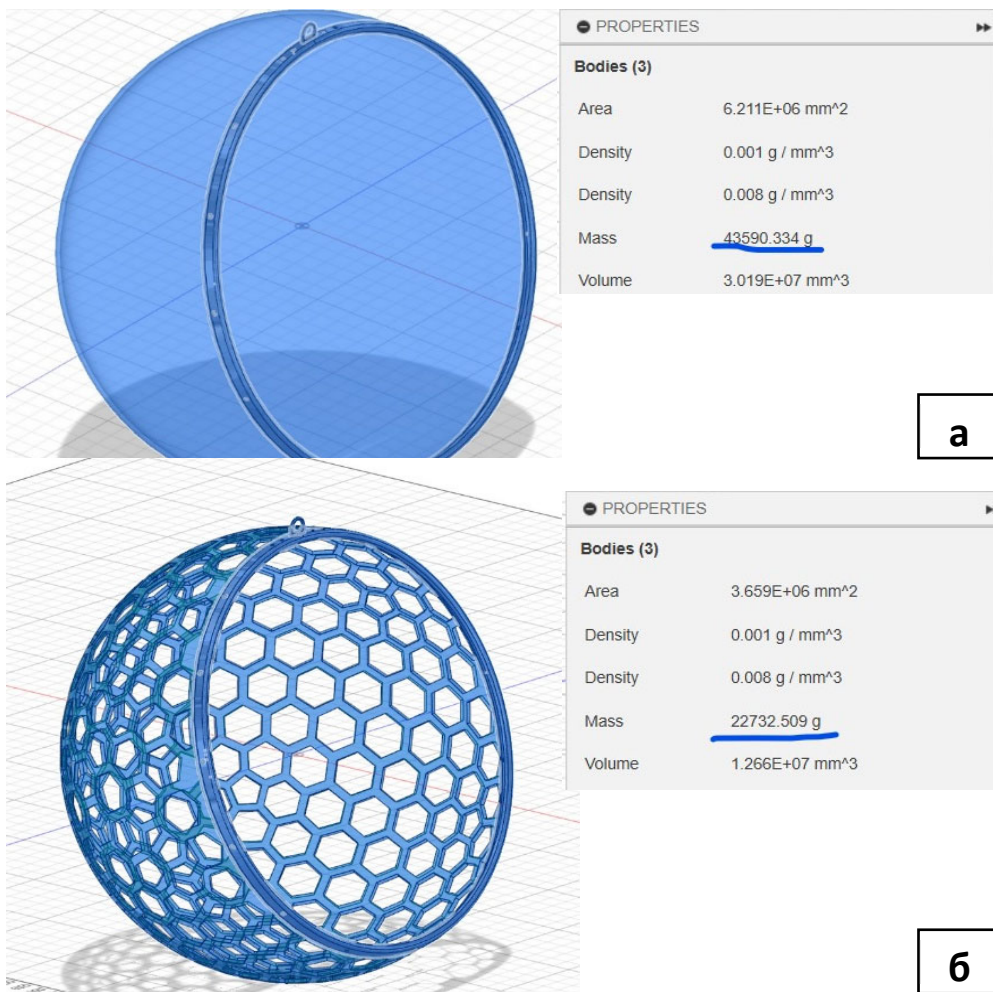


Рисунок 2.17 - Порівняння маси: а - заготовки крісла; б - крісла-стілника

## 2.4. Випробування промислового виробу

Готові 3D моделі стійки та крісла-стільника випробуються методом скінчених елементів (МСЕ) у програмі Autodesk Fusion 360.

Метод скінченних елементів (МСЕ) - це метод, розроблений для чисельного розв'язування складних проблем у механіці конструкцій та інших математичних задач [26]. Наразі широко застосовується для розв'язування складних систем. У МСЕ структурна модель записується набором відповідних скінченних елементів, взаємопов'язаних у дискретних точках, вузлах. Елементи можуть мати фізичні властивості, такі як товщина, коефіцієнт теплового розширення, щільність, модуль Юнга, модуль зсуву і коефіцієнт Пуассона [27].

Для перевірки надійності, міцності та довговічності конструкції та матеріалів стійки, пальця-штифта, та підвісного крісла-стільника було проведено комп'ютерний розрахунок на статичне навантаження.

Оскільки було спроектовано 2 моделі стійки, кожна з яких має по 2 варіанти конструкції, для остаточного вибору однієї конкретної був зроблений статичний аналіз.

Як видно з рисунків 2.9 та 2.10 обидві моделі мають порожнини у зоні отворів. Це зроблено для того, щоб нога стійки могла вільно рухатися. Однак усередині цієї зони під впливом погодних умов може початися процес корозії, що значно знизить її експлуатаційні властивості. Тому важливо обрати матеріал із запасом тривалої міцності і корозійностійкий.

Для цього виконано розрахунок МСЕ порожнистих і цілісних стійок з такими матеріалами: нержавіюча сталь AISI 321, сталь хромована, сталь високоміцна низьколегована ASTM A36 і алюміній високоміцний. Матеріалом пальця-штифта і точки підвішування у вигляді петлі-цвяха була нержавіюча сталь AISI 321, протиковзувальних накладок - силікон.

На стійки задавалися навантаження у 1000 Н і 1100 Н. Крісло-стільник має масу 23 кг, найбільший показник ваги – 76 кг. Отже стійка має витримати мінімум

100 кг, але найкращим варіантом буде той, де виріб витримує додаткове навантаження.

Далі було проведено аналіз крісла-стільника. Заздалегідь модель крісла перевернули на 20 градусів від його початкового (прямого) положення у його робоче положення при підвішуванні.

Силове навантаження 1500 Н було обрано, спираючись на дані максимальної ваги користувачів (76 кг) та масу самого крісла (23 кг).

Матеріалом корпусу обрали акрил (органічне скло), ободу і петлі - нержавіюча сталь AISI 321.

Необхідно перевірити чи витримає нижня частина корпусу і петля задані максимальні навантаження, оскільки ці зони зазнають найбільшого навантаження. Корпус крісла може тріснути та зламатися, петля – розірватися.

Була проведена підготовка до симуляції (рис. 2.18): задані закріплення на силіконових накладках; задане навантаження на точку підвішування; згенеровані зв'язки між компонентами конструкції та сітка.

Результати симуляції 1000 Н і 1100 Н порожнистої і цілісної Моделі 1 представлені у таблицях 2.9 та 2.10.

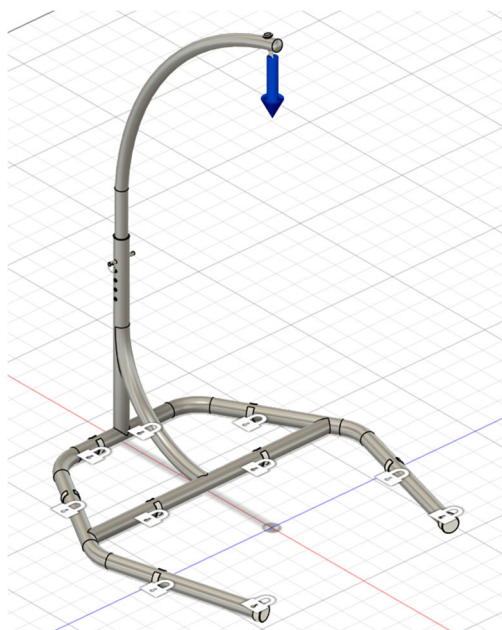


Рисунок 2.18 - Підготовка до симуляції статичного навантаження

Таблиця 2.9 - Результати розрахунку МСЕ порожнистої Моделі 1

<b>ПОРОЖНИСТА СТІЙКА</b>			
<b>1000 Н (100 кг)</b>			
<b>Матеріал</b>	<b>Фактор безпеки (<i>Safety Factor</i>), мінім. значення</b>	<b>Напруження (<i>Stress</i>), МПа</b>	<b>Зміщення (<i>Displacement</i>), мм</b>
Stainless Steel AISI 321	2,092	102,757	27,485
Steel ASTM A36	2.418	102,671	26,614
Сталь хромована( <i>steel, chrome plated</i> )	2,418	102,671	26,614
Алюміній високоміцний ( <i>aluminum high strength alloy</i> )	3,174	102,082	71,187
<b>1100 Н (110 кг)</b>			
Stainless Steel AISI 321	1,902	113,032	30,233
Steel ASTM A36	2.20	112,938	29,276
Сталь хромована( <i>steel, chrome plated</i> )	2,198	112,938	29,276
Алюміній високоміцний ( <i>aluminum high strength alloy</i> )	2,886	112,29	78,305

Таблиця 2.10 - Результати розрахунку МСЕ цілісної Моделі 1

<b>ЦІЛІСНА СТІЙКА</b>			
<b>1000 Н (100 кг)</b>			
<b>Матеріал</b>	<b>Фактор безпеки (Safety Factor)</b>	<b>Напруження (Stress)</b>	<b>Зміщення (Displacement)</b>
Stainless Steel AISI 321	2,187	98,322	25,961
Steel ASTM A36	2,522	98,428	25,216
Сталь хромована( <i>steel, chrome plated</i> )	2,522	98,428	25,216
Алюміній високоміцний ( <i>aluminum high strength alloy</i> )	3,306	98,014	67,402
<b>1100 Н (110 кг)</b>			
Stainless Steel AISI 321	1,988	108,154	28,557
Steel ASTM A36	2,293	108,271	27,738
Сталь хромована( <i>steel, chrome plated</i> )	2,293	108,271	27,738
Алюміній високоміцний ( <i>aluminum high strength alloy</i> )	3,006	107,816	74,143

Показники фактору безпеки, напруження і зміщення у всіх випадках мають кращі значення при меншому навантаженні на стійку (1000 Н). Можна сказати, що порожнисту конструкцію слід комбінувати з навантаженнями 1000 Н і менше, цілісну – 1000 Н і більше. З матеріалів найкращим вибором для основи і ноги як при порожнистій, так при цілісній конструкції, буде сталь високоміцна низьколегована ASTM A36. При використанні високоміцної низьколегованої сталі

спостерігається найменший показник зміщення конструкції (разом із фактором безпеки), а отже - і найменший показник зміщення центру мас конструкції. Матеріалом для пальця-штифта і петлі-цвяха пропоную залишити нержавіючу сталь AISI 321.

Оскільки найкращим матеріалом виявилась сталь ASTM A36, тестування Моделі 2 проводитимуться з ним. Результати можна побачити у таблицях 2.11, 2.12.

Таблиця 2.11 - Розрахунок МСЕ порожнистої Моделі 2

<b>ПОРОЖНИСТА СТІЙКА</b>			
<b>1000 Н (100 кг)</b>			
<b>Матеріал</b>	<b>Фактор безпеки (<i>Safety Factor</i>), мінім. значення</b>	<b>Напруження (<i>Stress</i>), МПа</b>	<b>Зміщення (<i>Displacement</i>), мм</b>
Steel ASTM A36	2,004	123,885	27,967
<b>1100 Н (110 кг)</b>			
Steel ASTM A36	1.822	136,274	30,764

Таблиця 2.12 - Розрахунок МСЕ цілісної Моделі 2

<b>ЦІЛІСНА СТІЙКА</b>			
<b>1000 Н (100 кг)</b>			
<b>Матеріал</b>	<b>Фактор безпеки (<i>Safety Factor</i>), мінім. значення</b>	<b>Напруження (<i>Stress</i>), МПа</b>	<b>Зміщення (<i>Displacement</i>), мм</b>
Steel ASTM A36	5.658	44.193	10.484
<b>1100 Н (110 кг)</b>			
Steel ASTM A36	5.144	48.612	11.533

Показники фактору безпеки, напруження і зміщення і у Моделі 2 мають кращі значення при меншому навантаженні на стійку (1000 Н). Можна сказати, що порожнисту конструкцію слід комбінувати з навантаженнями 1000 Н і менше,

цілісну – 1000 Н і більше. Порожниста Модель 2 має показники нижче ніж порожниста Модель 1. Цілісна Модель 2 навпаки краща за цілісну Модель 1.

Оскільки стійка має витримувати 100 кг разом з деяким запасом, то прийнято рішення залишити Модель 2 у цілісному варіанті. При поєднанні такої конструкції і високоміцної низьколегованої сталі ASTM A36 спостерігається найменший показник зміщення конструкції (разом із фактором безпеки), а отже - і найменший показник зміщення центру мас конструкції (рис. 2.19). Матеріалом для пальця-штифта і петлі-цвяха залишається нержавіюча сталь AISI 321 (аналог 08X18H10T), бо аналіз показав хороші показники фактору безпеки (рис. 2.20).

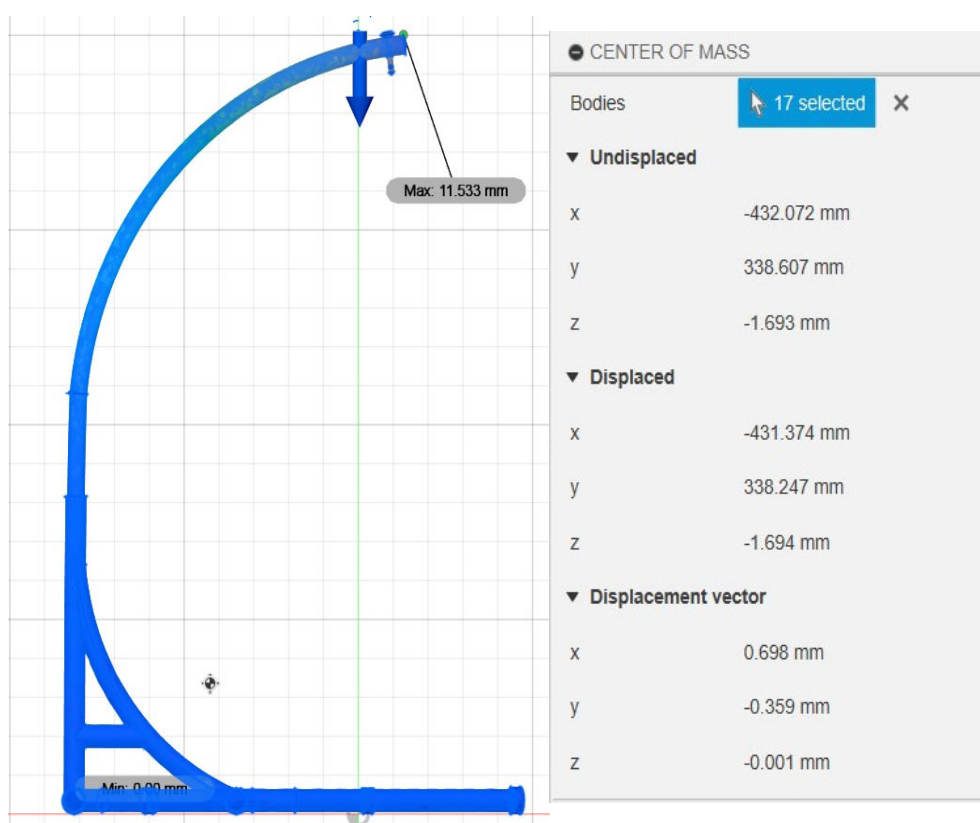


Рисунок 2.19 - Координати початкового і зміщеного центру мас стійки при навантаженні у 1100 Н

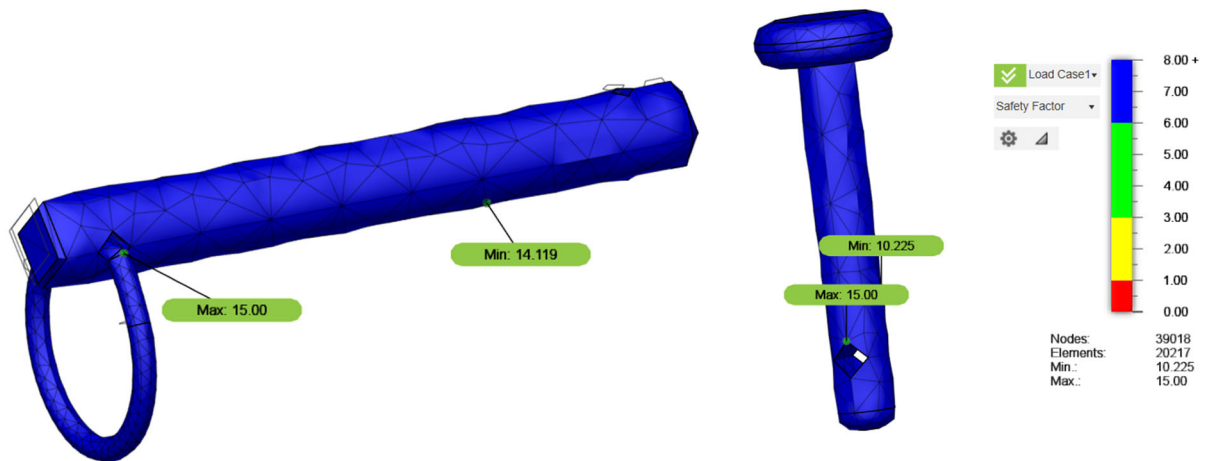


Рисунок 2.20 - Фактор безпеки пальця-штифта і петлі-цвяха AISI 321

Для розрахунку стійки на перекидання необхідно знайти її центр мас, коли її нога зафіксована у найвищому і найнижчому положеннях (табл. 2.8). Розрахунок центру мас показано у додатку Б.

У роботі проведено розрахунок пальця-штифта та зони регулювання висоти на мацність при зразі та змінанні. Розрахунок міцності показано у додатку В.

У роботі проведена підготовка до симуляції (рис. 2.21): заданні закріплення у внутрішніх гранях вушка петлі і отворах для з'єднання; задане навантаження на внутрішню сторону корпусу на місце сидіння; згенеровані зв'язки між елементами конструкції та сітка.

На рисунках 2.22, 2.23, 2.24 можна побачити результати симуляції на статичне навантаження.

За результатами можна зробити висновок, що конструкція та матеріали відповідають критеріям міцності та довговічність.

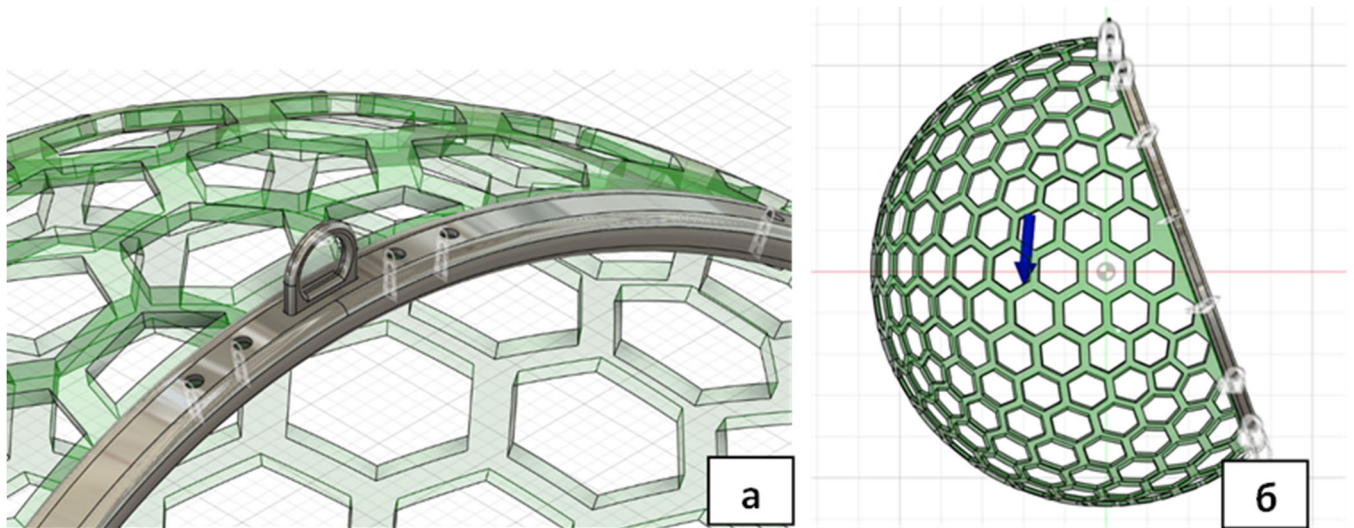


Рисунок 2.21 - Підготовка до симуляції статичного навантаження: а – задані закріплення; б – прикладена сила

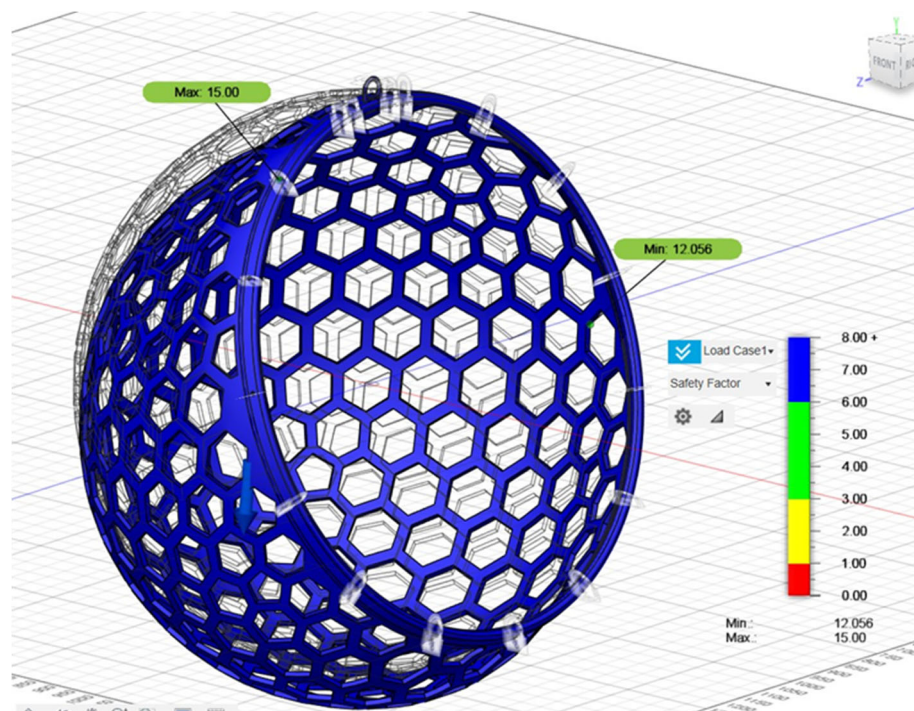


Рисунок 2.22 - Фактор безпеки

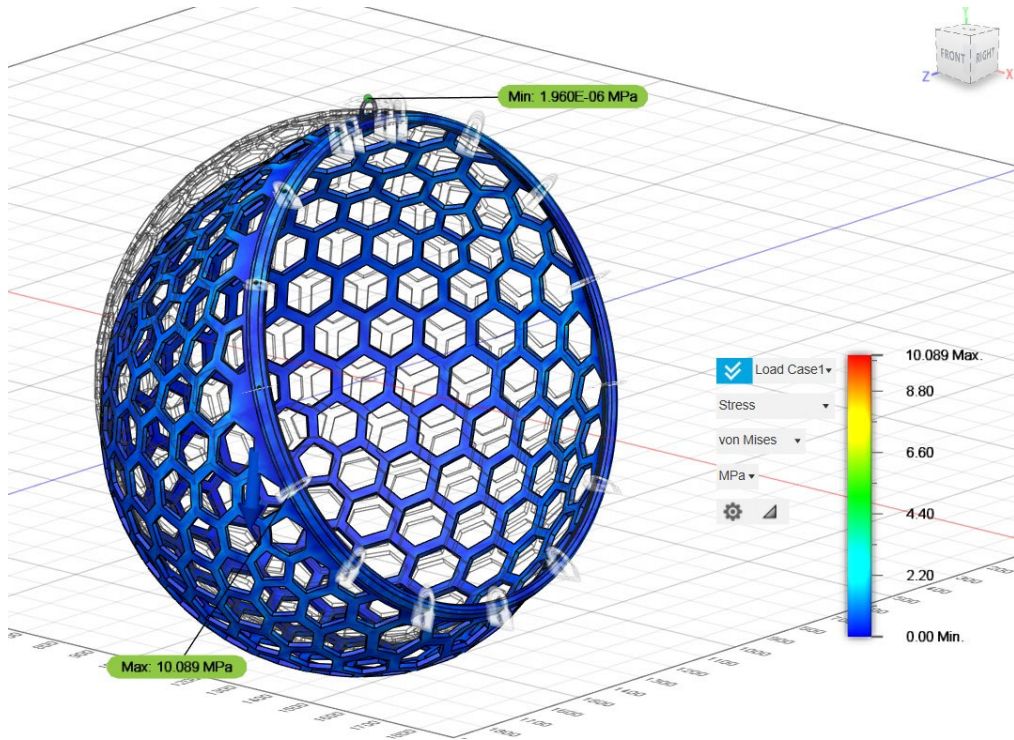


Рисунок 2.23 - Напруження

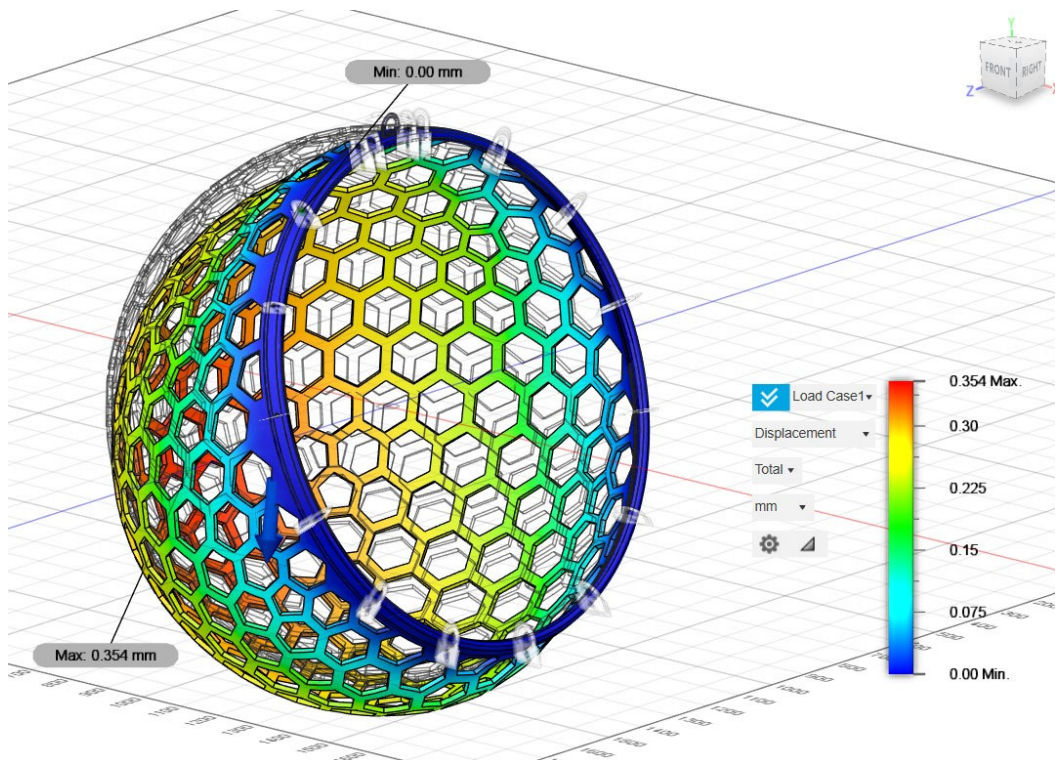


Рисунок 2.24 - Зміщення (деформація)

Фінальним етапом проєкту є розробка візуального вигляду продукту. Для реалістичної візуалізації підвісного крісла було використано Autodesk Fusion 360. Приклад вигляду підвісного крісла можна побачити на рисунку 2.25.

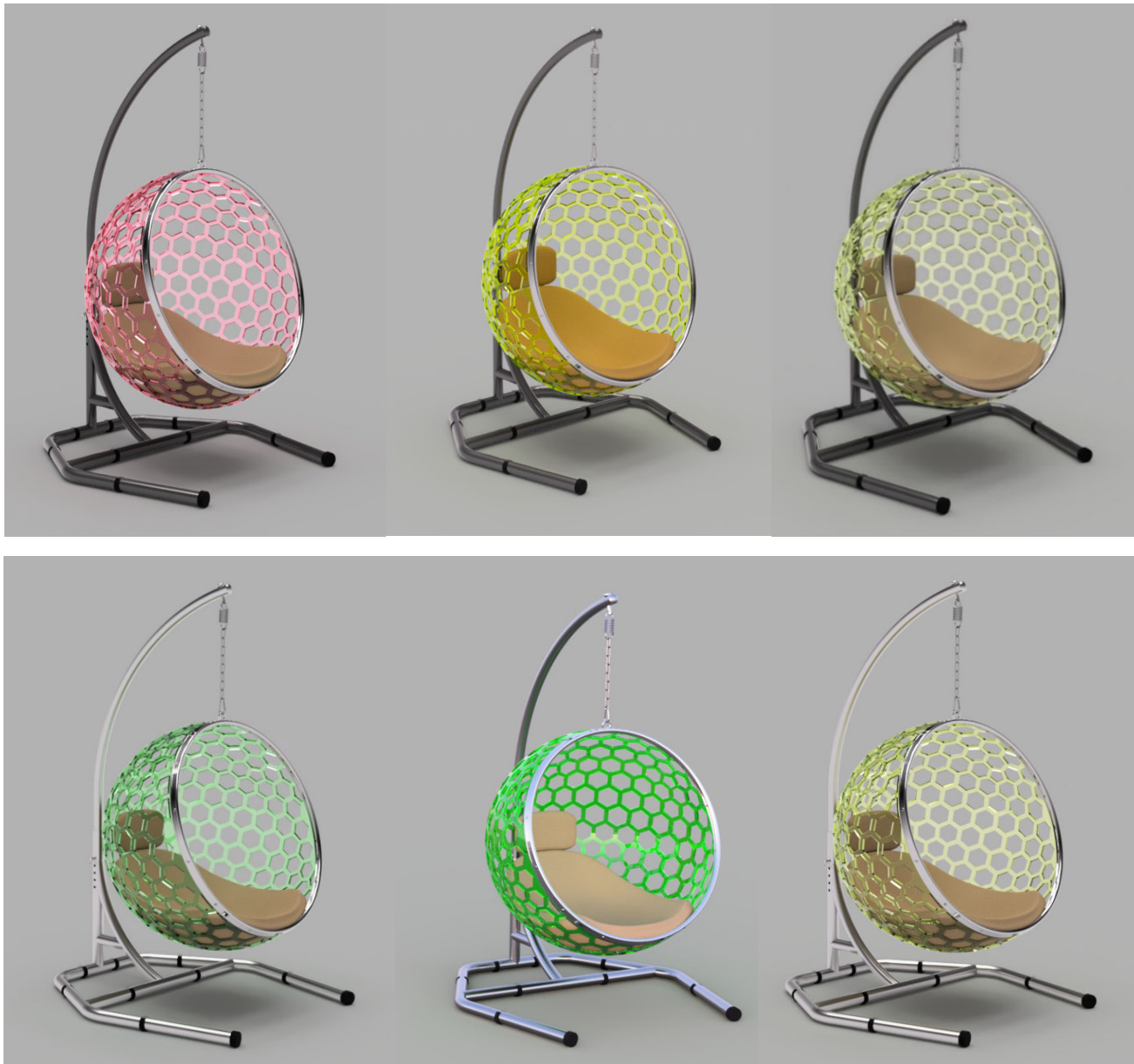


Рисунок 2.25 - Варіанти рендерінгу підвісного крісла-стільника

## 2.5. Висновки до розділу

У цьому розділі було складено ФВА крісла та стійки як компонентів системи «підвісне крісло». Визначено їх коефіцієнт ефективності і способи їх покращення шляхом додавання ще однієї функції (для стійки) і зменшення вартості виробу (для крісла).

Проведено збір антропометричних показників людей різних вікових груп для проектування ергономічної конструкції підвісного крісла-стільника та стійки з регулюванням висоти. Додатково проведено оцінювання якості збору показників.

За допомогою збору інформації, математичних розрахунків і 3D моделювання акрилових пластин аргументовано вибір бджолиного стільника для оптимізації та стилізації конструкції підвісного крісла.

На основі зібраних антропометричних даних потенційних користувачів створено 3D моделі нової стійки з функцією регулювання висоти і нової легкої конструкції крісла. Максимальна висота підйому ноги стійки дорівнює 2100 мм, мінімальна – 1940 мм. Завдяки вирізанню отворів у корпусі крісла вдалось зменшити його вагу на 21 кг.

Проведено статичний розрахунок МСЕ крісла-стільника. Розрахунок показав, що крісло відповідає критеріям міцності та довговічності.

Проведено статичний розрахунок МСЕ стійки різних моделей і варіантів з чотирма різними матеріалами. На основі нього вибраний найбільш міцний та довговічний матеріал та модель конструкції.

Проведено розрахунок стійки на перекидання та розрахунок її зони регулювання на зріз та зминання. Результати довели вдалий вибір матеріалів та конструкції.

### 3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1. Обґрунтування вибору матеріалу підвісного крісла

Запропоновану конструкцію крісла у роботі пропонується виготовляти з наступних матеріалів: органічне скло, нержавіюча сталь AISI 321 та високоміцна низьколегована сталь ASTM A36.

Органічне скло широко використовується як конструкційний матеріал в багатьох галузях (у будівництві, для скління рухомого транспорту, виготовлення прозорих огорожень, окулярів, виробництва предметів побутового призначення тощо) завдяки таким властивостям:

- Висока прозорість, (пропускає світло до 92%), проходження ультрафіолетових променів – 76%, і при цьому скло не набуває жовтого відтінку;
- Ударостійкість в п'ять разів більше ніж у звичайного силікатного скла;
- Легко піддається обробці інструментами (різання, полірування) – за складністю можна співвіднести з обробкою дерева;
- Невелика вага – в два рази менше ніж у звичайного скла;
- Висока термопластичність дозволяє виробляти вироби будь-якої форми;
- Оргскло легко фарбується будь-якими барвниками (можна отримати напівпрозорий, непрозорий матеріал, або такий, що світиться у темряві);
- Листи, а також готові вироби легко склеюються між собою;
- Стійкість до впливу мікроорганізмів і цвілі;
- Морозостійкість;
- Водостійкість;
- Можливість виготовлення листів скла з різною поверхнею: гладка, матова, рельєфна;
- Простий догляд і чищення за допомогою мильної води і тканини з бавовни або мікрофібри;
- Дешевший ніж інші полімери, що використовуються у аналогічних галузях (наприклад, полікарбонат);

- Екологічність і можливість подальшої переробки та утилізації [28, 29].

Органічне скло можна модифікувати різними способами, включаючи нанесення покриття, гравіювання, фарбування, об'ємне і лазерне оброблення, додавання різноманітних добавок, таких як інші полімери, рідко-молекулярні зв'язувачі або розподілені наночастинки. Зазвичай модифікація проводиться для покращення декоративних властивостей, захисту від подряпин, тріщин, ультрафіолетового випромінювання, підвищення міцності. Використання покращеного матеріалу надає функціональні і дизайнерські переваги над звичайним, немодифікованим, матеріалом.

Важливо, що матеріал корпусу підвісного крісла маю хорошу здатність до формування, оскільки має нестандартну форму, а також високу міцність та ударну в'язкість для безпечного користування виробом.

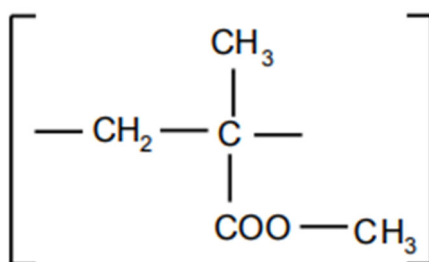


Рисунок 3.1 - Структурна формула поліметилметакрилат

Для виробництва корпусу підвісного крісла-стільника була обрано органічне скло PLEXIGLAS® Resist zk5HF. Це аморфна, модифікована на стійкість до ударів термопластична суміш, що використовується для лиття під тиском, екструдювання тонкостінних листів і профілів, предметів, які вимагають точного відтворення поверхні форми. PLEXIGLAS® Resist zk5HF характеризується високою міцністю на розрив і ударною в'язкістю, підвищеною стійкістю до розтріскування під напругою, відмінною текучістю. Також вироби з нього мають високу атмосферостійкість, пропускну здатність і прозорість, блискучий зовнішній вигляд. PLEXIGLAS® Resist zk5HF піддається переробці та утилізації. Ця марка

органічного скла має хімічну стійкість до агресивних кислот, лугів, вуглеводнів, палива [30].

Основні характеристики PLEXIGLAS® Resist zk5HF наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Основні технічні характеристики PLEXIGLAS® Resist zk5HF

Параметр	Значення	Стандарт виміру
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	1170	ISO 1183
Водопоглинання, %	1.9	ISO 62
Модуль пружності при розтягуванні, МПа	2500	ISO 527
Межа текучості, МПа	55	ISO 527
Макс. температура сушіння перед литтям, °C	85	ISO 294
Час попереднього сушіння в сушарці адсорбційного типу, год	2-3	ISO 294
Температура розплаву під час лиття, °C	230	ISO 294
Температура форми під час лиття, °C	56	ISO 294
Лінійне усадження при формуванні, %	0,20-0,80	ISO 294-4
Швидкість упорскування, мм/с	195	ISO 294
Ударна міцність по Шарпі, КДж/м <sup>2</sup>	50	ISO 179/1eU

Окрім акрилу, полікарбонат також є популярної заміною звичайному склу. На перший погляд обидва матеріали є дуже схожими, однак вони різняться сировиною і технологіями виготовлення. Попри меншу вагу і вищу міцність, ніж скло, акрил і полікарбонат мають різні технічні характеристики [29].

У роботі рекомендується використати нержавіючу сталь AISI 321 для виготовлення пальця-штифта, петлі-цвяха для стійки і петлі та ободу для крісла-стільника.

Нержавіюча сталь (англ. Stainless steel) – це сплав заліза, менше 2% вуглецю з хромом та інших легуючих елементів, що надають сталі необхідних фізико-механічних властивостей та корозійної стійкості. Цими легуючими елементами є нікель, титан, молібден, вольфрам, ніобій тощо.

Корозійна стійкість нержавіючої сталі пояснюється утворенням тонкої оксидної плівки при контакті з навколишнім середовищем. При цьому важливим є однорідність сплаву, стан поверхні, відсутність схильності до утворення міжкристалічної корозії, що є найнебезпечнішим видом корозії.

Чим більший вміст хрому у сплаві, тим вищий опір корозії: більше 12% - сплав є нержавіючим у звичайному і слабоагресивному середовищі; більше 17% - сплав є нержавіючим в агресивному кислому середовищі.

Поведінка під час експлуатації та властивості різних видів сталей залежать саме від складу. Тому, щоб використовувати такий матеріал максимально розумно, варто правильно підбирати марки нержавіючої сталі. Перше місце за частотою експлуатації займають феритні та аустенітні нержавіючі сталі [31, 32].

Нержавіюча сталь AISI 321 - високолегована корозійностійка сталь аустенітного класу, що виготовляються за стандартами The American Iron and Steel Institute. Базується на сталі марки 304, проте має покращену стійкість до міжкристалічної корозії завдяки додаванню титану.

AISI - це аббревіатура Американського інституту сплавів і металів, який розробляє технічні стандарти якості для різних марок кольорового, чорного і нержавіючого прокату, що використовуються переважно на внутрішньому ринку США. Цифра 3 в маркуванні вказує на її приналежність до аустенітних нержавіючих сплавів. Решта числа вказують на порядковий номер у своїй категорії сплавів зі схожими складами.

Хімічний склад AISI 321 досить складний через велику кількість компонентів. Основу сплаву формують три металу - залізо, хром і нікель. В якості

додаткових елементів присутній марганець, титан, кремній і мідь, сірка, фосфор і вуглець. Детальний хімічний склад показаний у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Хімічний склад сталі AISI 321

Хімічний елемент	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Fe
Значення, %	< 0.08	< 1.0	< 2.0	< 0.045	< 0.015	17.0-19.0	9.0-12.0	< 0.7	Решта

Ця хромонікелева сталь використовується в основному в деталях та конструкціях, що передбачають постійні та періодичні робочі температури в діапазоні осадження карбиду 427 – 816°C. Проте використовується у середовищах з низькими температурами.

Також завдяки високій корозійній стійкості вироби зі сталі AISI 321 можна експлуатувати на відкритому повітрі та у агресивних кислотних середовищах.

Сталь після термічної обробки стає немагнітною.

Утворення карбонітридів титану в AISI 321 змінює оброблюваність нержавіючої сталі в порівнянні з нержавіючою сталлю з низьким вмістом вуглецю, без титану. При використанні різальних інструментів із металевим покриттям слід використовувати відповідні фізичні параметри (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 - Фізичні властивості сталі AISI 321

Параметр	Значення
Щільність	7,9 г/см <sup>3</sup>
Модуль пружності при 100 °С	193 ГПа
Питомий електричний опір при 20 °С	0,72 мкОм·м
Питома теплоємність при 20 °С	500 Дж/кг·К
Теплопровідність при 20 °С	15 Вт/м·К
Коефіцієнт теплового розширення 0-100 °С	16,6 · 10 <sup>-6</sup> /К
Температура плавлення	1400-1425 °С
Магнітна проникність	1,02

Загалом сталь AISI 321 є затребуваною у багатьох галузях: медицина, фармацевтика, машинобудування, авіаційна, хімічна, нафтова, харчова промисловість, сільське господарство. Причиною, окрім стійкості до корозії, є міцнісні характеристики (табл. 3.4) [33, 34, 35].

Таблиця 3.4 - Механічні властивості сталі AISI 321

Параметр	Значення
Межа міцності на розрив	515 МПа
Межа текучості (плинності)	205 МПа
Відносне подовження зразка 50 мм	40%
Відносне звуження зразка 50 мм	50%
Модуль пружності	200 ГПа
Коефіцієнт Пуассона	0,29
Модуль зсуву	86 ГПа
Твердість за Брінеллем	215 НВ

Сталь ASTM A36 використовуватиметься для виготовлення ноги і основи стійки.

Високоміцна низьколегована сталь (англ. Steel high strength low alloy, HSLA) - тип вуглецевої сталі, до хімічного складу якого додано невелику кількість легуючих елементів. Легуючі елементи використовуються в основному для підвищення міцності сталі. Вміст вуглецю варіюється у межах 0,1...0,25%. Крім того, що вона здатна забезпечити підвищену міцність порівняно з вуглецевою сталлю, цей тип сталі також може мати вищу міцність і бути більш чутливою до термічної обробки. Легуючі елементи також можна використовувати для підвищення корозійної стійкості сталі [36].

Сталь марки ASTM A36 – конструкційна високоміцна низьколегована вуглецева сталь загального призначення, що відповідає вимогам стандарту ASTM A36/A36M. Є одним з найпопулярніших видів високоміцної низьколегованої сталі.

Сталь ASTM A36 використовується в багатьох галузях промисловості для різних застосувань через її відносно низьку вартість. Крім того механічні властивості роблять його особливо придатним для конструкційних застосувань.

На відміну від більшості марок AISI, сталь A36 Американського товариства випробувань і матеріалів (ASTM) позначається не за хімічним складом, а за механічними властивостями. Це означає, що в той час як більшість марок повинні мати легуючі елементи у певних відсоткових співвідношеннях, A36 повинна відповідати певним механічним стандартам.

Наприклад, сталеві прутки та плити повинні мати мінімальну межу текучості 36 000 фунтів на квадратний дюйм (відповідає 250 МПа). Хоча і є деякі вимоги до хімічного складу, яких повинні дотримуватися при виробництві сталі A36, найважливішою характеристикою є вимога до межі текучості.

Таблиця 3.5 - Механічні властивості сталі ASTM A36

Параметр	Значення
Межа міцності на розрив	400-550 МПа
Межа текучості (плинності)	250 МПа
Відносне подовження зразка 200 мм	20%
Відносне подовження зразка 50 мм	23%
Модуль пружності	200 ГПа
Коефіцієнт Пуассона	0,260
Модуль зсуву	79,3 ГПа
Модуль всебічного стиску (типовий для сталі)	140 ГПа
Твердість за Брінеллем	119-159 НВ

Таблиця 3.6 - Фізичні властивості сталі ASTM A36

Параметр	Значення
Щільність	7,8 г/см <sup>3</sup>
Модуль пружності при 100 °С	200 ГПа
Питомий електричний опір при 20 °С	0,142 мкОм·м
Питома теплоємність при 20 °С	440 Дж/кг·К

## Продовження таблиці 3.6

Теплопровідність при 20 °С	43 Вт/м·К
Коефіцієнт теплового розширення 0-100 °С	$11.7 \cdot 10^{-6} / \text{К}$
Температура плавлення	1421-1466 °С
Усадка	45%

Низький вміст вуглецю дозволяє сталі А36 легко піддаватися механічній обробці, формуванню, а також запобігає значному впливу термічної обробки. Сталь А36 зазвичай містить невелику кількість інших легуючих елементів, включаючи марганець, сірку, фосфор і кремній. Ці легуючі елементи додаються для надання сталі А36 необхідних хімічних і механічних властивостей. Оскільки А36 не містить нікелю або хрому, вона не має відмінної корозійної стійкості [37].

Таблиця 3.7 - Хімічний склад сталі ASTM A36

Хім. елемент	C	Si	Mn	S	P	Cu	Fe
Значення, %	$\leq 0.26$	$\leq 0.40$	1.03	$\leq 0.05$	$\leq 0.04$	0.20	Решта

### 3.3. Технології виробництва підвісного крісла

Для виробництва будь-якого виробу важливим є пошук технологій виготовлення з обраного матеріалу. У даній роботі для виготовлення підвісного крісла пропонуються наступні методи: лиття термопластів під тиском та лиття металу у кокіль.

Підвісна частина (корпус) крісла виготовляється методом лиття під тиском термопластів.

Термопласти – вид пластмас, в основі якого лежать термопластичні полімери. Під дією високих температур матеріал розм'якшуються і переходять в в'язко текучий стан, а при охолодженні повертаються в твердий вид. Процес можна повторювати багато разів без ризику руйнування матеріалу [38].

Акрил складається повністю з термопластичної смоли, але в разі потреби виробники додають компоненти, які надають велику міцність або термостійкість. Залежно від способу виготовлення оргскло може бути литим або екструзійним [28].

Для виготовлення корпусу крісла стільника використовуємо технологію лиття термопластів під тиском.

Лиття термопластів під тиском – високопродуктивний автоматизований метод перероблення термопластів у вироби різної форми.

Термопластичне лиття під тиском має ряд переваг: гнучкість дизайну, ефективність витрат, універсальність, міцність і довговічність, точність та якість, масштабність і масове виробництво, екологічність.

Проте виробникам варто зважати на значні початкові інвестиції та терміни проектування, виготовлення і тестування ливарних прес-форм і спеціалізованого обладнання; обмеження дизайну, вибору матеріалу і розмірів виробу; дотримання правильних технологій виробництва.

Прес-форма - спеціально розроблений порожнистий блок для створення бажаної форми та характеристик пластикової частини, складається з двох половин: порожнини та серцевини. Виготовляються зі сталевих, алюмінієвих, нікелевих, мідних сплавів, інструментальних сталей, композитних матеріалів. [39].

Машина для лиття під тиском складається з трьох основних частин: вузла упорскування (А), прес-форми (В) та затиску (С) (рис. 3.2).

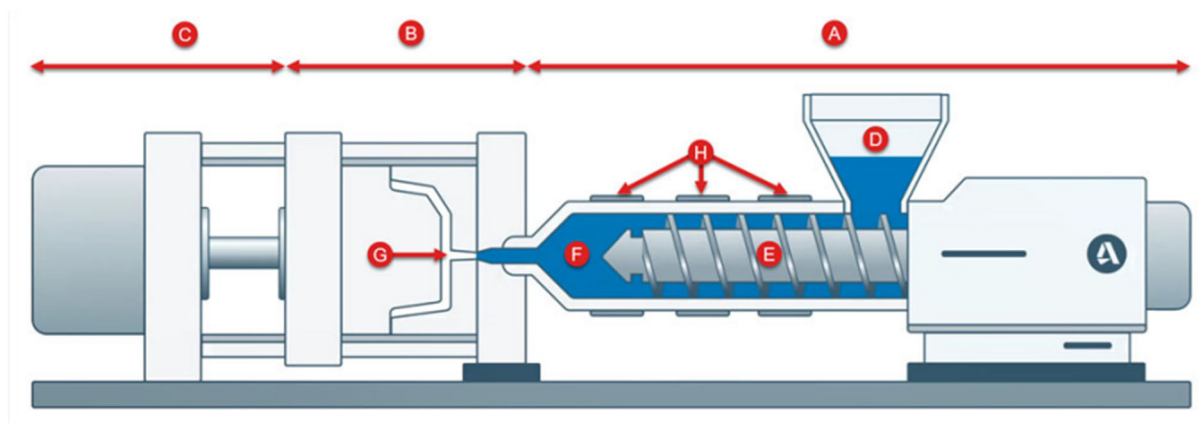


Рисунок 3.2 - Схема технологічного процесу лиття виробів тиском

Процес лиття термопластів під тиском поділяється на такі етапи:

1. Дизайн і виготовлення форми. Першим кроком є проектування та виготовлення прес-форми для точного відтворення виробу.

2. Підготовка матеріалу. Наступний крок — підготовка форми, коли вона готова. Термопластичні гранули обираються на основі бажаних властивостей матеріалу та поміщаються у велику вирву, звану бункером (D), яка подає їх у область, звану бочкою (F). У циліндрі шнек (E) транспортує гранули вперед у формувальну машину. На стовбурі також є стрічки нагрівача (H), які разом із «роботою» шнека нагрівають пластик і перетворюють його на рідину.

3. Ін'єкція. Під час фази впорскування оператори впорскують розплавлений термопласт у порожнину форми під високим тиском. Шнек машини проштовхує розплавлений матеріал через сопло у форму. Матеріал заповнює порожнину форми (G), приймаючи форму потрібної деталі.

4. Охолодження та затвердіння. Коли пластик охолоджується, матеріал стискається. Формувальна машина продовжуватиме проштовхувати більше пластику у форму, щоб компенсувати усадку пластику. Охолодження має вирішальне значення для досягнення стабільності розмірів і правильного формування деталей. Оператори можуть контролювати процес охолодження за допомогою циркуляції охолоджуючої рідини через канали всередині прес-форми або за допомогою охолоджуючих пластин.

5. Відкриття та викид форми. Оператори відкривають форму та виймають деталь із порожнини форми, коли пластик затвердіє. Система виштовхування в машині використовує штифти, виштовхувальні пластини або повітряні потоки для видалення області з форми. Після цього форма готова до наступного циклу вприскування.

6. Подальша обробка. Після викиду деталь може пройти наступну обробку, таку як обрізка, видалення задирок або обробка поверхні. Ці кроки допомагають видалити надлишки матеріалу, згладити шорсткі краї та покращити остаточний зовнішній вигляд деталі.

7. Перевірка якості. Останнім кроком є перевірка якості відлитих деталей і забезпечення їх відповідності встановленим вимогам. Для перевірки якості та цілісності деталі можна використовувати різні методи контролю якості, включаючи вимірювання розмірів, візуальний огляд і функціональне тестування.

8. Переробка та повторне використання матеріалів. Будь-який надлишок або брукт матеріалу, що утворюється під час лиття під тиском, можна переробити та повторно використати. Зменшення використання нових термопластичних матеріалів допомагає мінімізувати відходи та підвищити екологічність [39, 40].

Оскільки нога та основа стійки, а також петля і обод крісла-стільника, зроблені зі сталі, то необхідно знайти способи їх формування. Для виготовлення всіх елементів використовуватиметься лиття у кокіль.

Лиття у кокіль – це процес отримання виливків шляхом вільної заливки металу у металеву форму (кокіл). Є одним із найвживаніших способів лиття.

Порівнюючи лиття у кокіль з литтям у піщано-глинисті форми, можна виділити ряд переваг першого методу, а саме:

- Виливки мають високу точність розмірів і чистоту поверхні, що вимагає меншого припуску на механічну обробку;
- Структура металу виходить дрібнозернистою, що є причиною підвищення механічних властивостей;
- Покращуються технічні та економічні показники виробництва, а також екологічність.

Лиття сталі у кокіль економічно доцільно в умовах масового виробництва виливків не надто складної форми масою до декількох сотень кілограм, оскільки виготовлення складної форми надто дороге.

Кокіль - форма для відливання, що складається з двох частин, з'єднаних у вертикальній чи горизонтальній площинах. Матеріалами для кокілю служить чавун (рідше сталь, алюміній, мідь), що дозволяє створювати багато виливків з однієї форми. Підвищена охолоджуюча здатність кокілю сприяє покращенню щільності та механічних властивостей виливків. Робоча поверхня свідомо виготовляється більших розмірів ніж модель з розрахунку усадки і товщини захисного покриття.

Форми виготовляються методами порошкової металургії, різанням, литтям. Додатково для отримання отворів та порожнин у виливках застосовуються піщані (для чавуну і сталі) та металеві (для алюмінієвих та магнієвих сплавів) стрижні. Видалення газу з робочої порожнини кокілю під час заливання металу здійснюється через випори та газовивідні канали.

Перед початком лиття необхідно провести підготовку кокілю. Для запобігання приварювання, зменшення теплового ефекту рідкого металу та зниження швидкості охолодження вилівка на робочу зону наноситься шар фарби або вогнетривкої суміші, попередньо нагрівши кокіль. Зазвичай піщано-смоляна або керамічна суміш під дією температури спікається і міцно утримується на робочій поверхні. Захисна суміш наноситься пульверизатором, а її товщина становить 0,5...5 мм в залежності від габаритів вилівка. Така підготовка проводиться з кожною частиною кокілю, включаючи газовідвідні канали та ливникову систему. Після закінчення підготовки кокіль збирають, перевіряють якість збірки.

Далі форму нагрівають до температури 115...475°C (для кожного розплаву своя) для підвищення заповнюваності форми та заливають рідкий метал. Заливання металу здійснюють розливним ковшем або автоматичним заливальним пристроєм згори, знизу (через сифон) або збоку через щілинні живильники. Після заповнення форми вилівок охолоджується до температури вибивання (0,6...0,8 від температури солідуса металу) і виймається з форми. Опісля його обрубують, очищають і відправляють на термічну обробку [41, 42, 43].

Для отримання якісних виливків необхідно враховувати ливарні властивості сплавів, таких як: рідкотекучість, схильність розплаву до поглинання газів та утворення дефектів, схильність до утворення неметалевих включень, усадку, утворення усадкових раковин і пор, ліквацію, схильність до утворення ливарних напружень та тріщин.

Рідкотекучість – здатність розплавленого металу текти, заповнювати порожнину форми і точно відтворювати її контури. Оцінку рідкотекучості проводять за допомогою технологічний проб (стандартною пробою є спіралі

Керри). З підвищенням температури сплаву рідкотекучість збільшується, але одночасно збільшується об'єм усадкових дефектів.

Усадка – це властивість металу зменшуватися у лінійних розмірах і об'ємі під час твердіння й охолодження. Вона залежить від хімічного складу, швидкості охолодження, температури заливання розплаву та інших чинників. Щоб отримати виливок заданих розмірів необхідно збільшити розміри форми на значення усадки матеріалу. Для запобігання утворенню усадкових дефектів у виливках встановлюють надливи [43].

Виготовляти пальці-штифти будуть з сортового круглого прокату, який піддається термомеханічній обробці: обробці тиском у холодному стані, обробці різанням та дії високих температур.

Оброблення металів тиском – це технологічний процес отримання фасонних деталей і заготовок шляхом пластичного в гарячому і холодному стані. Є одним з найпопулярніших методів виготовлення заготовок (деталей) різної маси та розмірів.

Холодне деформування відбувається при температурах нижчих за температури рекристалізації. Результатами є підвищення якості поверхні, видовження зерен, збільшення концентрації дефектів кристалічної будови (дислокацій, вакансій, міжвузлових атомів), що підвищує міцність, пружність і твердість металу (наклеп). Наклеп не завжди буває корисним, оскільки твердий і міцний метал важко обробляти. Для полегшення подальшої обробки наклеп усувається шляхом відпалювання. Холодна обробка тиском застосовується для пластичних матеріалів.

Будова сталі після обробки тиском стає волокнистою. Механічні властивості вздовж волокон кращі, ніж впоперек, бо під час обробки волокна витягуються на перерозподіляються відповідно до форми деталі.

Для виготовлення пальця-штифта у роботі пропонується холодне волочіння сортового прокату.

Волочінням називають вид обробки тиском, коли заготовку (часто у холодному стані) протягують крізь отвір у матриці, поперечний переріз якого

менший за поперечний переріз заготовки. Вироби після волочіння мають точні розміри, задану геометричну форму, чисту й гладку поверхню.

Інструментом для волочіння є волока, що має 4-зонний робочий отвір: 1) вхідна або мастильна; 2) деформувальна; 3) калібрувальна; 4) вихідна. Форма калібрувальної зони – циліндрична, решта мають конічну форму. Кут між твірними конуса деформованої зони залежить від властивостей матеріалу та типу заготовки (рис 3.3). Матеріалом волоки є інструментальна тверда сталь. Отвори волоки поліруються, контактні поверхні заготовки і волоки змащують мильним порошком, графітом, водяною емульсією на основі мила і мінеральної води, оливою для істотного зменшення тертя та підвищення якості обробки.

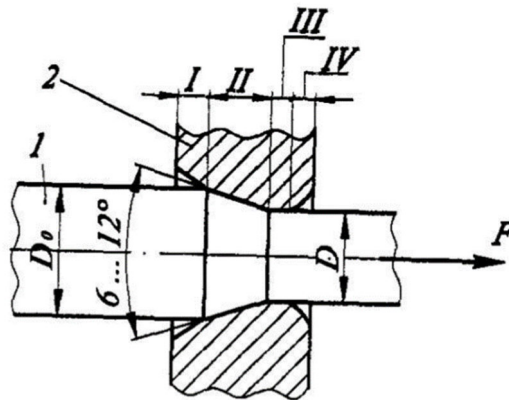


Рисунок 3.3 - Схема волочіння

Для волочіння заготовки на палець-штифт слід використати волочільний верстат з прямолінійним рухом заготовки. До початку волочіння кінець заготовки загострюють, щоб він вільно проходив крізь отвір та виходив з протилежної сторони. Цей кінець захоплюють тяговим механізмом верстата, який протягує заготовку через волоку. Внаслідок пластичного деформування заготовка поступово наближається до профілю калібрувальної зони, зменшуючи площу поперечного перерізу і збільшуючи довжину відповідно. Цей процес здійснюється у декілька проходів.

Іншим схожим методом обробки тиском, яким можливо створити заготовку потрібних розмірів на палець-штифт є пресування – метод, коли заготовку витискують із замкнутої порожнини крізь отвір, що відповідає діаметру поперечного перерізу отриманого виробу [44, 45].

### **3.4. Термомеханічна обробка**

Між термічною обробкою створені компоненти стійки та крісла-стільника проходитимуть механічну обробку з метою видалення зайвих частин виливків, обробки поверхонь та отворів, поділення заготовки на частини тощо. Механічна обробка включає у себе різання, свердління, зенкерування, зняття фаски, шліфування, полірування.

Нержавіюча сталь AISI 321 обробляється важче, ніж більшість стандартних аустенітних нержавіючих сталей, через додавання титану і утворення ним з вуглецем карбідів титану - твердого і абразивного включення. Сталь має типовий показник механічної обробки близько 45-50% від показника механічної обробки м'якої сталі (S1214).

Через високу швидкість зміцнення цієї марки сталі, ріжучі, свердлильні інструменти повинні бути постійно гострими і не викликати непотрібного поверхневого зміцнення поверхні тощо. Вся обробка повинна проводитися відповідно до рекомендацій виробника обладнання щодо відповідного типу інструменту, його режимів подачі та швидкостей роботи. Для обробки металу краще використовувати інструменти з швидкорізальної інструментальної сталі з маркуванням HSS (High Speed Steel). У багатьох випадках їх ріжуча частина посилена покриттям з нітриду титану, яке краще протистоїть нагріванню і тертю. Виконання будь-яких механічних операцій слід проводити з охолоджувальною рідиною для зниження тертя і тепловиділення, полегшення процесу, продовження терміну служби інструментів [46, 47].

Ступінь механічної обробки високоміцної низьколегованої сталі ASTM A36 оцінюється в 72%, середня швидкість поверхневого різання становить 36,58 м/хв. Умови обробки такі ж, що і описані вище [48].

Для механічної обробки органічного скла застосовують верстати та інструменти для обробки деревини і металу. Вони мають працювати на високій швидкості і без вібрацій. Всі станки повинні бути оснащені аспіраційними пристроями для всмоктування стружки і газів. Ріжучі кромки мають бути завжди гостро заточені, оскільки навіть незначно зношені інструменти призводять до нечистої обробки і внаслідок обумовленого тертям перегріву можуть викликати пошкодження. Оскільки синтетичні матеріали мають меншу теплопровідність і здатність зберігати форму, ніж метали, через відсутність тепловідводу в крайових зонах створюються напруги, які в несприятливих випадках призводять до пошкодження оброблюваних деталей. Як охолоджуючі засоби застосовуються вода, розчинні масла, парафін або струмінь повітря, але не традиційні мастильно-охолоджуючі рідини. Бо негативно впливають на матеріал. Перед початком механічної обробки поверхню акрилу покривають захисною плівкою, яку знімають після закінчення обробки. Розмітку або маркування необхідно робити на захисному шарі [49].

Різання – це операція поділу на частини виробів з різних видів матеріалу з мінімальними пошкодженнями, змінами форми та перерізу. Головні вимоги до різання: забезпечення гранично точного та рівного зрізу з мінімальним впливом на структуру та форму матеріалу, мінімальними відходами.

Різання металу на стрічковому верстаті – метод, призначений для поперечного та повздовжнього розпилення фасонного і сортового прокату, труб та заготовок. Як ріжучий інструмент використовуються гнучкі стрічкові пилки, що характеризуються високою ріжучою здатністю та зносостійкістю. Таке різання є помірно продуктивним, має високу якість різання (рівна площа, чистота різання та параметрична точність заготовок), не викликає термічних змін у структурі металу. Цей метод підійде для різання заготовок на пальці-штифти.

Різання металу дисковими пилками здійснюється на дисковому металорізальному верстаті, що конструктивно і функціонально подібний до фрезерного верстата. Цей метод підійде для різання заготовок на пальці-штифти та різання непотрібних частин виливків [50].

Для різання органічного скла також у більшості випадків використовують дискові пилки (для прямих розрізів) і стрічкові пилки або фрези (для інших розрізів). Для відрізання зайвих частин корпусу крісла-стільника підійдуть дискові пилки, що дозволить зробити прямий, чіткий та точний розріз без подальшого його доопрацювання.

Свердління – це метод одержання отворів у суцільному матеріалі, зокрема пластику, дереві, металі або металевій заготовці, за допомогою різального інструмента – свердла, якому надають обертальний та поступальний рух.

Свердління виконують та свердлильних верстатах, перед початком роботи виріб закріплюють, щоб він не рухався і не тремтів. Щоб свердло не зісковзнуло треба зробити невелику виїмку[44, 47].

У заготовках на пальці-штифти, які попередньо порізали на менші частини, свердляться наскрізні отвори, по одному з кожного боку деталі. Для отворів у зоні регулювання висоти стійки і отворів на ободі для крісла можуть застосовуватися зенкерування.

Зенкерування – вид механічної обробки різанням, при якій відбувається обробка циліндричних і конічних отворів в деталях з метою збільшення їхнього діаметра, покращення точності та якості (шорсткості) поверхонь. Проводиться спеціальним інструментом – зенкером. Зенкерування виконують аналогічно свердлінню [51].

Зенкерування проводиться, якщо отвори не свердлилися після відливання деталі, а виготовлялися безпосередньо литтям і через усадку не відповідають необхідним параметрам. У такому разі за допомогою цієї операції можна розширити отвори до необхідного діаметру.

Зняття фаски – механічна операція, контрольоване заокруглення країв деталей та створення фаски - конструктивного елемента у вигляді скошеної

частини гострого ребра чи окрайки. Це робиться шляхом контурного обрізання країв деталі за допомогою спеціальних інструментів [52].

Шліфування – це процес оброблення деталей за допомогою шліфувальних кругів, блоків тощо різного ступень абразивності.

Шліфування застосовується до місць відрізаних зайвих частин матеріалів на вилитих деталях. Метою є зрізати зайві шари та підігнати форму ділянок до основної форми деталей. Найкраще для шліфування металевих деталей підійдуть ручні шліфувальні машинки з набором шліфувальних кругів різної абразивності.

Якщо є необхідність у шліфуванні кромки акрилового корпусу після зрізання зайвого матеріалу, його можна виконати вручну або механічно. При цьому слід уникати сильного і тривалого натиску через утворення тепла, напруги і пошкоджень. Тому шліфування завжди слід проводити з охолоджувальною рідиною. Після досягнення необхідного ступеню гладкості виріб відправляють на полірування [44].

Полірування – це кінцева операція обробки поверхонь, суть якого полягає у зніманні дуже тонких шарів матеріалу механічним, хімічним, електролітичним або іонним методом для надання поверхні малої шорсткості та дзеркального блиску.

Для полірування місць шліфування на металевих виливках можна використати дрібнозернисті м'які абразивні порошки або м'які круги чи стрічки з нанесеними на них полірувальними пастами з поверхнево активними речовинами.

Кромки зрізу органічного скла можна відполірувати без ускладнень, проте полірування поверхні більшої площі краще уникати, так як це залишається видимим у багатьох випадках. Для полірування відшліфованої кромки корпусу крісла обирається повстяна стрічка чи тканинний притир. Під час операції поверхню необхідно охолоджувати [49, 53].

Термічна обробка – процес дії на сплав певними температура, в результаті чого змінюється його структура і властивості. Процес складається з нагрівання до певної температури, витримування при цій температурі та охолодження із заданою швидкістю. Техніка використовується і для виливків із сталі, чавуну, кольорових металів.

Литий метал має цілу низку особливостей:

- Сильні внутрішні напруження. Вони виникають через те, що сплав застигає нерівномірно, а також через неоднорідність розподілу температури всередині форми;
- Дендринта ліквация. Хімічний склад в міжкристалічних просторах й осях дендритів відрізняється, що є причиною хімічної неоднорідності. Також можуть бути наявні неметалеві включення у вигляді карбїду або інтерметалїду, що знижує якість металу;
- Неоднорідність структури. Форма та розміри зерен застиглого металу можуть відрізнятися один від одного. Зазвичай найбільша відмінність між внутрішньою частиною виливка та його поверхнею.

Ці негативні ознаки здатна усунути термічна обробка. Її тип та режим обирається після отримання інформації про призначення, особливості деталі та структурного виду сплаву, з якого вилита деталь.

Для виливків ободу та петлі на крісло-стілець зі сталі AISI 321 процедура термічної обробки виглядає так:

1. Дифузійне (гомогенізаційне) відпалювання: нагрівання виливків до 950 - 1120°C. Час витримки повинен бути достатньо довгим для забезпечення ретельного прогрівання деталей по всій товщині до необхідної температури (10-15 год) та усунення хімічної неоднорідності. Охолоджують деталі разом з піччю. Гомогенізація дає велике зерно, яке зменшується повторним відпалюванням, і оптимальну корозійну стійкість;

2. Нормалізація: нагрівання виливків до 840 - 900°C. Фактичний час витримки повинен бути достатньо довгим для забезпечення ретельного прогрівання деталей по всій товщині до необхідної температури і отримання нормальної, однорідної, дрібнозернистої структури (протягом 1 год на 25 мм товщини як орієнтовний показник, тому беремо 2-3 год). Охолоджують деталі на повітрі. Окрім подрібнення зерна нормалізація знижує внутрішні напруження та натяг, дає стійкість до міжкристалічної корозії;

3. Високе відпускання: нагрівання виливків до  $700^{\circ}\text{C}$ , витримування протягом 1-2 год з охолодженням на повітрі. Метою цієї кінцевої операції є усунення залишкових напружень у сталі після механічних операцій.

Варто зазначити, що в звичайних аустенітних нержавіючих сталях при нагріванні до високих температур відбувається розчинення всіх присутніх карбідів хрому і перехід всього хрому в розчин аустеніту. При повільному охолодженні, як при відпалі, карбіди хрому знову випадають у розчин. Ця проблема вирішується наявністю у складі сталі титану, який діє як стабілізатор. Оскільки вуглець має більшу спорідненість до титану, ніж до хрому, замість карбіду хрому утворюється карбід титану, а хром залишається незмінним елементом. Це забезпечує хорошу корозійну стійкість матеріалу. У нержавіючих аустенітних сталях без титану для усунення випадання карбідів хрому в осад виконують гартування замість відпалювання [44, 46, 54, 55].

Для виливків (основи та ноги стійки) зі сталі ASTM A36 процедура термічної обробки виглядає так:

1. Дифузійне (гомогенізаційне) відпалювання: нагрівання виливків до  $1000 - 1100^{\circ}\text{C}$ . Час витримки 10-15 год. Охолоджують деталі разом з піччю. Внаслідок вирівнюється хімічний склад сталі, зерна збільшуються. Під час відпалювання важливо забезпечити рівномірне прогрівання по всій товщині деталі;

2. Нормалізація: нагрівання виливків до  $899 - 954^{\circ}\text{C}$ . Фактичний час витримки в печі 2-3 години з подальшим охолодженням деталі на повітрі. Виливки після нормалізації отримують однорідну, дрібнозернисту структуру;

3. Високе відпускання: нагрівання виливків до  $677 - 927^{\circ}\text{C}$ , витримування протягом 1-2 год з охолодженням на повітрі. Результатом є усунення залишкових напружень у виливках після механічної обробки [44, 48].

У сталі ASTM A36 мікроструктура в основному складається зі світлого фериту і темного перліту. Цементит ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) в перліті надає перліту твердість. При нагріванні сталі вище критичної температури (тобто на межі ферит-цементит) зароджується фаза аустеніт, яка потім поглинає цементит протягом періоду витримки. При охолодженні на повітрі відносно повільна швидкість охолодження

приведе до перетворення аустеніту у відносно однорідну і грубозернисту феритну і перлітну фази (рис. 3.4), отримуючи перлітно-феритну структуру [56].

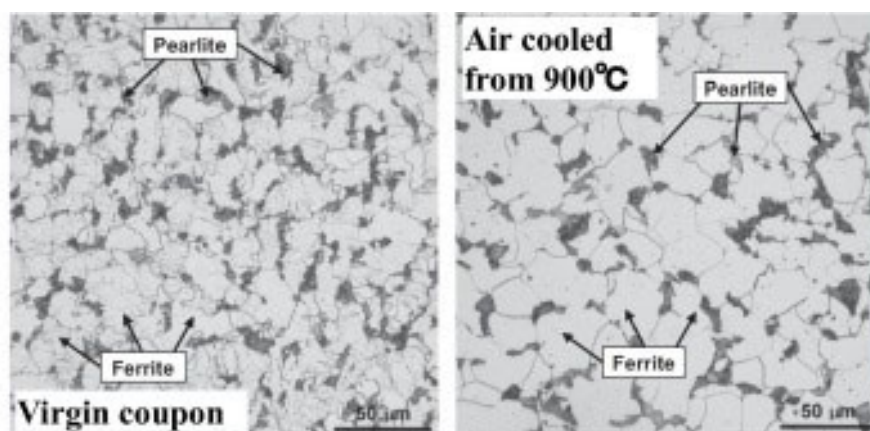


Рисунок 3.4 - Мікроструктура сталі ASTM A36 до та після термічної обробки

При локальному нагріві органічного скла внаслідок механічної обробки можуть виникнути внутрішні напруження, які при подальшому застосуванні призводять до утворення тріщин. Такі внутрішні напруження усуваються за допомогою відпалу при температурі 60-80°C протягом 2-6 годин (при товщині стінки 2-20 мм). Охолоджується виріб разом з термошафою, щоб уникнути виникнення нових напружень через перепад температури [49].

Що стосується пальця-штифта, то його заготовка сортового круглого прокату з діаметром поперечного перерізу 150 мм піддається дифузійному відпалу при температурі 1000-1100°C протягом 10 год, холодному волочінню до зменшення діаметру поперечного перерізу до 15 мм, зворотному відпалу при температурі 900°C протягом 6,25 год, обробці різанням (різання заготовки на частини, свердління отворів, різання фасок) та високому відпуску при температурі до 700°C протягом 1-2 год.

Запропонована термічна обробка базується на дослідженні реакції аустенітної нержавіючої сталі, стабілізованої титаном (AISI 321), на холодну обробку тиском і зворотній відпал [57].

Структура сталі після холодної деформації: мікроструктура волокниста, складається з переривчастих шарів деформованого та слабо деформованого матеріалу. Темні області – фаза мартенситу, що утворюється з аустеніту під час холодної деформації. Чим більший тиск, тим більше мартенситу утворюється – при збільшенні тиску на зразок і його зменшення на 90% кількість деформаційно індукованого мартенситу збільшується на 50 %. Світлі області – деформований аустеніт з меншим значенням пластичної деформації (повздожні зерна). Наявні включення нітрид титану (жовті часточки) та карбід титану (чорні часточки). Мікроструктуру сталі після холодної деформації та збільшення фази мартенситу можна подивитися на рисунку 3.5.

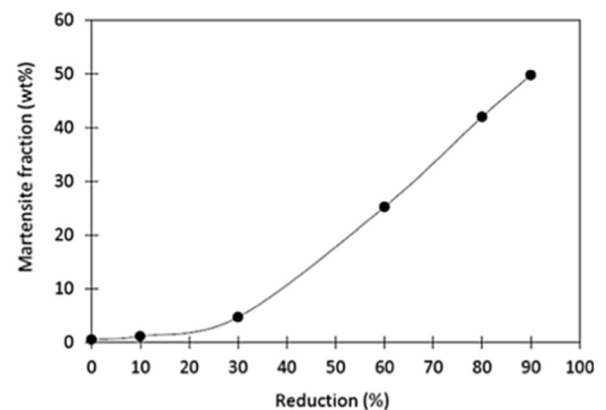
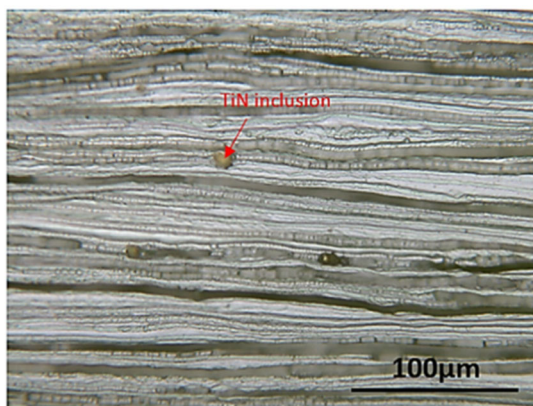


Рисунок 3.5 - Мікроструктура холоднодеформованої AISI 321 та графік зміни мартенситної фази при холодній деформації.

Структура сталі після зворотнього відпалу 900°C: мікроструктура однорідна з рівноосьовими дрібними зернами аустеніту. Темні області з мартенситу під час тривалого відпалу та статичної рекристалізації транспортувалися в ультрадрібний аустеніт, світлі – стають рівноосьовими та дрібними. Статична рекристалізація відбувається допоки така мікроструктура не спостерігається по всій ділянці сталеві деталі (рис. 3.6).

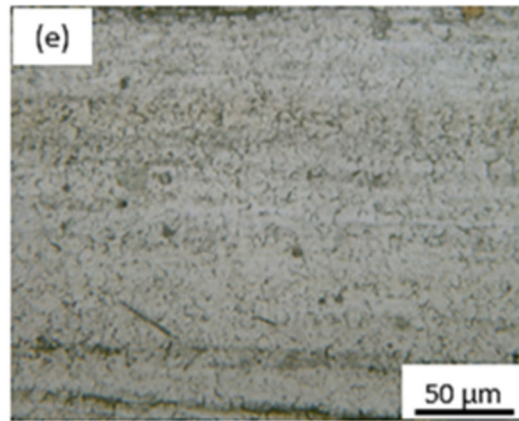


Рисунок 3.6 - Мікроструктура сталі AISI 321 відпалу 900°C

Рівномірно розподілені по матриці карбіди та нітриди титану забезпечують кращі місця зародження дрібних зерен, взаємодіють з границями зерен аустеніту, зменшують рухливість їх границь і перешкоджають зростанню зерна аустеніту.

У відпаленому стані сталь має нижчу міцність і вище відносне видовження порівняно з холоднокатаною сталлю (рис. 3.7). Кращі показники холоднокатаної сталі пояснюються наявністю наклепу та структур деформаційно індукованого мартенситу. Такі високі показники міцності унеможливають подальшу механічну обробку. Сталь після відпалу добре піддається механічній обробці та має високі механічні властивості.

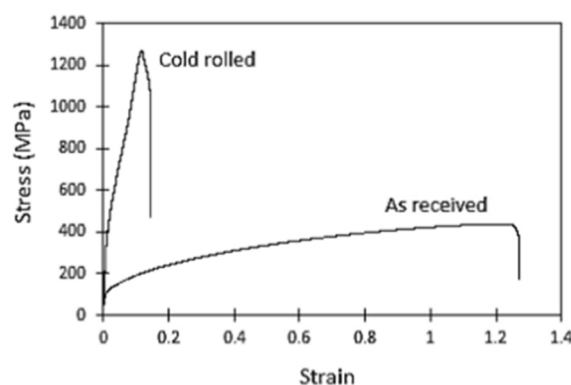


Рисунок 3.7 - Криві «напруга-видовження» холоднодеформованої та холоднодеформованої відпаленої сталі AISI 321

Графіки термомеханічної обробки заготовки на палець-штифт та виливків із запропонованих сталей можна побачити у Додатку Г.

### **3.5. Порошкове фарбування**

Для захисту матеріалу стійки від корозії, на її поверхню наноситься порошкова фарба.

Порошкове фарбування – метод сухого нанесення порошкової фарби для захисту поверхні або для естетичних цілей. Застосовується у різних галузях промисловості і є альтернативою рідкому фарбуванню.

Порошкова фарба – дрібний сухий порошок, що складу якого входять плівкоутворювачі (смоли), затверджувачі, пігментні добавки, модифікатори плинності тощо. Виготовляється методом подрібнення та просіювання у порошок екструдованої охолодженої суміші з полімерних гранул, затверджувача, пігментів та інших складників. Фарба підходить тільки для термостійких матеріалів, що витримують температури від 160°C (метали, кераміка, дерево, деякі види пласмас).

Перевагами порошкового фарбування є: стійкість до зносу, УФ випромінювання, корозій, хімічних речовин, висока якість покриття, висока продуктивність процесу, широкий вибір кольорів та текстур, екологічна безпека. Порошкові покриття не містять розчинників і не виділяють летких органічних сполук (ЛОС) в атмосферу. Таким чином, не потрібно купувати дороге обладнання для контролю забруднення, легше та економніше виконувати встановлені екологічні норми.

Технологія порошкового фарбування складається з трьох основних етапів:

1. Підготовка виробу. З виробу видаляються масла, бруд, мастила, оксиди заліза, окалина для найкращої адгезії фарби та поверхні. Це можливо зробити різними хімічними та механічними способами, вибір яких залежить від розміру та матеріалу виробу, типу забруднень і вимог до роботи виробу. Хімічній та механічній обробці передують знежирення, травлення, видалення забруднень,

промивання. Найкращий результат корозійної стійкості і довговічності досягається комбінуванням механічного та хімічного чищення.

2. Напилення порошкової фарби. Найпоширенішим способом напилення є електростатичний за допомогою електростатичного або коронного пістолета. Пістолет надає негативний заряд порошку, що наноситься на заземлену деталь механічним розпиленням або розпиленням стисненим повітрям. Порошок прилипає до поверхні під дією потужного електростатичного заряду. Також можна спочатку нагріти метал, а потім розпилювати фарбу на гарячу основу, що може допомогти досягти більш рівномірного покриття. Існує широкий спектр розпилювачів (тип залежить від форми, конструкції деталі та консистенції фарби). Товщина нанесення фарби варіюється від 60 до 200 мкм. Окрім пістолета-розпилювача комплект основного обладнання включає: розпилювальну камеру (рухома або статична зона фарбування), живильник з віброситом (для просіювання, дозування і подачі фарби у розпилювач), установку рекуперації (для виловлювання неосівшої фарби і повернення її у виробничий цикл).

3. Плавлення та полімеризація покриття. Коли порошок піддається дії підвищеної температури, він починає плавитися і вступати в хімічну реакцію з утворенням більш високомолекулярного полімеру сітчастої структури. Процес твердіння (зшивання) вимагає підтримки певної температури протягом певного відрізка часу (зазвичай 160-220°C протягом 10-30 хв в залежності від габаритів виробу та товщини шару фарби). Графік процесу може різнитися відповідно до специфікацій виробника. Підведення енергії до виробу відбувається у конвекційних, інфрачервоних печах, за допомогою лазерного процесу або УФ випромінювання [58, 59].

Для покриття основи на ноги стійки було обрано поліефірну порошкову фарбу для покриття виробів зовнішньої експлуатації. Сполучну основу фарби утворює карбоксилвмісний поліефір, зшитий тригліцидилізоціануратом (TGIC). Цей тип фарби володіє високою стійкістю до впливу атмосфери, світлостійкістю, механічною і електричною міцністю, підвищеною стійкістю до стирання та відмінною адгезією до металу. Фарба наноситься на зовнішні та внутрішні

поверхні, включаючи отвори. Для фарбування маляру знадобляться різні насадки для пістолета-розпилювача. Далі елементи стійки витримуються у печі при температурі 180-220°C протягом 15-30 хв. В результаті отримуємо стійке, надійне, екологічне та естетично привабливе покриття [60, 61].

Під час фарбування варто звернути увагу на дегазацію – викиди газів з основи виробу та з порошкового покриття, які проходять через плівку розплавленого порошкового покриття під час твердіння у печі та провокують появу дефектів покриття (точкових отворів, бульбашок). Ця проблема актуальна для оцинкованих та литих виробів. Для вирішення проблеми використовують фарби з добавками для мінімізації або компенсації дегазації. Воскоподібна речовина у фарбі при нагрівання стає плинною і дозволяє газам вийти без утворення дефектів, заповнюючи собою порожнини від летких газів. Такі добавки можна додавати у фарбу прямо на місці фарбування [62].

Порошкове фарбування металу для захисту від корозії є хорошою альтернативою хромуванню. Сполука шестивалентного хрому, що застосовується у процесі і чий основний інгредієнт – хромовий ангідрид, у 90-і роки ХХ століття був визнаний канцерогеном, тобто таким, що становить небезпеку і є причиною виникнення злоякісних новоутворень (раку). А хромовий ангідрид є токсичною речовиною, отруєння якою викликає смерть. В 2006 році набула чинності директива RoHS, що істотно обмежила хромування у Європі. Натомість почали застосовуватися інші способи обробки [63]. Тому безпека навколишнього середовища та працівників була ключовою при виборі кінцевої обробки виробів.



Рисунок 3.8 - Порошкова фарба



Рисунок 3.9 - Порошкове фарбування з пістолета-розпилювача

### 3.6. Утилізація та переробка матеріалу крісла

Після зняття підвісного крісла з експлуатації, необхідно знайти для його пластикових та сталевих елементів оптимальні методи утилізації та переробки.

Утилізація відходів – це повна їх ліквідація або переробка, в результаті якої з’являються нові матеріали та сировина, що надалі використовуватиметься у вторинному виробництві.

І утилізація, і переробка (рециклінг, ресайклінг) являють собою будь-які технологічні операції, пов’язані зі зміною фізичних, хімічних або біологічних властивостей відходів.

Переробка сміття дозволяє вирішити такі загальні проблеми:

- Фінансова економія. Завдяки сучасним технологіям відходи перетворюються на цінне джерело сировини, що коштує дешевше;
- Зниження рівню забруднень атмосфери, води, ґрунту через виробництво нових та перебування на сміттєзвалищах старих виробів;
- Зниження споживання електроенергії та інших видів енергії на виробництво;
- Економія природних ресурсів та невідновлювальних корисних копалин.

Металеві частини підвісного крісла, що вже відпрацьовані, зламані та зняті з експлуатації, відносяться до металобрухту, що є окремою категорією відходів (рис. 3.10). Замість їх відправки на сміттєві полігони, де вони будуть десятиліттями лежати та забруднювати разом з іншими відходами навколишнє середовище, найкращим варіантом буде їх вторинна переробка та подальше користування.



Рисунок 3.10 - Знак переробки сталі

Загальна процедура переробки металобрухту виглядає так:

1. Сортування. Даний процес починається на етапі приймання сировини, коли відходи сортуються за розміром (від великогабаритних до дрібних) та вмістом металів (чорні, кольорові, дорогоцінні). Сортування відбувається завдяки методам магнітного та вихрострумове розділення, роботехніки, датчиків, штучного інтелекту. Сталь ASTM A36 розподілять у чорні метали, а нержавіючу сталь AISI 321 – у кольорові метали;
2. Очищення. Видалення покриттів, фарби, лаків, масел, іржі, бруду;
3. Різання. Розміри брухту зменшують для полегшення подальшої переробки.;
4. Переплавка. Перехід сировини у рідкий стан з очищенням, рафінуванням для видалення домішок та досягнення бажаного рівня чистоти. Металобрухт після переplatки набуває властивостей, притаманних первинній сировині. Переплавка відбувається як окремо, так і одразу з плавленням нового розплаву металу чи сплаву у печах.

Вторинна переробка металобрухту набагато вигідна, оскільки, крім зменшення негативного впливу на природу, зберігає природні запаси залізної руди та відтермінує їх повне виснаження, бо немає потреби добувати нову сировину на виробництво. Переробка прискорює отримання сировини через її швидкість у порівнянні з процесом видобутку копалин [64-66].

Видалити порошокове покриття з поверхні стійки можливо бензиловим спиртом, 98% сірчаною кислотою промислового класу, абразивною обробкою або дією високої температури.

Фарбу також можна утилізувати. Перш за все, залишки та відходи порошкової фарби ретельно сортують, далі фільтрують, пресують, пакують у герметичні ємності і транспортують на будівельні підприємства. Там їх використовують в якості добавок в складі сухих сумішей. Уся фарба, яка не піддається утилізації, тобто така, яка є токсичною, хімічно небезпечною або радіоактивною, спалюється або захоронюється.

Викидати порошок фарбу у звичайний сміттевий бак або вивозити на полігон для зберігання сміття – заборонено. При змішуванні з рідиною атмосферних опадів утворюються токсичні речовини, що при попаданні в ґрунт та ґрунтові води здатні завдати значної шкоди. Також дрібні частинки фарби разносяться вітром і разом зі звичайним пилом становить загрозу ураження дихальних шляхів [67].

Органічне скло (PMMA) на 100% піддається переробці на спеціальних підприємствах. Серед знаків пластиків, що піддаються вторинній переробці, акрил позначений номером 7 разом з ABS пластиком та полікарбонатом (рис. 3.11). На сьогодні виділяють два способи переробки органічного скла (PMMA): механічний та термохімічний.

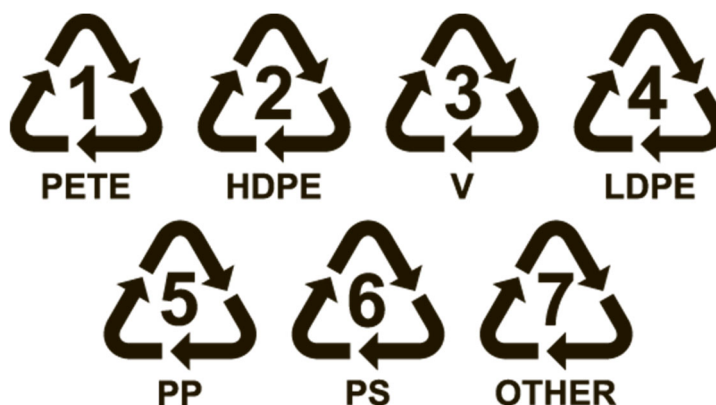


Рисунок 3.11 - Знаки переробки пластику

З огляду на те, що механічна переробка більшості акрилу не підходить, литий матеріал переробляється термохімічними методами, ціль яких є деполімеризація та повторна полімеризація. Важливим критерієм є отримання чистої деполімеризованої речовини.

Серед найбільш застосовуваних методів переробки РММА є піроліз. Піроліз – це хімічна високотемпературна реакція, що призводить до розкладання будь-яких сполук (зокрема пластику) на складові легші молекули або хімічні елементи за умов нестачі кисню.

У процесі піролізу у псевдозрідженому шарі з непрямим нагріванням при температурі 450°C понад 97% РММА можна відновити у вигляді його мономеру ММА. Після дистиляції отриманий ММА можна полімеризувати назад у РММА без будь-якого очищення. Після з полімеру литтям або екструзією виготовлюється новий виріб. Такий метод є гарною альтернативою піролізу з використанням свинцю [68, 69].

### 3.6. Висновки до розділу

У цьому розділі було проаналізовано та обґрунтовано вибір матеріалу: акрилу для корпусу крісла-стільника, нержавіючої сталі AISI 321 для металевих компонентів крісла-стільника та пальця-штифта та високоміцної низьколегованої сталі ASTM A36 для стійки. Приведені їх механічні характеристики.

Досліджено та запропоновано технології виробництва матеріалів: синтезацію акрилу та виплавлення низьколегованої та нержавіючої сталі. Досліджено переваги методів.

Досліджено та запропоновано технології виробництва виробів з обраних матеріалів: лиття термопластів під тиском для органічного скла, лиття у кокіль для металевих деталей стійки та крісла, холодна обробка тиском, а саме волочіння. Розглянуто переваги методів та можливі дефекти при виробництві.

Досліджено та обрано технологію термомеханічної обробки для кожного матеріалу, з якого зроблений окремий виріб, з метою виробництва та покращення механічних характеристик. Особливу увагу приділяли термомеханічній обробці заготовок на пальці-штифти. Для литих деталей головним пріоритетом термічної обробки було позбавлення дефектів та особливостей лиття.

Обґрунтовано вибір кінцевої захисної обробки конструктивних елементів стійки – фарбування порошковою фарбою. Досліджено технологію нанесення порошкової фарби, її екологічність порівняно з хромуванням, обрано потрібний тип фарби. Також розглянуті можливі ускладнення при процесі та способи їх вирішення.

Проведено дослідження з утилізації та переробки частин підвісного крісла зі сталі та органічного скла. Виділено переваги переробки металевих та полімерних виробів, можливі труднощі, виклики цього процесу та способи їх вирішення.

## 4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1. Контроль якості виготовлення підвісного крісла

Після виробництва підвісне крісло та його частини проходять контроль якості та сертифікацію.

Сертифікація – це процес документального підтвердження незалежним органом («третьою стороною») відповідності продукції вимогам визначеними певними нормативними документами. Проводиться шляхом випробувань зразків виробів, аналізу технічної документації виробника, обстеження виробництва. Крім продукції сертифікації піддають процеси, послуги, системи та персонал.

Основні положення щодо сертифікації визначено Міжнародною організацією зі стандартизації ІСО (англ. ISO).

Національним органом України із стандартизації, що покликаний приймати національні стандарти (ДСТУ), які визначають діяльність у сфері сертифікації є Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»).

Сертифікація проводиться безпосередньо органами з оцінки відповідності (ООВ), які також називають органами з сертифікації (ОС). ООВ мають відповідати стандартам ДСТУ та ISO і проходити регулярну акредитацію.

Випробування продукції надає можливість об'єктивно оцінювати технічний рівень та якість виробів. Аналіз технічної документації та обстеження виробництва здійснюється з метою підтвердження можливості підприємства виготовляти продукцію відповідно до вимог чинних нормативних документів та для визначення періодичності та форм проведення технічного нагляду за виробництвом.

Для початку робіт з підтвердження відповідності підприємство випробовує власну продукцію у своєму відділі контролю якості та складає технічну документацію. Далі підприємство як замовник подає заявку та технічну документацію до ООВ. У заявці зазначається інформація про продукцію та її виробництво. В залежності від виду продукції та встановлених до неї вимог до

складу техдокументації можуть входити: опис, виробів, сертифікат якості виробника, паспорт, інструкція, санітарно-гігієнічний висновок, результати випробувань продукції, проведених виробником, документи внутрішнього контролю якості виробництва.

ООВ аналізує надану інформацію, визначає та погоджує із замовником перелік необхідних робіт для підтвердження відповідності продукції. Одним із основних робіт з підтвердження відповідності ООВ є проведення тестування у лабораторіях (вітчизняних чи закордонних).

Після того, як ООВ завершить необхідні роботи з оцінки відповідності виробів нормативним документам, він видає замовнику сертифікат відповідності. Цей сертифікат є обов'язковим документом, що слугує офіційним підтвердженням того, що продукт відповідає встановленим критеріям і придатний до використання. Він надає гарантію якості споживачам і контролюючим органам, а також допомагає виробникам уникнути юридичних проблем і потенційних штрафів. Отримавши сертифікат, виробник демонструє серйозне ставлення до якості та безпеки і готовність інвестувати в необхідні випробування та сертифікацію [70, 71].

Підвісне крісло-стілець зі стійкою може пройти сертифікацію відповідно стандартам з таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Стандарти для сертифікації підвісного крісла-стілець

Позначення	Розшифровка
ДСТУ EN 581-1:2019	Вуличні меблі. Меблі для сидіння та столи для кемпінгів побутової та громадської призначеності. Частина 1. Загальні вимоги щодо безпеки (EN 581-1:2017, IDT)
ДСТУ EN 581-2:2019	Меблі для використання просто неба. Меблі для сидіння та столи для кемпінгів, побутового та громадського призначення. Частина 2. Вимоги щодо безпеки та методи випробування меблів для сидіння (EN 581-2:2015, IDT). 3 поправкою № 1:2019

## Продовження таблиці 4.1

ДСТУ ГОСТ 19917:2016	Меблі для сидіння та лежання. Загальні технічні умови (ГОСТ 19917-2014, IDT)
ДСТУ EN 12520:2018	Меблі. Міцність, довговічність та безпека. Вимоги до меблів для сидіння побутової призначеності (EN 12520:2015, IDT)
ДСТУ 4414:2005	Меблі за індивідуальним замовленням. Загальні технічні умови
ДСТУ 7956:2015	Меблі для сидіння та лежання. М'які елементи. Метод визначення м'якості
ДСТУ ISO 4211-4-2001	Меблі. Випробовування поверхонь. Частина 4. Оцінювання ударної міцності (ISO 4211-4:1988, IDT)
ДСанПіН 8.2.1-181-2012	Державні санітарні норми та правила. Полімерні та полімервмісні матеріали, вироби і конструкції, що застосовуються у будівництві та виробництві меблів. Гігієнічні вимоги
СОУ OEM 08.002.14.055:2020	Вироби з полімерних матеріалів. Екологічні критерії оцінювання життєвого циклу
ISO 155528:2020	Paints, varnishes and raw materials for paints and varnishes - Sampling
ДСТУ ISO 2808:2019	Фарби та лаки. Визначення товщини плівки (ISO 2808:2019, IDT)
ДСТУ ISO 14024:2018	Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу I. Принципи та процедури (ISO 14024:2018, IDT)
СОУ OEM 08.002.12.019:2020	Лакофарбові матеріали. Екологічні критерії оцінки життєвого циклу
СОУ OEM 08.002.14.055:2020	Вироби з полімерних матеріалів. Екологічні критерії оцінювання життєвого циклу

Для контролю якості виробу у роботі проведений капілярний контроль дефектів литих деталей, контроль адгезії, стійкості та товщини порошкового покриття.

Капілярний метод контролю є неруйнівним методом контролю, що базується на використанні капілярної дії (сили) для просочення рідини в порожнини дефекту. Чим менше розмір дефекту, тим вище капілярна сила і тим швидше відбувається просочення. Даний метод ідеальний для дослідження поверхневих дефектів чорних, кольорових металів, пластмас, кераміки, композиційних та синтетичних матеріалів, у яких дефекти виникають під час технологічних операцій лиття, формоутворення порошкових виробів, зварення тощо.

Для роботи необхідно мати очищувач, пенетрант, проявник і захисний одяг (рис. 4.1). За допомогою очищування та води видаляються всі забруднення, масла, іржа, залишки покриттів, потім поверхня висушується. Далі на ділянку шляхом розпилення, пензлем або зануренням у ванну об'єкту наноситься пенетрант (зазвичай червоного кольору) при температурі  $+5...+50^{\circ}\text{C}$  на 5...30 хв. Після просочування речовини у порожнини, залишки пенетранту видаляють промиванням серветкою, промиванням водою або очищувачем. При цьому речовина має видалятися тільки з контрольної поверхні, але не з порожнини дефекту. Після просушування відразу наносять рівним шаром проявник (білого кольору для контрасту). Приблизно через 10 хв після нанесення проявника, проводиться огляд та фіксація всієї видимих дефектів (див. рис. 4.2) [72, 73].

Загальні принципи даного виду контролю описані в ДСТУ EN ISO 3452-1:2022 «Неруйнівний контроль. Капілярний контроль. Загальні принципи» у декількох частинах та ДСТУ EN 1371-1:2015 «Литво. Капілярний контроль. Частина 1. Відливки, виготовлені литтям в піщані форми та литтям в кокіль під дією сили тяжіння і під низьким тиском» [74].



Рисунок 4.1 - Комплект для проведення капілярного контролю



Рисунок 4.2 – Порядок проведення контролю

Прилад для визначення адгезії та стійкості покриттів до пошкодження дряпанням NOVOTEST Ц1-М (рис. 4.3) призначений для випробувань металевих контрольних зразків, пофарбованих порошковою фарбою. Випробування покриття проводиться шляхом протягування зразка під індентором (U-подібним чи дисковим), що має фіксоване навантаження. У ході дослідження навантаження збільшують до тих пір, поки не буде виявлене руйнування або подряпини покриття. Прилад відповідає ISO 12137, ASTM D 5178, ASTM D 2197 [75].

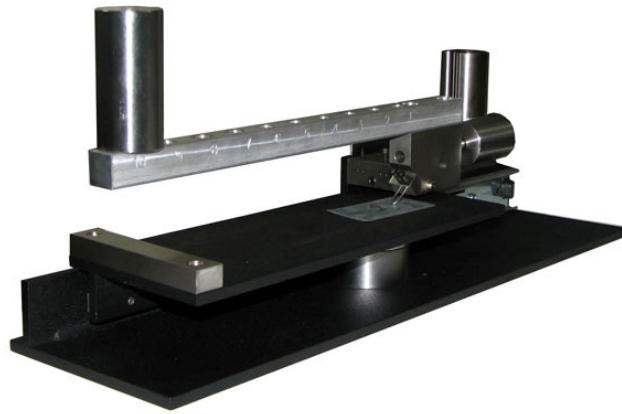


Рисунок 4.3 - Прилад для визначення адгезії та стійкості покриттів до пошкодження дряпанням NOVOTEST Ц1-М

Товщиномір – це прилад для вимірювання товщини матеріалів, їх покриттів тощо. Критеріями класифікації приладів є наявність одно- чи двохстороннього доступу до об’єкту вимірювань, можливість руйнівного чи неруйнівного контролю та фізичний принцип вимірювань. Товщиноміри дозволяють контролювати однакову товщину порошкового покриття на поверхні, економити фарбу та регулювати час нанесення.

Хорошим інструментом для цих цілей є вихрострумний товщиномір SaluTron D4 та SaluTron D5 (рис. 4.4). Метод вихрових струмів дає змогу виміряти товщину немагнітних покриттів (фарби, емалі, пластмаси, хрому, міді, цинку) на магнітній та немагнітній основі (сталь, нержавіюча сталь, чавун, алюміній, латунь) [76].



Рисунок 4.4 - Товщиноміри SaluTron D4 та SaluTron D5

Засоби вимірювання SaluTron D5 CE відповідають таким стандартам: ASTM B499, D1400; DIN 50981, 50984; ISO 2178, 2360, 2808; BS 5411 (3, 11) 3900 (с, 5).

Технічні характеристики приладу для визначення адгезії та стійкості покриттів до пошкодження дряпанням NOVOTEST Ц1-М та товщиномірів SaluTron D4 та SaluTron D5 наведені у Додатку Д

#### 4.2. Експлуатація виробу

Експлуатація у техніці – стадія життєвого циклу виробу, на якій реалізується, підтримується і відновлюється його якість.

Експлуатація підвісного крісла включає в себе у загальному випадку використання за призначенням і технічну експлуатацію (транспортування, зберігання, технічне обслуговування і ремонт).

Використання підвісного крісла-стільника за призначенням передбачатиме декілька стадій, а саме:

- Введення в експлуатацію - подія, що фіксує готовність підвісного крісла до використання за призначенням, документально оформлена у встановленому порядку. Настає після закінчення фарбувальних робіт, механічної обробки,

охолодження після останнього етапу термічної обробки та збірки елементів у єдину систему виробу;

- Очікування використання за призначенням - перебування підвісного крісла у стані готовності до використання за призначенням, що передбачене нормативно-технічною документацією. Відбувається під час зберігання;

- Початок експлуатації - момент введення підвісного крісла в експлуатацію. Наступає після покупки, збірки, встановлення крісла на потрібному місці;

- Нормальна експлуатація - експлуатація підвісного крісла згідно з чинною експлуатаційною документацією. Триває протягом усього періоду користування кріслом;

- Зняття з експлуатації - подія, що фіксує неможливість або недоцільність подальшого використання за призначенням та ремонту підвісного крісла і документально оформлена у встановленому порядку;

- Кінець експлуатації - момент зняття підвісного крісла з експлуатації.

Технічна експлуатація підвісного крісла-стільника передбачає виконання наступний дій:

- Зберігання - утримання підвісного крісла, що не використовується у даний проміжок часу, у заданому стані у відведеному для його розташування місці із забезпеченням збереженості (необхідного захисту) протягом заданого терміну;

- Транспортування - переміщення підвісного крісла у заданому стані із застосуванням, за необхідності, транспортних і вантажопідйомних засобів, що розпочинається із завантаження та закінчується розвантаженням у місці призначення, та застосуванням необхідного захисту;

- Технічне обслуговування - комплекс операцій чи операція підтримування роботоздатності чи справності підвісного крісла у процесах використання за призначенням, очікуванні, зберіганні та транспортуванні.

- Ремонт - комплекс операцій для відновлення справного стану чи працездатності підвісного крісла та відновлення ресурсів підвісного крісла чи його складових частин [77].

У кваліфікаційній роботі було складено список правил та рекомендацій з користування підвісним кріслом для його подовження терміну експлуатації, уникнення пошкоджень та несправностей. Правила описані у Додатку Е.

### **4.3 Висновки до розділу**

У цьому розділі було проведено дослідження з сертифікації та обрано національні стандарти, за якими можна провести сертифікацію підвісного крісла та його компонентів та отримати сертифікат відповідності.

Обрано обладнання та методи сертифікації та контролю якості виробів зі сталі, органічного скла та порошкового покриття: штангенінструменти, оптичні та електронні мікроскопи, рентгенографічний дифрактометр, розривна машина, ультразвуковий дефектоскоп, набір для візуального та капілярного контролю, тестер для вимірювання опору заземлення, система термічного профілювання, прилад для визначення адгезії та стійкості покриттів до пошкоджень, вихрострумний товщиномір та газовий детектор.

Проведено дослідження з експлуатації та сформовано інструкцію з використання та правил догляду, зберігання, транспортування та обслуговування підвісного крісла.

## ВИСНОВКИ

Проведено аналіз конструкцій і матеріалів підвісних крісел та обрано найбільш ефективне поєднання.

Виконано функціонально-вартісний аналіз підвісного крісла, обрано важливі елементи крісла та стійки та способи їх оптимізації.

Проведено антропометричні дослідження різних вікових груп для створення ергономічної складової виробу. Додатково проведено оцінку якості досліджень.

Обґрунтовано конструкцію корпусу крісла у вигляді бджолиного стільника з ціллю економії матеріалу. Виконано розрахунки та 3D моделювання пластин з метою мінімізації їх ваги.

Побудовано 3D модель підвісного крісла та обрано матеріали для запропонованої конструкції, такі як: органічне скло, нержавіючу сталь AISI 321 та сталь ASTM A36.

Перевірено 3D модель підвісного крісла на міцність та жорсткість, палець-штифт та зону регулювання висоти на зріз, стійку на перекидання. Результати досліджень показали надійність та довговічність конструкції.

Обрано технологію виготовлення та переробки підвісного крісла та його елементів.

Описано методи сертифікації та контролю якості підвісного крісла.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Підвісні крісла: способи застосування «меблевих гойдалок» в інтер'єрному і ландшафтному дизайні [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://maxhome.com.ua/interyer/pidvisni-krisla-sposoby-zastosuvannya-meblevyh-gojdalok-v-inter-yernomu-ta-landshaftnomu-dyzajni/>

2. Зручне підвісне крісло до стелі – вибір і правила монтажу [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ceilingmastak.com.ua/accessories/cornices-pears-curtains/zruchne-pidvisne-krislo-do-steli-vibir-i-pravila-montazhu.html>

3. Підвісне крісло-яйце: види і особливості [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://remontstartfinish.cx.ua/24/pidvisne-krislo-jajce-vidi-i-osoblivosti/>

4. Як зробити гамак: 9 ідей корисного рукоділля [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://znaj.ua/society/294692-yak-zrobiti-gamak-9-idey-korisnogo-rukodillya>

5. Підвісні крісла. Ознайомча стаття [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://goodmak.com/ua/vibiraem-podvesnoe-kreslo-na-svoy-vkus>

6. Підвісне крісло: як вибрати оригінальне місце для відпочинку [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://shackijkraj.com/cikavo/pidvisne-krislo-iak-vybraty-oryhinalne-mistse-dlia-vidpochynku.html>

7. Чим відрізняється штучний ротанг від натурального? Особливості цих матеріалів [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://matori.com.ua/uk/chym-vidrizniaietsia-shtuchnyj-rotanh-vid-naturalnoho-osoblyvosti-tsykh-materialiv>

8. Натуральна і синтетична тканина: у чому різниця? [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://zakupka24.com.ua/ua/blog-zakupka-24/korisni-poradi/naturalna-i-sintetichna-tkanina/>

9. Що таке оргскло [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://tashuta.ua/ua/akryl/#primer>

10. Органічне скло [електронний ресурс] / Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B5\\_%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%BE](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B5_%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%BE)

11. Sewing [електронний ресурс] / Режим доступу:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Sewing>

12. Плетіння [електронний ресурс] / Режим доступу:  
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%8F>

13. Ливарне виробництво [електронний ресурс] / Режим доступу:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B5\\_%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%BE](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B5_%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%BE)

14. Основи проектування і моделювання: Навчально – методичний посібник / уклад. Людмила Миколаївна Хоменко. – Умань: ФОП Жовтий О.О., 2016. – 125 с.

15. Function cost analysis [електронний ресурс] / Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Function\\_cost\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Function_cost_analysis)

16. Функціонально-вартісний аналіз: навчальний посібник/ уклад. З.Б. Литвин. – Тернопіль: Економічна думка, 2007. – 130 с.

17. Функціонально-вартісний аналіз як метод удосконалення об'єкту [електронний ресурс] / Режим доступу:  
[https://osvita.ua/vnz/reports/econom\\_pidpr/18693/](https://osvita.ua/vnz/reports/econom_pidpr/18693/)

18. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Ергономіка і технічна естетика» для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство / К.А. Зіборов, Т.О. Письменкова, О.М. Твердохліб, І.В. Вернер – Дніпро: НТУ «ДП», 2022. – 39 с.

19. Ергономіка [електронний ресурс] / Режим доступу:  
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%BA%D0%B0>

20. Яка стандартна висота стель у квартирі – норми та стандарти для різних видів будівель [електронний ресурс] / Режим доступу:  
<https://ceilingmastak.com.ua/repair-and-maintenance/decoration/yaka-standartna-visota-stel-u-kvartiri-normi-ta-standarti-dlya-riznih-vidiv-budivel.html>

21. Висота стелі в «хрущовках», в «сталінських», панельних будинках, в новобудовах [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://lifehacker.org.ua/visota-steli-v-hryshovkah-v-stalinskih-panelnih-bydinkah-v-novobydovah/>

22. Мацюк І.М. Методичні вказівки до практичних робіт студентів за дисципліною «Технічна біоніка», що навчаються за освітньою програмою «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов – Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2019. – 18 с.

23. Разанова О.П. Технологія виробництва продукції бджільництва. Методичні вказівки для виконання практичних завдань здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) освітнього рівня денної форми навчання галузі знань 20 «Аграрні науки і продовольство» спеціальності 204 «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва». Вінниця, 2023. 105 с.

24. Мигаль, С. П., І. А. Дида, Т. Є. Казанцева. "Основи формотворення і проектування об'єктів предметного біодизайну." Вісник Національного університету Львівська політехніка. Архітектура 816 (2015): 229-239.

25. Hexasphere.js [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.robscanlon.com/hexasphere/>

26. Метод скінченних елементів у механіці конструкцій [електронний ресурс] / Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4\\_%D1%81%D0%BA%D1%96%D0%BD%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%85\\_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2\\_%D1%83\\_%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%86%D1%96\\_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D1%81%D0%BA%D1%96%D0%BD%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2_%D1%83_%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%86%D1%96_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9)

27. Метод скінченних елементів [електронний ресурс] / Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4\\_%D1%81%D0%BA%D1%96%D0%BD%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D1%81%D0%BA%D1%96%D0%BD%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8)

%D1%85\_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2

28. Все, що потрібно знати про оргскло [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://pobuduj.com.ua/uk/article/vse-cho-nuzhno-znat-pro-orgsteklo/>

29. У чому різниця між акрилом і полікарбонатом [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://avers.ua/news/u-comu-riznicya-miz-akrilom-i-polikarbonatom>

30. PLEXIGLAS® Resist zk5HF [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.campusplastics.com/campus/ru/datasheet/PLEXIGLAS%C2%AE+Resist+zk5HF/R%C3%B6hm/21/0b1c614c/SI?pos=9>

31. Загальні відомості про нержавіючу сталь [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://sunday.in.ua/faq/zagalni-vidomosti-pro-nerzhavijuchu-stal.html>

32. Загальні відомості про нержавіючу сталь [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://armaх.ua/ua/blog/zagalni-vidomosti-pro-nerzhaviyuchu-stal/>

33. Нержавіюча сталь Марка AISI 321 | EN 1.4541 | 08X18H10T [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ukirs.com.ua/ru/%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA/%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D1%8E%D1%89%D0%B0%D1%8F-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C-%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B0-aisi-321-en-1-4541-08%D1%8518%D0%BD10%D1%82>

34. СТАЛЬ AISI 321 [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://westa.kiev.ua/ua/standarty/marki-stali/stal-aisi-321>

35. SS321, AISI 321 Stainless Steel 321H, TP321 [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.forgedproduct.com/forging-materials/aisi-321-ss321-stainless-steel.html>

36. What Is HSLA Steel? [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.metalsupermarkets.com/what-is-hsla-steel/>

37. Grade Guide: A36 Steel [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.metalsupermarkets.com/grade-guide-a36-steel/>

38. ТЕРМОПЛАСТ І ЙОГО ВИДИ [електронний ресурс] / Режим доступу: <http://aura-ltd.com.ua/shho-take-termoplasta-ta-yiyi-vydy/>
39. Термопластичне лиття під тиском [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.djmolding.com/uk/thermoplastic-injection-molding/>
40. Методичні рекомендації для самостійної роботи студентів при виконанні лабораторних робіт з дисципліни «Промисловий дизайн» для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство К.А. Зіборов, Т.О. Письменкова, О.М. Твердохліб – Дніпро: НТУ «ДП», 2023.
41. Лиття в кокіль [електронний ресурс] / Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%82%D1%82%D1%8F\\_%D0%B2\\_%D0%BA%D0%BE%D0%BA%D1%96%D0%BB%D1%8C](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%82%D1%82%D1%8F_%D0%B2_%D0%BA%D0%BE%D0%BA%D1%96%D0%BB%D1%8C)
42. Хричиков В.Е., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.
43. Спеціальні види лиття. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологія та обладнання спеціальних видів лиття» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка рівня бакалавра / Упоряд. : К. О. Костик, Т. В. Берлізева– Харків: НТУ «ХП», 2023. – 32 с.
44. Матеріалознавство та технологія металів : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти А. М. Власенко. - Київ : Літера ЛТД, 2019. - 224 с.
45. Технологія обробки металів і сплавів тиском. Методичні вказівки до занять з навчальної практики з дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство" для студентів факультетів конструювання та дизайну, механіко –технологічного, лісогосподарського та навчальнонаукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження/ : Є.Г. Афтандіянц, О.В. Зазимко, Г.М. Похиленко – Київ: Видавничий центр НУБіП, 2020 – 60 с.
46. 321 Austenitic Stainless Steel Bar [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.interlloy.com.au/our-products/stainless-steel/321-austenitic-stainless-steel-bar/>

47. Як правильно свердлити метал? [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://avmg.ua/about/pres-centr/detail/kak-pravilno-sverlit-metall/>
48. ASTM A36 Mild/Low Carbon Steel [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6117>
49. Способи обробки органічного скла [електронний ресурс] / Режим доступу: [https://accord-plastic.com.ua/statti/sposobi\\_obrobki\\_organichnogo\\_skla/](https://accord-plastic.com.ua/statti/sposobi_obrobki_organichnogo_skla/)
50. Чим різати метал? Основні способи порізки [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/cim-rizati-metal-osnovni-sposobi-porizki/>
51. Зенкерування [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://naurok.com.ua/urok-4-zenkeruvannya-348949.html>
52. What is the chamfering process and what is it for? | EONSI [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://eonsi.eu/en/what-is-the-chamfering-process-and-what-is-it-for-eonsi/>
53. Полірування [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%80%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F>
54. Термічна обробка виливків [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ukrfavorit.com.ua/termichna-obrobka-vylyvkiv/>
55. Stainless Steel - Grade 321 (UNS S32100) [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=967>
56. Yu, Yujie & Lan, Lifeng & Ding, Fa-Xing & Wang, Liping. (2019). Mechanical properties of hot-rolled and cold-formed steels after exposure to elevated temperature: A review. Construction and Building Materials. 213. 360-376. 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.062.
57. Asghar Rezayi, Hesam & Shaban, Mehdi & Eghbali, B. (2018). Effect of post deformation annealing on the microstructure and mechanical properties of cold rolled AISI 321 austenitic stainless steel. Materials Science and Engineering A. 736. 364-374.

58. Powder coating [електронний ресурс] / Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Powder\\_coating](https://en.wikipedia.org/wiki/Powder_coating)
59. Порошкова фарба [електронний ресурс] / Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%88%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0\\_%D1%84%D0%B0%D1%80%D0%B1%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%88%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D1%84%D0%B0%D1%80%D0%B1%D0%B0)
60. Порошкові фарби, їх види і сфера застосування [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://gm.amtt.ua/blog/articles/poroshkovye-kraski-ih-vidy-i-sfera-primeneniya/>
61. Поліефірна фарба для металу [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://lacover.ua/uk/poliefirna-farba-dlya-metalu/>
62. Вирішення проблем дегазації порошкового покриття: основні причини та способи запобігання [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.coatings.net.ua/artykuly/virishennya-problem-degazaciyi-poroshkovogo-pokrittya-osnovni-prichini-ta-sposobi-zapobigannya,1242>
63. Хромування [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F>
64. Утилізація відходів: що це таке і навіщо потрібно [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://cleanworld.in.ua/2023/03/02/ua-waste-disposal/>
65. Переробка відходів [електронний ресурс] / Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BA%D0%B0\\_%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%B2](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BA%D0%B0_%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%B2)
66. Металобрухт [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ecological.investments/metalobrucht.html>
67. Утилізація фарби [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://alphaeco.com.ua/utilizatsiya-lakofarbovikh-virobiv/farbi>
68. Chemical recycling makes sense for PMMA [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.sustainableplastics.com/news/chemical-recycling-pmma-focussed-next-generation-depolymerisation-processes>

69. Kaminsky, W., & Franck, J. (1991). Monomer recovery by pyrolysis of poly(methyl methacrylate) (PMMA). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 19, 311-318.
70. Сертифікація [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F>
71. Сертифікація продукції [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ukrcertification.com/certification>
72. Капілярний контроль металу [електронний ресурс] / Режим доступу: <http://ua.tuev-dieks.com/services/technical-diagnosis/methods-of-survey/kapillyarnyj-kontrol-metalla/>
73. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Технологія випробувань матеріалів та виробів» для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство / З. В. Сазанішвілі, Д. В. Лаухін, Д. В. Гаркавенко – Дніпро: ДП «НТУ», 2023. – 11 с.
74. Сервіс документів БУДСТАНДАРТ Online [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://online.budstandart.com/ua/about.html>
75. Прилад для визначення адгезії та стійкості покриттів до пошкодження дряпанням NOVOTEST Ц1-М [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://novotest.ua/ua/katalog-priborov/pribor-dlya-opredeleniya-adgezii-i-ustojchivosti-pokrytij-k-povrezhdeniyu-tsarapanem-novotest-ts1-m.html>
76. Coating thickness gauge SaluTron® D4 / D5 (plus). Non-destructive coating thickness measurement [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.salutron.de/en/coating-thickness-gauges/salutron-d4-d5/>
77. Експлуатація (техніка) [електронний ресурс] / Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F\\_\(%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F_(%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0))
78. Мацюк І.М., Новак Г.Р. Дизайн-проект підвісного крісла з використанням біонічних форм. Збірник наукових праць міжнародної конференції

«Інноваційні технології підготовки кадрів для промисловості та транспорту 2024».  
– Дніпро: НТУ «ДП», 2024. –с. 64-69.

79. Зіборов К.А. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для бакалаврів спеціальності 132Матеріалознавство ОПІ «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів» / К.А. Зіборов, Н.О. Ротт, Т.О. Письменкова, С.О. Федоряченко; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ«ДП», 2022. – 40 с.

## ДОДАТКИ

### Додаток А. Оцінка якості проведення антропометричних досліджень

Проводимо оцінку якості проведених антропометричних досліджень людей віком 5-20+ років, перевіряючи похибку серії послідовних вимірювань та визначаючи правдоподібність отриманих значень. Важливо визначити: наскільки значення у множині відрізняються від середнього значення.

Таблиця А.1 – Результати вимірювань висоти підшва-сидіння людей віком 5-7 років

Середнє арифметичне відхилення висоти підшва-сидіння, см	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Кількість показників	0	1	3	5	3	3	2	3	0
Ймовірність	0	1/20	3/20	5/20	3/20	3/20	2/20	3/20	0

Математичне сподівання - це міра середнього значення випадкової величини в теорії ймовірності (рис. А.1). Величину математичне сподівання визначають за формулою (А.1):

$$M[X] = \sum_{i=1}^n x_i p_i, \quad (\text{A.1})$$

де –  $x_i$  показники зросту, що мають можливі значення  $x_1, x_2 \dots x_n$ ;

$p_1, p_2 \dots p_n$  – ймовірності їх появи.

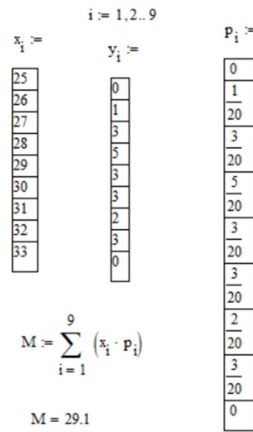


Рисунок А.1 - Розрахунок математичного сподівання

Для визначення показника розсіювання виміряного значення величини щодо її математичного очікування визначимо величину середньоквадратичного відхилення. Зазвичай вказаний показник означає квадратний корінь з дисперсії отриманої величини (А.2):

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \tag{A.2}$$

де  $\bar{x}$  – середнє арифметичне вибірки отриманих значень зросту (А.3):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n), \tag{A.3}$$

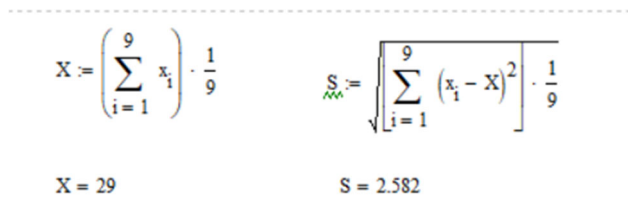


Рисунок А.2 – Результат розрахунку середнього арифметичного

Випадкова величина повністю описується з ймовірнісної точки зору, якщо відомий закон розподілу ймовірності її появи. Законом розподілу ймовірності випадкової величини називається співвідношення між можливими значеннями випадкової величини і відповідними їм ймовірностями.

Якщо якась величина утворюється в результаті складання багатьох випадкових слабо взаємозалежних величин, кожна з яких вносить малий внесок щодо загальної суми, то центрований і нормований розподіл такої величини при збільшенні числа спостережень прагне до нормального розподілу (А.4):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (\text{A.4})$$

де  $\mu$  – математичне очікування (середнє значення);

$\sigma$  середньоквадратичне відхилення ( $\sigma^2$  – дисперсія) розподілу.

$$f(x) := \left( \frac{1}{s \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \right) \cdot e^{-\left[ \frac{(x-M)^2}{2 \cdot s^2} \right]}$$

$$f(x_i) =$$

0.044
0.075
0.111
0.141
0.154
0.145
0.118
0.082
0.049

+

Рисунок А.3 - Результат розрахунку нормального розподілу

Для якісного аналізу проведеної серії вимірювань визначено величину щільності ймовірності (рис. А.4), що характеризує ймовірність влучень величини

вимірюючого росту в вузькі інтервали поблизу даних значень, що визначаються показниками якості (А.5):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[ -\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (\text{A.5})$$

$$F(x) := \left( \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot S}} \right) \cdot e^{-\left[ \frac{(x-M)^2}{2 \cdot S^2} \right]}$$

$F(x_i) =$

0.07
0.121
0.178
0.227
0.248
0.234
0.189
0.132
0.079

Рисунок А.4 - Розрахунок щільності ймовірності

Величина математичного очікування висоти від підшви до сидіння людей віком 5-7 років  $M[x]=29,1$  см, середнє відхилення значення висоти від підшви до сидіння людей віком 5-7 років  $S=2,6$  см.

На рисунку А.5 наведені залежності для функції розподілу ( $f(x)$ ) і функції ймовірності ( $F(x)$ ) на зазначеному інтервалі проведених вимірювань зросту.

Отримані залежності (рис А.5) дозволяють кількісно оцінити якість проведених вимірювань при проведенні експериментів і дати рекомендації по їх підвищенню [1].

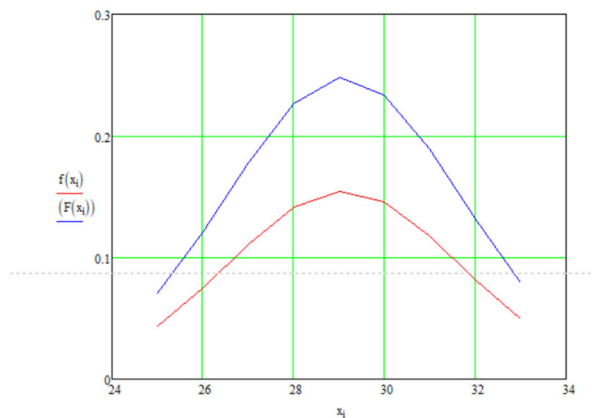


Рисунок А.5 - Залежність функцій  $(f(x))$  до  $(F(x))$  показнику висоти підшва-сидіння людей віком 5-7 років

Ймовірність попадання показників висоти від підшви до сидіння людей віком 5-7 років до 25 см в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань, становить  $p=0,07$ ; ймовірність попадання показників від 33 см становить  $p=0,079$ ; ймовірність попадання показників від 25 до 33 см становить  $p=0,248$ . Це свідчить про відповідність одного з контрольованих антропометричних параметрів (висоти від підшви до сидіння людей віком 5-7 років) вимогам замовника і якості проведених вимірювань.

Розрахунки вимірювань висоти від підшви до сидіння людей віком 8-10 років (табл. А.2), 11-13 років (табл. А.3), 14-17 років (табл. А.4), 18-20+ років (табл. А.5), зросту (табл. А.6), довжини тіла над сидінням (табл. А.7), довжини стегна редукованого (табл. А.8), ширини розсунутих ліктів (табл. А.9), ваги (табл. А.10) для людей віком 18-20+ років було проведено таким самим чином. Тому було отримано наступні залежності.

Таблиця А.2 – Результати вимірювань висоти підошва-сидіння людей віком 8-10 років

Середнє арифметичне відхилення висоти підошва-сидіння, см	29	30	31	32	33	34	35
Кількість показників	0	1	2	11	5	1	0
Ймовірність	0	1/20	2/20	11/20	5/20	1/20	0/20

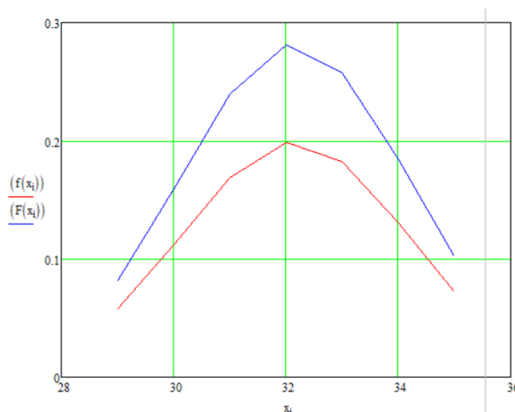


Рисунок А.6 - Залежність функцій  $(f(x))$  до  $(F(x))$  показнику висоти підошва-сидіння людей віком 8-10 років

Ймовірність попадання показників вимірювань висоти від підошви до сидіння людей віком 8-10 років до 29 см в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань становить  $p=0,082$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 35 см становить  $p=0,102$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 29 до 35 см становить  $p=0,281$ .

Таблиця А.3 – Результати вимірювань висоти підошва-сидіння людей віком 11-13 років

Середнє арифметичне відхилення висоти підошва-сидіння, см	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Кількість показників	6	1	2	3	0	3	3	2	0
Ймовірність	6/20	1/20	2/20	3/20	0	3/20	3/20	2/20	0

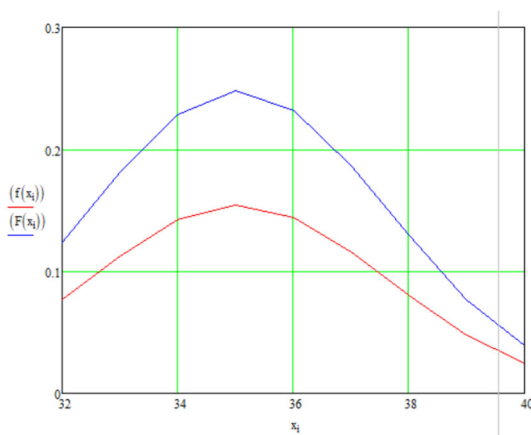


Рисунок А.7 - Залежність функцій  $(f(x))$  до  $(F(x))$  показнику висоти орпідощва-сидіння людей віком 11-13 років

Ймовірність попадання показників вимірювань висоти від підошви до сидіння людей віком 11-13 років до 32 см в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань становить  $p=0,124$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 40 см становить  $p=0,04$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 32 до 40 см становить  $p=0,248$ .

Таблиця А.4 – Результати вимірювань висоти від підшви до сидіння людей віком 14-17 років

Середнє арифметичне відхилення висоти підшва-сидіння, см	37	38	39	40	41	42	43	44
Кількість показників	0	2	7	5	4	0	2	0
Ймовірність	0	2/20	7/20	5/20	4/20	0	2/20	0

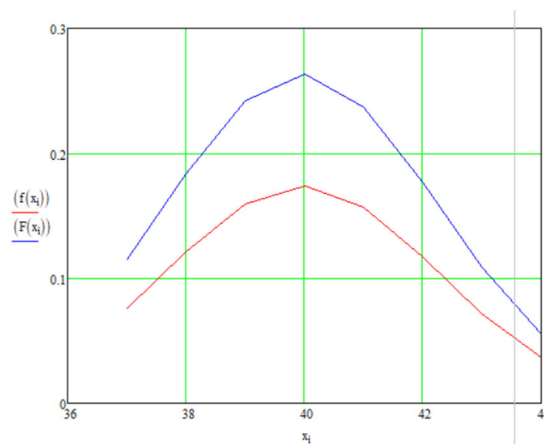


Рисунок А.8 - Залежність функцій  $(f(x))$  до  $(F(x))$  показнику висоти від підшви до сидіння людей віком 14-17 років

Ймовірність попадання показників вимірювань висоти від підшви до сидіння людей віком 14-17 років до 37 см в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань становить  $p=0,115$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 44 см становить  $p=0,055$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 37 до 44 см становить  $p=0.263$ .

Таблиця А.5 – Результати вимірювань висоти від підшви до сидіння людей віком 18-20+ років

Середнє арифметичне відхилення висоти підшва-сидіння, см	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Кількість показників	1	2	2	1	3	1	4	5	0	1
Ймовірність	1/20	2/20	2/20	1/20	3/20	1/20	4/20	5/20	0	1/20

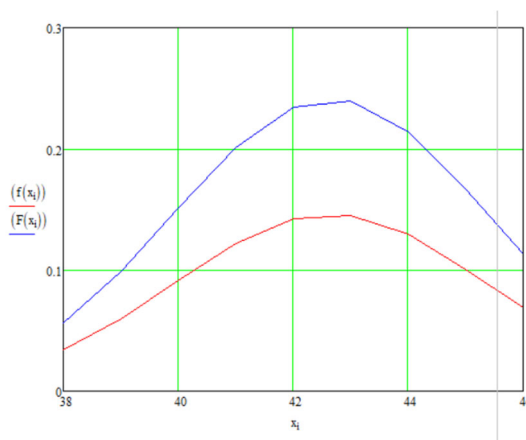


Рисунок А.9 - Залежність функцій  $f(x)$  до  $F(x)$  показнику висоти від підшви до сидіння людей віком 18-20+ років

Ймовірність попадання показників вимірювань висоти від підшви до сидіння людей віком 18-20+ років до 38 см в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань становить  $p=0,056$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 47 см становить  $p=0,114$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 38 до 47 см становить  $p=0.24$ .

Таблиця А.6 – Результати вимірювань зросту людей віком 18-20+ років

Середнє арифметичне відхилення зросту, см	Кількість показників	Ймовірність
157	1	1/20
159	1	1/20

## Продовження А.6

160	1	1/20
163	3	3/20
165	1	1/20
170	2	2/20
171	1	1/20
172	1	1/20
179	3	3/20
180	1	1/20
182	2	2/20
183	2	2/20
184	1	1/20
187	1	1/20

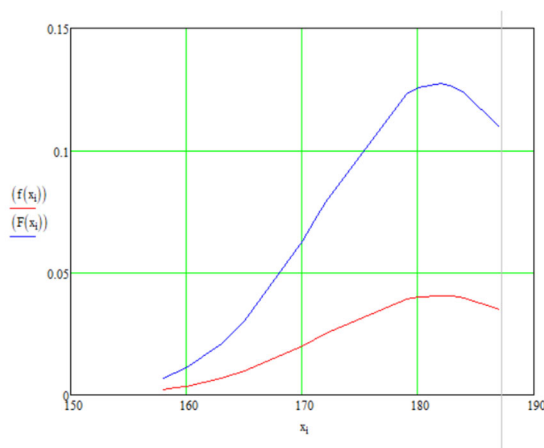


Рисунок А.10 - Залежність функцій  $(f(x))$  до  $(F(x))$  показнику зросту людей віком 18-20+ років

Ймовірність попадання показників вимірювань зросту людей віком 18-20+ років до 157 см в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань становить  $p=0,007$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 187 см становить  $p=0,109$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 157 до 187 см становить  $p=0.127$ .

Таблиця А.7 – Результати вимірювань довжини тіла над сидінням людей віком 18-20+ років

Середнє арифметичне відхилення довжини тіла над сидінням, см	Кількість показників	Ймовірність
84	1	1/20
84,2	1	1/20
85	2	2/20
89	3	3/20
89,1	1	1/20
90	1	2/20
90,1	1	1/20
97	2	2/20
97,2	1	1/20
98	2	2/20
98,1	3	3/20
98,2	1	1/20
98,3	1	1/20

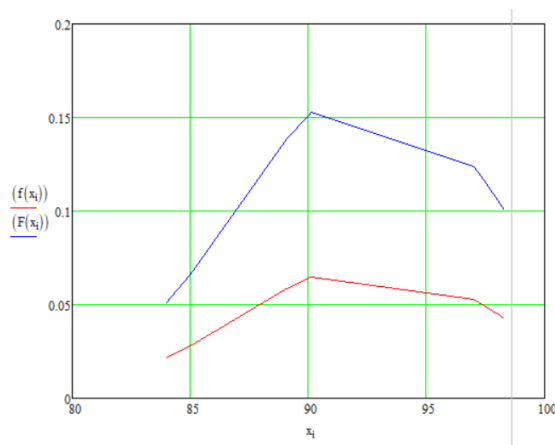


Рисунок А.11 - Залежність функцій  $f(x)$  до  $F(x)$  показнику довжини тіла над сидінням людей віком 18-20+ років

Ймовірність попадання показників вимірювань довжини тіла над сидінням людей віком 18-20+ років до 84 см в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань становить  $p=0,051$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від

98,3 см становить  $p=0,1$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 84 до 98,3 см становить  $p=0.153$ .

Таблиця А.18 – Результати вимірювань довжини стегна редукованого людей віком 18-20+ років

Середнє арифметичне відхилення довжини стегна редукованого, см	Кількість показників	Ймовірність
45	3	3/20
46	5	5/20
47	2	2/20
48	6	6/20
49	4	4/20

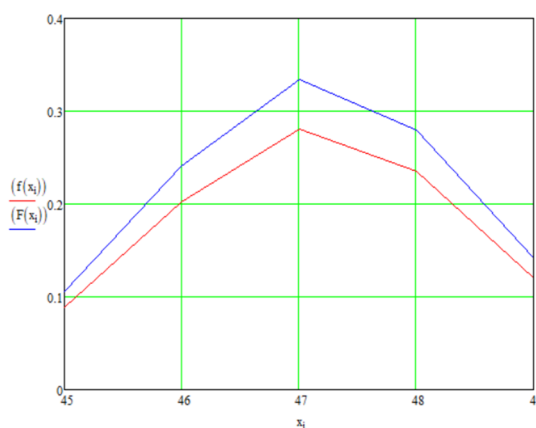


Рисунок А.12 - Залежність функцій  $(f(x))$  до  $(F(x))$  показнику довжини стегна редукованого людей віком 18-20+ років

Ймовірність попадання показників вимірювань довжини стегна редукованого людей віком 18-20+ років до 45 см в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань становить  $p=0,106$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 49 см становить  $p=0,146$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 45 до 49 кг становить  $p=0.334$ .

Таблиця А.9 – Результати вимірювань ширини розсунутих ліктів людей віком 18-20+ років

Середнє арифметичне відхилення ширини розсунутих ліктів, см	Кількість показників	Ймовірність
71	1	1/20
72	4	4/20
72,5	4	4/20
73	1	1/20
73,5	1	1/20
74	3	3/20
74,5	2	2/20
75	1	1/20
75,2	1	1/20
75,4	1	1/20
76	1	1/20

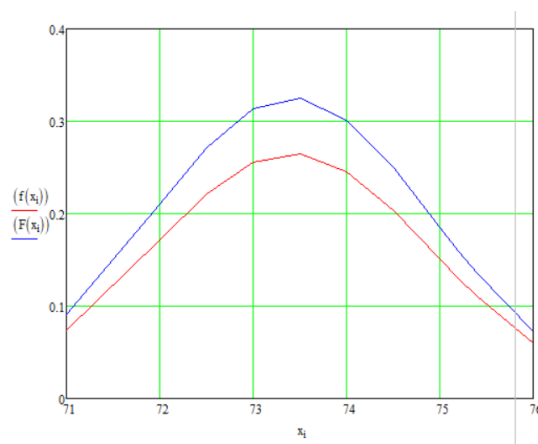
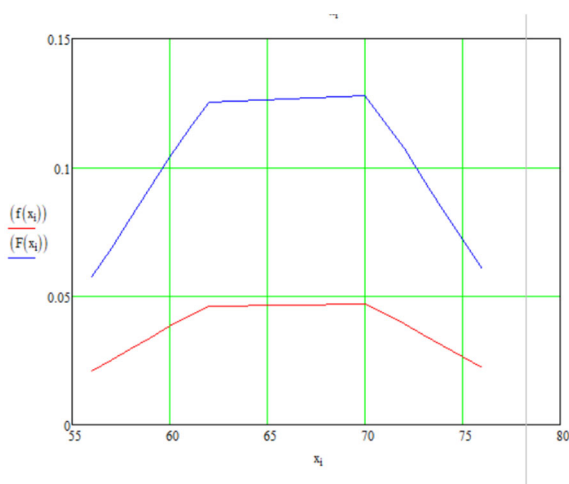


Рисунок А.13 - Залежність функцій  $(f(x))$  до  $(F(x))$  показнику ширини розсунутих ліктів людей віком 18-20+ років

Ймовірність попадання показників вимірювань ширини розсунутих ліктів людей віком 18-20+ років до 71 см в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань становить  $p=0,09$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 76 см становить  $p=0,073$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 71 до 76 см становить  $p=0.325$ .

Таблиця А.10 – Результати вимірювань ваги людей віком 18-20+ років

Середнє арифметичне відхилення ваги, кг	Кількість показників	Ймовірність
56	1	1/20
57	2	2/20
58	2	2/20
59	1	1/20
60	2	2/20
61	1	1/20
62	1	1/20
70	1	1/20
72	2	2/20
73	1	1/20
74	3	3/20
75	2	2/20
76	1	1/20

Рисунок А.14 - Залежність функцій  $f(x)$  до  $F(x)$  показнику ваги людей віком 18-20+ років

Ймовірність попадання показників вимірювань ваги людей віком 18-20+ років до 56 кг в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань становить  $p=0,057$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 76 кг становить

$p=0,061$ ; ймовірність попадання показників вимірювань від 56 до 76 кг становить  $p=0.128$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Ергономіка і технічна естетика» для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство / К.А. Зіборов, Т.О. Письменкова, О.М. Твердохліб, І.В. Вернер – Дніпро: НТУ «ДП», 2022. – 39 с.

### Додаток Б. Розрахунок стійки на перекидання

Центр мас (центр інерції) – це точка перетинання всіх ліній діючих сил, що спричиняють поступальний рух тіла.

Положення центр мас визначається радіус-вектором (Б.1):

$$\vec{R}_C = \frac{1}{M} \sum m_i \vec{r}_i, \quad (\text{Б.1})$$

де  $m_i$  і  $\vec{r}_i$  – маси та радіуси окремих тіл системи;

$M$  – загальна маса системи, що дорівнює сумі мас окремих тіл.

Координати центра мас визначають аналогічно (Б.2):

$$X_C = \frac{1}{M} \sum m_i x_i \quad Y_C = \frac{1}{M} \sum m_i y_i \quad Z_C = \frac{1}{M} \sum m_i z_i \quad (\text{Б.2})$$

Відповідно до виразу (Б.1), вектор швидкості руху центра мас системи  $\vec{V}_C = \dot{\vec{R}}_C$  виражається через швидкості окремих частин системи (Б.3):

$$\vec{V}_C = \frac{1}{M} \sum m_i \vec{v}_i \quad (\text{Б.3})$$

Рівняння руху центра мас (Б.4):

$$m a_C = \vec{F}_{\text{зовн}}, \quad (\text{Б.4})$$

де  $a_C$  – прискорення центра мас.

Отже, можна стверджувати, що центр мас довільної системи рухається, як матеріальна точка з масою всієї системи, до якої прикладені всі зовнішні сили, що діють на тіла системи. За відсутності зовнішніх сил, або при їхній компенсації прискорення  $\vec{a}_C = 0$ , то швидкість центра мас  $\vec{V}_C = const$ . Це значить, що внутрішні сили не впливають на положення та рух центра мас системи. [1]

У програмі Autodesk Fusion 360 під час моделювання і аналізу можна подивитися координати точки центра мас, а також її зміщення під дією зовнішніх сил.

Після знаходження центра мас необхідно провести розрахунок стійки на умову перевертання, щоб побачити, чи вистачить ваги стійки, довжини і ширини опори для уникнення перевертання під час користування. Для цього робимо схему діючих сил (рис. Б.1).

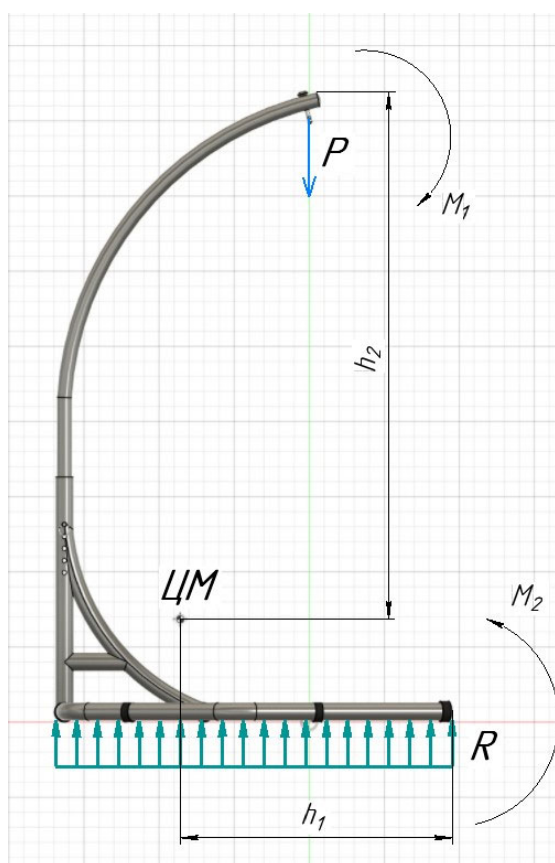


Рисунок Б.1 - Схема діючих сил для умови перевертання

Умова рівноваги стійки (Б.5):

$$P \cdot h_2 = h_1 \cdot R \quad (\text{Б.5})$$

Вихідні дані:

$R$  – вага (кг)+навантаження (кг) = 154 + 110 = 264 кг;

$h_2$  – висота від центру мас до верхівки ноги (змінюється): 1760 мм для максимальної висоти, 1600 мм для мінімальної висоти;

$h_1$  – довжина від центру мас до краю основи;

$P$  – силове навантаження: 110 кг.

Приймаємо, що  $R$  - рівномірно розподілене навантаження. Хоча на основу стійки одягаються спеціальні протиковзувальні силіконові накладки, їх товщина занадто мала (5 мм), що вважати їх окремими опорами для стійки, які можуть протидіяти силі  $P$ .

Метою задачі є знайти мінімальне значення довжини опори основи для кожного положення ноги стійки. Для розрахунку беремо максимальну і мінімальну висоту ноги. Формула виглядає так (Б.6):

$$h_1 = \frac{P \cdot h_2}{R} \quad (\text{Б.6})$$

Для максимальної висоти (Б.7):

$$h_1 = \frac{110 \cdot 1760}{264} = 733 \text{ мм} \quad (\text{Б.7})$$

Для мінімальної висоти (Б.8):

$$h_1 = \frac{110 \cdot 1600}{264} = 667 \text{ мм} \quad (\text{Б.8})$$

Фактична довжина від центра мас до краю опори становить 905 мм, що означає відповідність математичним розрахункам вище.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. ФІЗИКА. Вчимося розв'язувати задачі. "МЕХАНІКА". Компенсаційний курс [електронний ресурс] / Режим доступу: <http://physics.zfft.kpi.ua/mod/book/view.php?id=355&chapterid=337>

## Додаток В. Розрахунок пальця-штифта та зони регулювання висоти стійки на зріз та зминання

Зсувом (або зрізом) називається такий вид деформації, при якому в поперечних перерізах стержня виникає тільки поперечна сила  $F$ , а решта внутрішніх силових факторів дорівнює нулю. На практиці багато деталей конструкцій зазнають деформацій, близьких до деформації зсуву, і в таких випадках міцнісні розміри їх визначають із розрахунку на зсув (зріз).

Зминанням називається місцева деформація стиснення по майданчиках передачі тиску. Для простоти розрахунків вважають, що при контакті по площині виникають нормальні напруження зминання, рівномірно розподілені по площі контакту. Якщо деталі, що контактують виготовлені з різних матеріалів, то на зминання перевіряють деталь з більш м'якого матеріалу, тобто матеріал, що має меншу допустиме напруження [1].

Умова міцності при розрахунку на зминання має вигляд (В.1):

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{F}{A_{\text{зм}}} \leq [\sigma_{\text{зм}}], \quad (\text{В.1})$$

де  $F$  – стискаюча сила, Н;

$A_{\text{зм}}$  – площа контакту деталей, мм<sup>2</sup>;

$[\sigma_{\text{зм}}]$  – допустимі напруження на зминання, МПа.

Тому при розрахунку на зминання циліндричних отворів, в розрахункову формулу підставляють не площу бічної поверхні циліндра, а площу діаметрального перетину отвору (умовна площа зминання) (В.2):

$$A_{\text{зм}} = \delta \cdot d, \quad (\text{В.2})$$

де  $\delta$  – товщина деталі, що з'єднує, мм;

$d$  – діаметр отвору, мм;

Умова міцності при розрахунку на зріз має вигляд (В.3):

$$\tau_{зр} = \frac{F}{A_{зр}} \leq [\tau_{зр}], \quad (В.3)$$

де  $F$  – стискаюча сила, Н;

$A_{зр}$  – площа зрізу, мм<sup>2</sup>;

$[\tau_{зр}]$  – допустимі напруження зрізу, МПа.

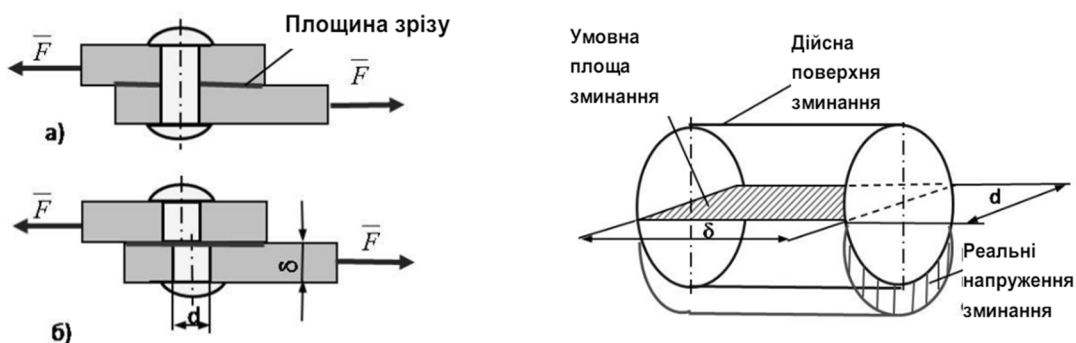


Рисунок В.1 - Схема зображення площини зрізу та змінання

Для розрахунку на змінання і зріз зони регулювання, що складається зі стрижнів ноги, основи і пальця-штифта, необхідно намалювати її схему (рис. В.2). Нехай стрижень ноги буде стрижнем 1, основи – стрижнем 2, пальця-штифта – стрижнем 3.

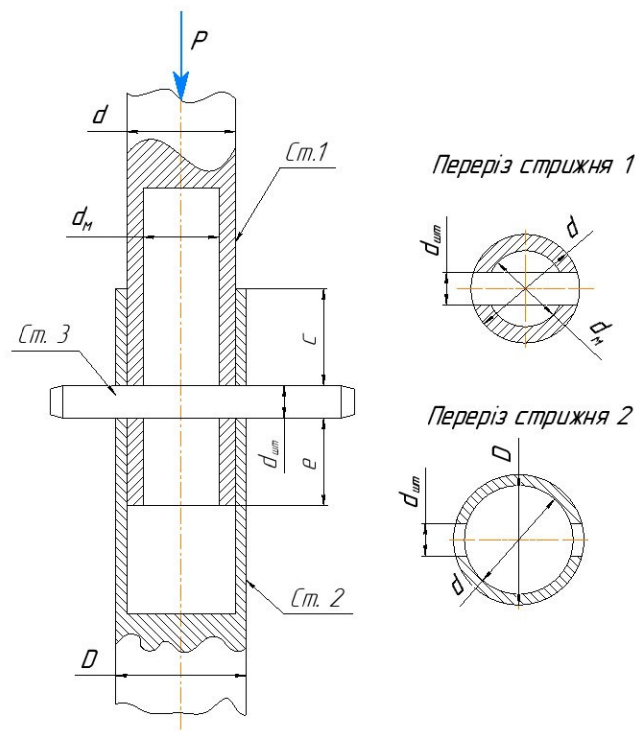


Рисунок В.2 - Схема зони регулювання висоти

Вихідні дані:

$$P = 280 \text{ Н}; \quad d_{\text{шт}} = 15 \text{ мм};$$

$$D = 60 \text{ мм}; \quad c = 150 \text{ мм};$$

$$d = 50 \text{ мм}; \quad e = 55 \text{ мм};$$

$$d_m = 35 \text{ мм};$$

$[\tau_{\text{зр}}]$  – допустима напруга на зріз для певного матеріалу;

$\tau_{\text{зр}}$  – напруга на зріз для штифта (умова міцності на зріз штифта);

$\sigma_T$  – границя текучості (плинності); для нержав.сталі AISI 321  $\sigma_{0,2} = 205 \text{ МПа}$ ;

для сталі ASTM A36  $\sigma_{0,2} = 250 \text{ МПа}$ ;

$\sigma_p$  – межа міцності на розрив; для нержав.сталі AISI 321  $\sigma_p = 515 \text{ МПа}$ ;

для сталі ASTM A36  $\sigma_p = 400\text{-}550 \text{ МПа}$ .

Матеріалом стрижня 3 є нержавіюча сталь AISI 321, а стрижня 1, 2 – сталь ASTM A36.

Умова міцності пальця-штифта на зріз (В.4, В.5):

$$\tau_{зр}^{шт} = \frac{P}{2 * \frac{\pi \cdot d_{шт}^2}{4}} \leq [\tau_{зр}] \quad (B.4)$$

$$\tau_{зр}^{шт} = \frac{280}{2 * \frac{3,14 \cdot 15^2}{4}} \approx 0,8 \text{ МПа} \quad (B.5)$$

У машинобудуванні під час розрахунків штифтів, болтів, шпонок тощо приймають [2] (В.6, В.7, В.8):

$$[\tau_{зр}] = (0,25 + 0,35) \cdot \sigma_T = (0,6 + 0,8) \cdot \sigma_p \quad (B.6)$$

$$[\tau_{зр}]_{шт} = (0,25 + 0,35) \cdot 205 = 123 \text{ МПа} \quad (B.7)$$

$$[\tau_{зр}]_{ст} = (0,25 + 0,35) \cdot 250 = 150 \text{ МПа} \quad (B.8)$$

Як видно з розрахунків, умова міцності на зріз виконується (В.9):

$$0,8 \text{ МПа} < 123 \text{ МПа} \quad (B.9)$$

Умова міцності стрижня 1 на зріз (В.10, В.11):

$$\tau_{зр}^{ст,1} = \frac{P}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_M^2}{4} - d_{шт} \cdot (d - d_M)} \leq [\tau_{зр}] \quad (B.10)$$

$$\tau_{зр}^{ст,1} = \frac{280}{\frac{3,14 \cdot 50^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 35^2}{4} - 15 \cdot (50 - 35)} \approx 0,36 \text{ МПа} < 150 \text{ МПа} \quad (B.11)$$

Умова міцності стрижня 2 на зріз (В.12, В.13):

$$\tau_{зр}^{ст,2} = \frac{P}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} - d_{шт} \cdot (D - d)} \leq [\tau_{зр}] \quad (В.12)$$

$$\tau_{зр}^{ст,2} = \frac{280}{\frac{3,14 \cdot 60^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 50^2}{4} - 15 \cdot (60 - 50)} \approx 0,4 \text{ МПа} < 150 \text{ МПа} \quad (В.13)$$

Умова міцності нижньої частини стрижня 1 на зріз (В.14, В.15):

$$\tau_{зр}^{н.ч.ст,1} = \frac{P}{2 \cdot e \cdot d} \leq [\tau_{зр}] \quad (В.14)$$

$$\tau_{зр}^{н.ч.ст,1} = \frac{280}{2 \cdot 55 \cdot 50} = 0,05 \text{ МПа} < 150 \text{ МПа} \quad (В.15)$$

Умова міцності верхньої частини стрижня 2 на зріз (В.16, В.17):

$$\tau_{зр}^{в.ч.ст,2} = \frac{P}{2 \cdot c \cdot (D - d)} \leq [\tau_{зр}] \quad (В.16)$$

$$\tau_{зр}^{в.ч.ст,2} = \frac{280}{2 \cdot 150 \cdot (60 - 50)} = 0,015 \text{ МПа} < 150 \text{ МПа} \quad (В.17)$$

Оскільки зминання – це деформація стиску, а стиск і розтяг є ідентичними, як і механічні характеристики дуже великої кількості пластичних конструкційних матеріалів. Їх описують одними й тими ж математичними залежностями й об'єднують як один вид: розтяг-стиск [3]. Тому приймаємо, що  $[\sigma_{зм}] = \sigma_T$ .

Тоді умова міцності на зминання стрижня 1 (В.18, В.19):

$$\sigma_{3M}^{ст.1} = \frac{P}{d_{шт} \cdot (d - d_M)} \leq [\sigma_{3M}] \quad (B.18)$$

$$\sigma_{3M}^{ст.1} = \frac{280}{15 \cdot (50 - 35)} = 1,24 \text{ МПа} < 250 \text{ МПа} \quad (B.19)$$

Умова міцності на зминання стрижня 2 (B.20, B.21):

$$\sigma_{3M}^{ст.2} = \frac{P}{d_{шт} \cdot (D - d)} \leq [\sigma_{3M}] \quad (B.20)$$

$$\sigma_{3M}^{ст.2} = \frac{280}{15 \cdot (60 - 50)} = 1,86 \text{ МПа} < 250 \text{ МПа} \quad (B.21)$$

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Практичні розрахунки на зріз та зминання. Методичні вказівки до практичного заняття з дисципліни «Інженерна механіка. Механіка матеріалів і конструкцій» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальностей 208 «Агроінженерія», 133 «Галузеве машинобудування» та 131 «Прикладна механіка» / Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного; уклад.: Л.Ю. Бондаренко, О.О.Вершков. – Мелітополь: 2020. – 24с.

2. Практичні розрахунки на зріз і зминання [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://naurok.com.ua/lekcijni-materiali-do-temi-praktichni-rozrahunki-na-zriz-ta-zminannya-233154.html>

3. Мильніков О.В. Опір матеріалів. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2010. – 257с.

### Додаток Г. Графік термомеханічної обробки заготовки пальця-штифта та виливків зі сталі ASTM A36 та AISI 321

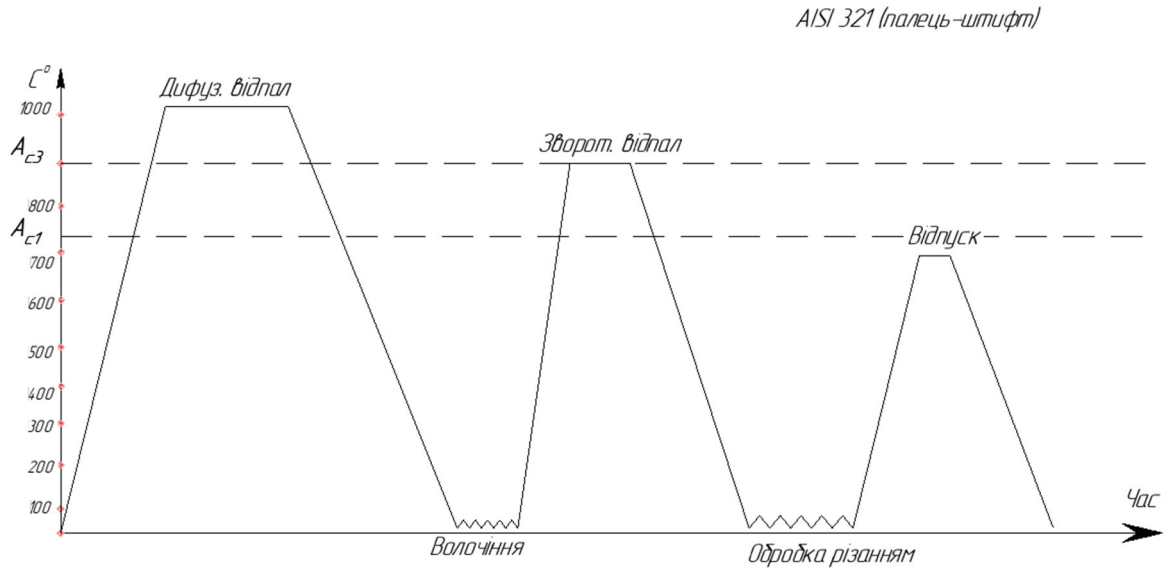


Рисунок Г.1 - Графік термомеханічної обробки сталі AISI 321 (палець-штифт)

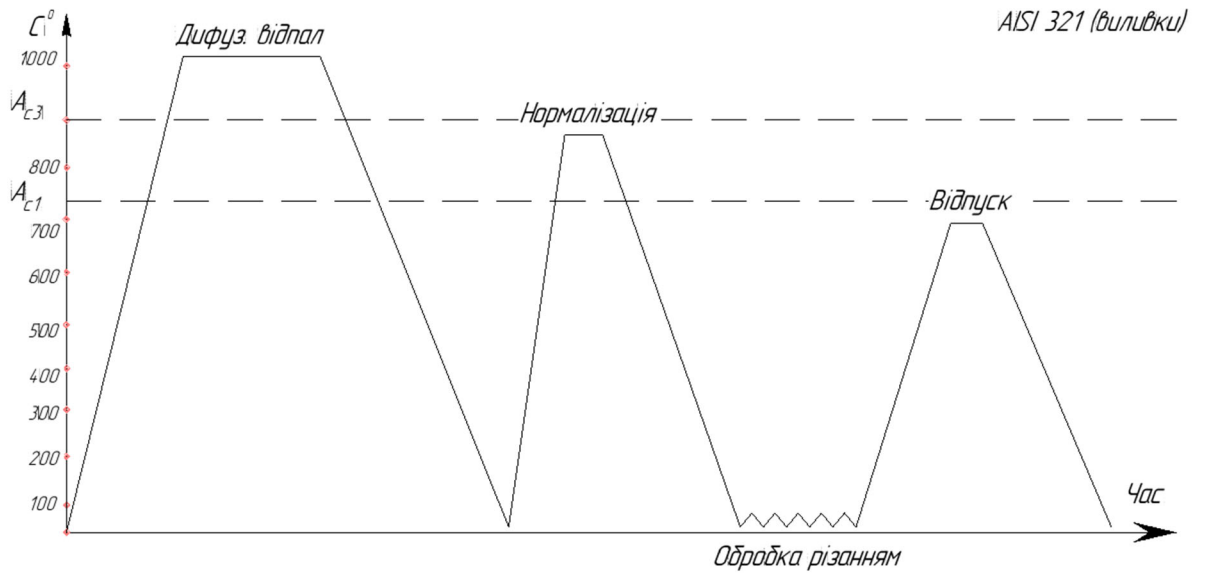


Рисунок Г.2 - Графік термомеханічної обробки сталі AISI 321 (виливки)

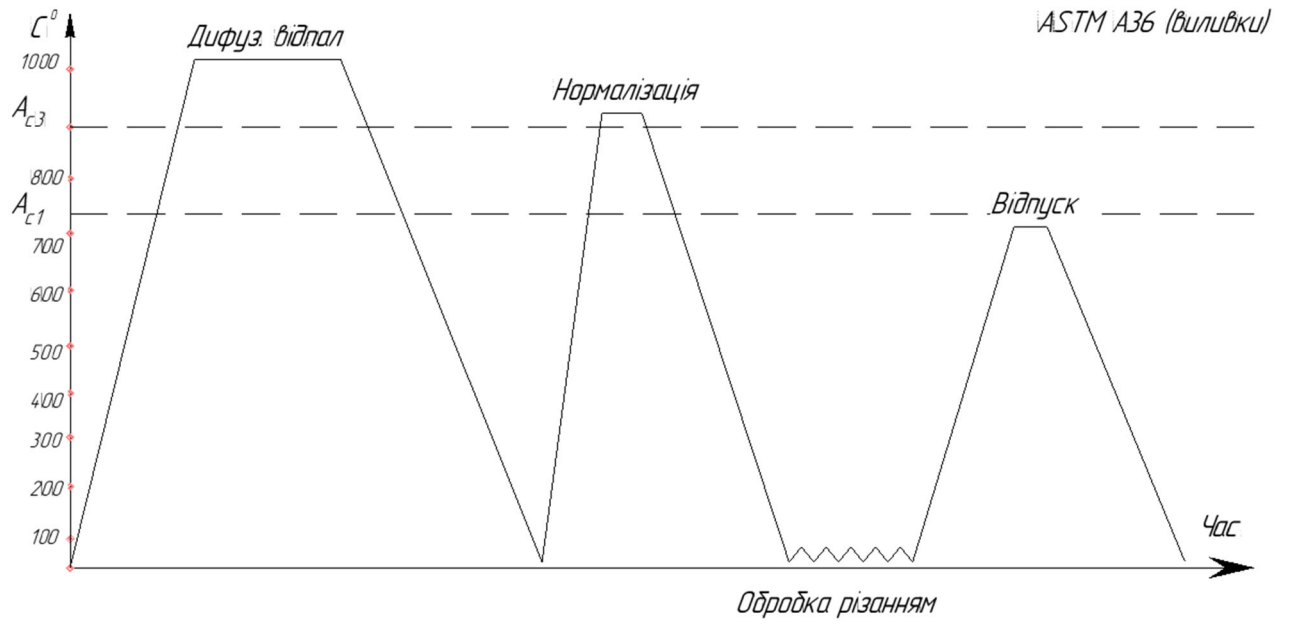


Рисунок Г.3 - Графік термомеханічної обробки сталі ASTM A36 (випливи)

## Додаток Д. Технічні характеристики приладів

Технічні характеристики використаного приладу для визначення адгезії та стійкості покриття дряпанням NOVOTEST Ц1-М [1] та вихрострумових товщиномірів SaluTron D4 та SaluTron D5 [2] представлені у таблицях Д.1 та Д.2.

Таблиця Д.1 - Технічні характеристики NOVOTEST Ц1-М

Характеристики приладу		
Габаритні розміри	480×130×150 мм	
Вага	Не більше 9 кг	
Кут нахилу індентора	45°	
Навантаження на індентор	від 0,05 до 10 кг	
Довжина ходу	Не менше 100 мм	
Довжина подряпини	Не менше 75 мм	
Умови експлуатації		
Температура навколишнього повітря	від -45 до +40 °С	
Відносна вологість повітря	до 80% при 25°С	
Атмосферний тиск	від 84 до 106,7 кПа	
Характеристики інденторів		
Тип індентора	U-подібний	Дисковий
Діаметр	-	6,5 ±0,1 мм
Радіус заокруглення	3,25 ± 0,05 мм	-
Довжина	20 мм	-
Товщина	1,6 мм	1,6 мм

Таблиця Д.2 - Технічні характеристики SaluTron D4 та SaluTron D5

Основа	SaluTron D4: сталь або чавун SaluTron D5: немагнітні метали, такі як цинк, мідь, латунь, алюміній, нержавіюча сталь
Безперервний діапазон вимірювання	0 - 5000 мкм
Відображення вимірних значень	0 - 999 в мкм, 1,00 - 5,00 в мм

## Продовження таблиці Д.2

<b>Результат</b>	0,1 мкм в діапазоні 0,0-99,9 мкм 1 мкм в діапазоні 100-999 мкм 0,01 мм в діапазоні 1,00-5,00 мм
<b>Точність</b>	± (1,5 мкм + 2%) від 0 - 999 мкм ± 3,5% від 1000 - 5000 мкм
<b>Мінімальний розмір об'єкта</b>	10 x 10 мм
<b>Мінімальна кривизна</b>	опуклий: 5 мм увігнутий: 30 мм
<b>Мінімальна товщина основи</b>	Fe: 0,20 мм NFe: 0,05 мм
<b>Температурний діапазон</b>	Зберігання: від -10°C до 60°C Експлуатація: від 0°C до 60°C
<b>Дисплей</b>	4-значний рідкокристалічний дисплей (LCD)
<b>Зонди</b>	Єдина точка
<b>Блок живлення</b>	9V E Block Alkali
<b>Габарити</b>	118 x 58 x 38 мм
<b>Вага</b>	прибл. 150 г вкл. акумулятор
<b>Пам'ять виміряних значень (тільки версія Plus)</b>	8192ти для збереження

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Прилад для визначення адгезії та стійкості покриттів до пошкодження дряпанням NOVOTEST Ц1-М [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://novotest.ua/ua/katalog-priborov/pribor-dlya-opredeleniya-adegezii-i-ustojchivosti-pokrytij-k-povrezhdeniyu-tsarapanem-novotest-ts1-m.html>

2. Coating thickness gauge SaluTron® D4 / D5 (plus). Non-destructive coating thickness measurement [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.salutron.de/en/coating-thickness-gauges/salutron-d4-d5/>

## Додаток Е. Правила експлуатації підвісного крісла

У кваліфікаційній роботі було складено список правил та рекомендацій з користування підвісним кріслом для його подовження терміну експлуатації, уникнення пошкоджень та несправностей:

- Підвісне крісло можуть встановлювати, збирати та регулювати тільки дорослі;
- Дітям рекомендується користуватися кріслом під наглядом дорослих;
- Перед збіркою та встановленням переконайтеся у цілісності та відсутності браку конструктивних елементів;
- Перед збіркою та встановленням підвісного крісла треба завчасно вибрати місце та переконатися, що навколо стійки буде вільне місце без твердих та гострих предметів;
- Збирайте відповідно до інструкції: спочатку встановлення основи, потім ноги стійки та пальця-штифта, а далі кріплення підвісу та вішання крісла-стільника;
- Регулювання висоти проводити відповідно до інструкції: витягнути з отвору палець-штифт, опустити чи підняти ногу стійки на потрібний рівень, встановити палець-штифт у потрібний отвір. Перед початком регулювання рекомендується зняти крісло з підвісу для полегшення процесу. Не регулювати висоту ноги, коли хтось сидить у кріслі;
- Не можна перевищувати допустиму вагу на крісло (100-110 кг), попри хороші міцнісні характеристики згідно розрахунку МСЕ стійки;
- Не можна сідати декільком людям на крісло, призначене для однієї людини;
- Перевищення місткості крісла, стрибки та активне розгойдування може призвести до зламу підвісу та падіння;
- Уникайте механічних пошкоджень корпусу з органічного скла. Не зважаючи на використання модифікованого на удар матеріалу, краще уникати ударів, оскільки при сильному ударі можуть утворитися мікротріщини;

- Уникайте контакту з вогнем корпусу з органічного скла;
- Регулярно перевіряйте кріплення та підвіс на ознаки зношення чи пошкоджень. Не використовуйте виріб, якщо його елементи погано закріплені;
- Обираючи підвіс (ланцюг, пружини, карабіни, мотузки), звертайте увагу на їх вантажопідйомність;
- При виявленні значних пошкоджень, не використовуйте підвісне крісло до завершення ремонтних робіт;
- Для уникнення намокання під час дощу м'якої подушки, накривайте корпус спеціальним водонепроникним чохлом (можна придбати у комплекті з кріслом). Теж саме рекомендується робити зі стійкою та підвісом. Якщо ж подушка намокла, необхідно її зняти на негайно просушити. Не зберігайте та не загартайте мокру подушку для уникнення появи цвілі та псування тканини та наповнювача;
- Не залишайте підвісне крісло на вулиці взимку. Зберігайте накритим чохлом або плівкою у сухому місці;
- Очищайте підвісне крісло без використання металевих щіток та жорстких губок через можливість утворення подряпин. Треба застосовувати м'які губки, тканеві серветки у комбінації з делікатними миючими засобами, що не нашкодять виробу;
- Поліефірна порошкова фарба потребує делікатного догляду. Очищати поверхню стійки необхідно м'якими миючими засобами та інструментами, для уникнення пошкодження покриття та утворення корозії металу;
- Режим прання подушки необхідно обирати згідно типу тканини та наповнювача;
- Транспортувати підвісне крісло необхідно до правил перевезення вантажів того транспорту, який обирається для цієї мети. Під час транспортування акриловий корпус та сталева стійка мають бути захищені від пошкоджень спеціальною плівкою;
- Не зберігайте та не транспортуйте елементи підвісного крісла разом з хімічними речовинами;

- Не модифікуйте та не ремонтуйте крісло самостійно, не маючи для цього необхідної кваліфікації. Скористайтеся допомогою фахівців або зверніться на місце виробництва для отримання послуг ремонту;
- Після закінчення терміну та зняття з експлуатації віддайте металеві та полімерні частини підвісного крісла на утилізацію та переробку. Для цього зверніться до установ та компаній, що надають відповідні послуги.