

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

Механіко-машинобудівний
(факультет)

Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну
(повна назва)

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

Студента Бологіна Єгора Андрійовича
(ПІБ)

академічної групи 132-20-2 ММФ
(шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(за наявності)

за освітньо-професійною програмою _____
(офіційна назва)

«Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»

на тему Обґрунтування матеріалу сходинки верхнього зчеплення вагонів
трамваю _____
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Ротт Н.О.			
розділів:				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Ротт Н.О.			
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Ротт Н.О.			
Інженерно-технологічний	Ротт Н.О.			
Експлуатаційний	Федоряченко С.О.			
Рецензент	Слупська Ю.С.			
Нормоконтролер	Гаркавенко Д.В.			

Дніпро
2024

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

Сергій ФЕДОРЯЧЕНКО

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2024 року

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

студенту Бологіну Єгору Андрійовичу 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 Обґрунтування матеріалу сходинки верхнього зчеплення вагонів трамваю затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30.04.2024р. №380-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Аналіз стану питання та постановка задач роботи	15.05.2024
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Виконання функціонального аналізу компонентів сходинки. Моделювання та використання МСЕ для подальшої оптимізації.	25.05.2024
Інженерно-технологічний	Обґрунтування вибору компонентів для заданого виробу з урахуванням перспективних технологій його виробництва	15.06.2024
Експлуатаційний	Визначення видів та методів контролю якості.	26.06.2024

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Наталія РОТТ

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 30.04.2024

Дата подання до екзаменаційної комісії 03.07.2024

Прийнято до виконання _____

Єгор БОЛОГІН

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 с., 55 рис., 8 табл., 11 джерел.

Об'єкт дослідження – розробка технічного рішення із впровадження допоміжної сходинок на верхньому зчепленні трамваю.

Мета роботи – обґрунтування влаштування допоміжної сходинок, яка розташована на верхньому зчепленні (артикуляції), для забезпечення зручного та безпечного переміщення працівника з одного даху вагону трамваю на інший під час його обслуговування.

Трамваї відрізняються від інших видів транспорту не лише за їхньою технологічною перевагою та недоліками, але й високою провізною здатністю, яка часто перевищує автобуси та тролейбуси. Це робить їх ефективним засобом масового транспорту, особливо в мегаполісах з великою кількістю пасажирів. Місткість трамвайного вагону зазвичай перевищує місткість автобусів та тролейбусів, забезпечуючи оптимальне використання міської інфраструктури. Велика місткість трамвая дозволяє заощадити час не лише пасажирам, а й усім учасникам дорожнього руху. Найменша завантаженість дороги сприяє покращенню пропускної спроможності та зменшенню автомобільних заторів, що особливо є цінним у великих містах із щільною дорожньою мережею.

Безпека під час обслуговування залізничного транспорту є надзвичайно важливою, оскільки це може бути небезпечно через потенційні ризики, пов'язані з електричними системами, великими частинами обладнання та іншими факторами. Деякі елементи безпеки, які допомагають персоналу при ремонті: поручні, сходинок, огороження та бар'єри, освітлення, технічні елементи безпеки.

У даній кваліфікаційній роботі обґрунтовано влаштування допоміжної сходинок, яка розташована на верхньому зчепленні та забезпечує зручне та безпечне переміщення працівника з одного даху вагону трамваю на інший під час його обслуговування. Основними аспектами цього дослідження є використання листового металу, технології його зварювання та ергономічні показники виробу.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ	
1.1 Різновиди залізничного транспорту	7
1.2 Аналіз експлуатаційних та споживчих характеристик трамваїв.....	8
1.3 Технічне обслуговування трамваю.....	9
1.4 Елементи безпеки під час обслуговування залізничного транспорту.....	11
1.5 Постановка задач дослідження.....	13
2 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ’ЄКТА РОЗРОБКИ	
2.1 Функціонально-вартісний аналіз.....	15
2.2 Підготовка до моделюванню сходинки.....	18
2.3 Моделювання сходинки.....	20
2.4 Дослідження міцнісних характеристик методом скінченних елементів....	30
2.5 Висновки за розділом.....	34
3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Етапи створення конструкції сходинки.....	35
3.2 Методи вирізання розгортки деталей.....	34
3.3 Згинання листового металу.....	41
3.4 Зварювання деталей.....	46
3.5 Висновки за розділом.....	50
4 ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	
4.1 Сертифікація та вимоги якості зварних швів.....	51
4.2 Дослідження методів контролю зварних швів.....	54
4.3 Контроль та випробування після зварювання.....	60
4.4 Технологія проведення досліджень зварних швів ультразвуковим методом контролю.....	6
1	
4.5 Висновки за розділом.....	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК	
ПОСИЛАНЬ.....	72

ВСТУП

Залізничний транспорт – це величезна мережа залізниць, що переплітається навколо світу, забезпечуючи надійний та ефективний спосіб пересування людей та вантажів. Створений у XIX столітті, залізничний транспорт став одним із найважливіших інженерних досягнень, що суттєво змінило карту світового транспортного сполучення. Одним із найхарактерніших та популярних видів залізничного транспорту є трамваї. Трамваї – це міські пасажирські транспортні засоби, які рухаються за допомогою залізничних колій, зазвичай по вулицях міст. Розглядаючи розвиток транспортних систем, трамваї відіграють ключову роль у забезпеченні доступності та зручності громадського транспорту для міського населення. Вони є не лише зручним та екологічно чистим засобом пересування.

Трамваї потребують постійного технічного обслуговування, включаючи перевірку та ремонт рухомих частин, систем електроживлення, гальмівної системи та інших складових. Це може вимагати залучення людей. Забезпечення їх безпеки під час обслуговування трамваїв є важливим аспектом забезпечення ефективної та безпечної експлуатації трамвайних систем.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та розробка допоміжної сходинки на верхньому зчепленні трамвая, для можливості безпечного переміщення дахом трамваю, під час його обслуговування.

У процесі підготовки роботи було проаналізовано та вивчено існуючі рішення, на основі чого розроблено та запропоновано альтернативний варіант сходинки, з урахуванням ергономіки, та сучасних тенденцій галузі.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ

1.1 Різновиди залізничного транспорту

Залізничний транспорт – це система перевезення вантажів та пасажирів, яка базується на використанні залізниць, колій та рухомого складу. Існує декілька різновидів залізничного транспорту.

1. Пасажирський залізничний транспорт, який орієнтований на перевезення пасажирів. Включає потяги різних типів, такі як приміські потяги, міжміські та міжнародні експреси, швидкісні поїзди тощо. Специфіка пасажирського залізничного транспорту полягає в зручності та безпеці подорожі на великі відстані, а також в можливості перевезення великої кількості пасажирів одночасно.

2. Вантажний залізничний транспорт – призначений для перевезення великих обсягів вантажів. Включає в себе різноманітні типи вантажних вагонів і потягів, які можуть перевозити важкі товари, зерно, нафтопродукти, контейнери та інші вантажі. Специфіка полягає в тому, що залізничний транспорт здатний перевозити великі обсяги товарів за короткий час, що робить його вигідним для промислових та логістичних компаній.

3. Високошвидкісний залізничний транспорт – характеризується великою швидкістю руху поїздів, що дозволяє пасажирам швидко переміщатися між великими містами. Специфіка високошвидкісного залізничного транспорту полягає в використанні спеціальних швидкісних магістралей та поїздів, які забезпечують безпеку та комфорт пасажирів при великих швидкостях руху.

4. Товарний залізничний транспорт слугує для перевезення вантажів, які не вимагають швидкості доставки, таких як важкі матеріали або великі вантажі, відповідно до їх власних графіків і потреб. Специфіка полягає в тому, що товарний залізничний транспорт є ефективним для перевезення великих обсягів вантажів на великі відстані, знижуючи витрати на логістику та експлуатацію.

Кожен з цих різновидів має свої переваги та недоліки і використовується в різних сферах економіки залежно від конкретних потреб і умов.

1.2 Аналіз експлуатаційних та споживчих характеристик трамваїв

Трамваї відрізняються від інших видів транспорту не лише за їхньою технологічною перевагою та недоліками, але й за високою провізною здатністю, яка часто перевищує автобуси та тролейбуси. Це робить їх ефективним засобом масового транспорту, особливо в мегаполісах з великою кількістю пасажирів. Місткість трамвайного вагону зазвичай перевищує місткість автобусів та тролейбусів, забезпечуючи оптимальне використання міської інфраструктури. Велика місткість трамвая дозволяє заощадити час не лише пасажиром, а й усім учасникам дорожнього руху. Найменша завантаженість дороги сприяє покращенню пропускнуєї спроможності та зменшенню автомобільних пробок, що особливо є цінним у великих містах із щільною дорожньою мережею.

З урахуванням оптимального завантаження, провізна здатність тролейбусів і автобусів зазвичай становить 3 – 4 тисячі пасажирів на годину. У той час як для трамваїв ця цифра сягає 7 тисяч пасажирів на годину, що є вражаючим показником для масового перевезення пасажирів у великих містах.

Трамваї, як правило, підходять для перевезення людей на середні та короткі відстані, але можуть бути неефективними для подолання довгих відстаней. Наприклад, якщо ви маєте дістатись іншого кінця міста, потрібно буде зробити кілька пересадок, щоб досягти мети. Це може значно затримати вас та призвести до незручностей. У таких ситуаціях автомобіль або таксі можуть бути кращим варіантом.

Проте, ефективність трамваю не залежить лише від їхньої провізної здатності. Вона також пов'язана з відношенням муніципальних влад та мешканців до громадського транспорту в цілому, а також з плануванням міської інфраструктури. Розвиток трамвайних маршрутів та їхнє включення у загальну систему транспорту може значно покращити мобільність мешканців та

зменшити навантаження на дорожню мережу. Тому важливо розглядати трамваї не лише як засіб пересування, але й як ключовий елемент міської інфраструктури, спрямований на поліпшення якості життя великих міст.



Рисунок 1.1 – Дах трамваю

1.3. Технічне обслуговування трамваю

Відповідно до наказу Міністерства Інфраструктури України «Про затвердження Правил експлуатації трамвая і тролейбуса», технічне обслуговування виконують з метою забезпечення належного технічного, санітарного та естетичного стану рухомого складу для надання безпечних, безперервних та комфортних транспортних послуг. Ремонт рухомого складу виконують для відновлення технічного ресурсу рухомого складу та його складових [1].

Технічне обслуговування трамваїв включає в себе ряд рутинних та планових процедур, спрямованих на забезпечення безперервної роботи

транспортних засобів. Основні види технічного обслуговування трамваїв включають:

1. Планове технічне обслуговування (ПТО) – регулярні перевірки, які виконуються згідно з розкладом або певними інтервалами. ПТО включає в себе огляд систем трамваю, заміну мастил і фільтрів, перевірку стану гальм і інших важливих компонентів.

2. Поточний ремонт – відновлювальні роботи, які виконуються для виправлення невеликих поломок або проблем, які виявлені під час роботи трамвая. Це може включати в себе заміну деяких деталей, налаштування систем або виправлення дрібних дефектів.

3. Технічне обслуговування за результатами експлуатації (ТОРЕ) – обслуговування, яке виконується на основі результатів моніторингу і аналізу роботи трамваю під час експлуатації. Це може включати в себе аналіз параметрів роботи двигуна, вимірювання зносу деталей і компонентів, а також виявлення будь-яких потенційних проблем.

4. Капітальний ремонт – серйозні ремонтні роботи, які виконуються для відновлення трамваю до оптимального робочого стану. Це може включати в себе розбирання і заміну головних систем, перевірку і відновлення кузова, заміну електричних дротів і т.д.

5. Підготовка до зимової експлуатації – спеціальні заходи, які виконуються перед початком холодної пори року, для забезпечення надійної роботи трамваю в умовах низьких температур і снігопадів. Це може включати в себе обробку антикорозійними засобами, перевірку систем опалення і громадського забезпечення, а також заміну або підготовку колісних пар для покращеної тяги на засніжених ділянках.

Ці види технічного обслуговування допомагають підтримувати безпеку, надійність і тривалість служби трамваїв.

1.4 Елементи безпеки під час обслуговування залізничного транспорту

Безпека під час обслуговування залізничного транспорту є надзвичайно важливою, оскільки це може бути небезпечно через потенційні ризики, пов'язані з електричними системами, великими частинами обладнання та іншими факторами. Деякі елементи безпеки, які допомагають персоналу при ремонті: поручні, сходи, огороження та бар'єри, освітлення, технічні елементи безпеки.

Ці елементи безпеки допомагають персоналу здійснювати обслуговування безпечно та ефективно.

Установка поручнів у зручних місцях може допомогти персоналу утримуватися та рухатися безпечно під час обслуговування трамваю, особливо на висоті або на виступах (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Поручні на локомотиві

Встановлення бар'єрів та огорожень може допомогти уникнути падіння обладнання або інших предметів на персонал чи забезпечити захист від електричних систем.

Деякі трамваї можуть мати вбудовані системи безпеки, такі як автоматичні вимикачі, системи автоматичного гальмування тощо, які допомагають уникнути аварійних ситуацій під час обслуговування (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Важіль аварійного гальмування

Розміщення знаків та інструкцій щодо безпеки на видимих місцях нагадує персоналу про потенційні небезпеки та надає вказівки щодо правильних процедур безпеки.

Наявність сходинок для зручного доступу до різних частин трамвая дозволяє персоналу безпечно пересуватися по ньому під час обслуговування та ремонту. Сходинки надають персоналу зручний доступ до різних частин трамвая, таких як моторний відсік, секції для пасажирів, електричні пульти, верхнє та нижнє зчеплення та інші важливі вузли транспортного засобу. Це дозволяє оперативно проводити необхідні інспекції та ремонтні роботи.

Сходинки також забезпечує комфорт для персоналу, оскільки вони дозволяють людині легко пересуватись трамваем без необхідності підніматися або спускатися по неприступних місцях.

У даній кваліфікаційній роботі обґрунтовано влаштування допоміжної сходинки, яка розташована на верхньому зчепленні (артикуляції), забезпечуючи зручне та безпечне переміщення працівника з одного даху вагону трамвая на

інший під час його обслуговування. Основними аспектами цього дослідження є використання листового металу, технології його зварювання та ергономічні показники виробу.

Згинання листового металу є ефективним і економічним способом для створення деталей сходинки. Цей процес дозволяє отримати необхідну форму та структуру елементів конструкції з високою точністю. Крім того, лазерна різка металу відкриває можливості для створення заготовок різних форм і розмірів, що сприяє більшій гнучкості та індивідуалізації проєкту.

Дослідження ергономічних показників виробу є важливим аспектом процесу проєктування. Сходинка повинна бути зручною та безпечною для використання працівниками будь-якої фізичної статури.

Враховуючи вищезазначені аспекти, розробка допоміжної сходинки для трамвайного вагону буде здійснена з використанням сучасних технологій та матеріалів з урахуванням вимог ергономіки та безпеки.

1.5 Постановка задач дослідження

Для забезпечення безпечного пересування обслуговуючого персоналу по даху трамваю, необхідно провести визначення початкових умов навантаження та обґрунтувати можливості використання стійких до корозії матеріалів, враховуючи технологічний процес виготовлення.

Для досягнення цієї мети були сформульовані наступні завдання, які були вирішені у кваліфікаційній роботі:

1. Визначення технічних вимог, зокрема щодо максимального навантаження, розмірів, матеріалів та конструкційної міцності.
2. Розробка оптимального дизайну сходинки, який враховує вимоги щодо ергономіки, зручності та безпеки для обслуговуючого персоналу.
3. Аналіз можливих матеріалів для виготовлення сходинки з урахуванням їхньої міцності, довговічності та стійкості до корозії.
4. Проведення інженерних розрахунків на міцність та навантаження сходинки для перевірки її відповідності стандартам безпеки.
5. Розгляд процесу сертифікації зварних з'єднань та стандартів.

РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ

2.1 Функціонально-вартісний аналіз

Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) допоміжної сходинок для обслуговуючого персоналу між вагонами трамваю є важливим етапом при проектуванні та оцінці ефективності цього елементу системи транспорту. ФВА допомагає розглянути функції, які виконує сходинок, в контексті їх вартості, забезпечуючи баланс між функціональністю та економічністю. У даній роботі було розглянуто наступні функції сходинок:

- забезпечення безпечного доступу до верхнього зчеплення трамваю персоналу під час обслуговування;
- стабільність, тобто стійкість, щоб обслуговуючий персонал міг стояти на ній без ризику падіння;
- легкість в монтажі та демонтажі для зручності заміни та обслуговування;
- довговічність та міцність при навантаженні та умові експлуатації протягом тривалого періоду;
- ефективне використання матеріалів та способу виготовлення з урахуванням експлуатаційних вимог та навантаження.

Для кращого розуміння та простішого сприйняття механізму медичного турнікету, який використовувався у цьому дослідженні, ми розділили його на окремі частини, кожна з яких виконує певну функцію. Цей підхід дозволив нам зосередитись на аналізі та оцінці кожного елементу, а також з'ясувати, як вони взаємодіють для забезпечення оптимальної роботи турнікету.

Проаналізовано функції кожного елементу, щоб визначити їхню роль у конструкції сходинок. Для цього створена таблиця (табл. 2.1), в якій вказано основні функції кожного елементу. Це дає змогу з'ясувати, які елементи відповідають за різні аспекти конструкції, такі як безпека та зручність

використання. Також було проведено оцінку ефективності кожного елемента з метою визначення їхнього впливу на загальну роботу турнікету (табл. 2.2).

За результатами даних таблиць 2.1 і 2.2 було обґрунтовано важливість кожного елемента сходинки у її загальному функціонуванні, а також отримано інформацію для подальшого розвитку та оптимізації конструкції, забезпечуючи його високу надійність.

Таблиця 2.1 – Опис функцій сходинки

Елементи		Функція	
Позначення	Назва	Позначення	Опис
E0	Тіло сходинки	Ф0.1	Забезпечує жорсткість конструкції
		Ф0.2	Має отвори для кріплення
E1	Бокові бортики	Ф1	Попереджає заїждження ноги з краю сходинки
E2	Перфорація	Ф2.1	Обмежує ковзання ноги поверхнею сходинки
		Ф2.2	Виключає вірогідність накопичування рідини на поверхні сходинки
E3	Ребра жорсткості	Ф3	Посилення конструкції

Таблиця 2.2 – Оцінка ефективності елементів

Елементи	Функція	Значимість, %	Вартість, %	Ефективність
Тіло сходинки	Ф0	35	30	1,16
Бокові бортики	Ф1	20	10	2
Перфорація	Ф2	30	40	0,75
Ребра жорсткості	Ф3	25	20	1,25

Конструкція була розбита на окремі частини, кожна з яких виконує власну функцію. Були проведені аналіз функцій (табл. 2.1) та оцінка ефективності елементів (табл. 2.2).

Тіло сходинок – конструкція тіла допоміжної сходинок повинна бути розрахована на тривалий термін служби та надійно працювати протягом усього цього часу. Повинна забезпечувати стійкість та міцність конструкції.

Бокові бортики створюють бар'єр, що містить простір сходинок, і мають за мету запобігти випадковому з'їзду ноги персоналу за межі сходинок. Це допомагає уникнути травм та інцидентів.

Перфорація – перфорація згори (верхньої частини) допоміжної сходинок дозволяє воді швидше стікати з поверхні. Це особливо важливо в умовах дощу або снігопаду, коли поверхня стає слизькою і небезпечною для ходьби. Завдяки перфорації вода може легше відводитися через отвори. Отвори, створені за допомогою штампування, забезпечують додаткове зчеплення між взуттям та сходиною. Це створює більше зчеплення між взуттям і сходиною, що підвищує стабільність під час руху сходиною.

Форма. Вибір форми сходинок у вигляді трапеції є обґрунтованим з точки зору безпеки та функціональності. Така форма дозволяє уникнути колізії між сходиною та вагоном під час його повороту. При повороті вагона трапеція створює додатковий простір, що дозволяє сходиці вільно проходити поруч з ним без ризику зіткнення або перешкоджання руху.

Матеріал. Було обрано листи товщиною 3мм з нержавіючої сталі 12Х13 тому що, сталь 12Х13, (аналоги даної сталі 316 або AISI 316), відома своєю високою стійкістю до корозії. Хімічний склад сталі 12Х13 наведено в таблиці 2.3 [7]. Це особливо важливо тому що, сходинок може піддаватись впливу вологи. Ця сталь також легко піддається обробці та формуванню, що дозволяє створювати сходинок різних форм і розмірів без значного зусилля. Це особливо важливо, тому, що деталі для сходинок будуть вироблятися шляхом згинання металу.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад в % матеріалу 12Х13

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
0.09-0.15	до 0.6	до 0.6	до 0.6	до 0.025	до 0.03	12-14

2.2 Підготовка до моделюванню сходинок

Розміри чоловічого взуття охоплюють діапазон від 39 до 50 та вище, з середнім значенням на рівні 43. Ураховуючи основні параметри такого взуття, виявлено, що середня довжина підошви робочого чобота становить 300 мм, тоді як ширина в найширшому місці складає 99 мм (рис. 2.1).

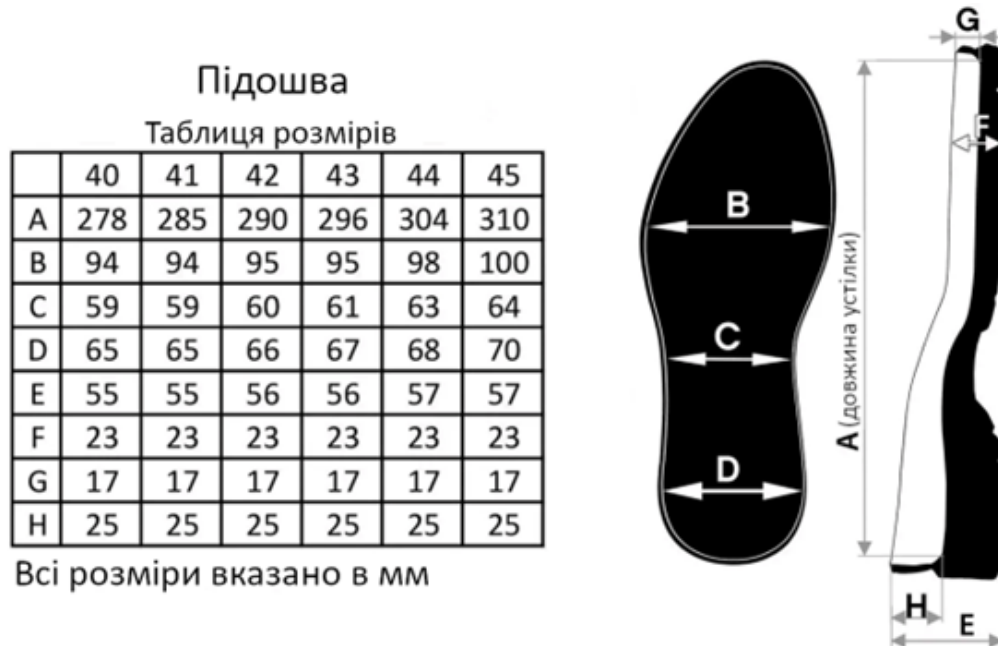


Рисунок 2.1 – Таблиця розмірів підошви чоловічого взуття

Враховуючи ці параметри, а також важливість забезпечення комфорту та безпеки при використанні, розміри сходинки рекомендується встановлювати на рівні 200 мм у ширину та 380 мм у довжину. Такий підхід сприяє оптимальній підтримці стопи, забезпечує стабільність та зручність під час встановлення ноги на сходинку.

При згинанні деталей, згин ділиться на два шари лінією, що їх розділяє – нейтральною лінією (рис. 2.2). З кожного боку відбуваються різні фізичні процеси. «Всередині» матеріал стискається, «зовні» – витягується. Кожен тип металу має різні значення навантажень, які можуть сприймати при стисканні чи розтягуванні.

Процес згинання металу подовжує матеріал. Це означає, що нейтральна лінія або вісь, насправді не посередині матеріалу. Але плоска деталь має бути

сформована відповідно до нейтральної лінії. І для визначення її місцезнаходження потрібен коефіцієнт k , який в подальшому дозволить зробити правильну розгортку деталі [3].

Коефіцієнт k визначається за формулою:

$$k = 0.65 + 0.5 \log \frac{ir}{t} = 0,5 \quad (2.1)$$

де ir – внутрішній радіус (мм), t – товщина листа (мм).

Для цієї моделі було обрано товщину листового металу – 3мм, радіус згину – 12мм

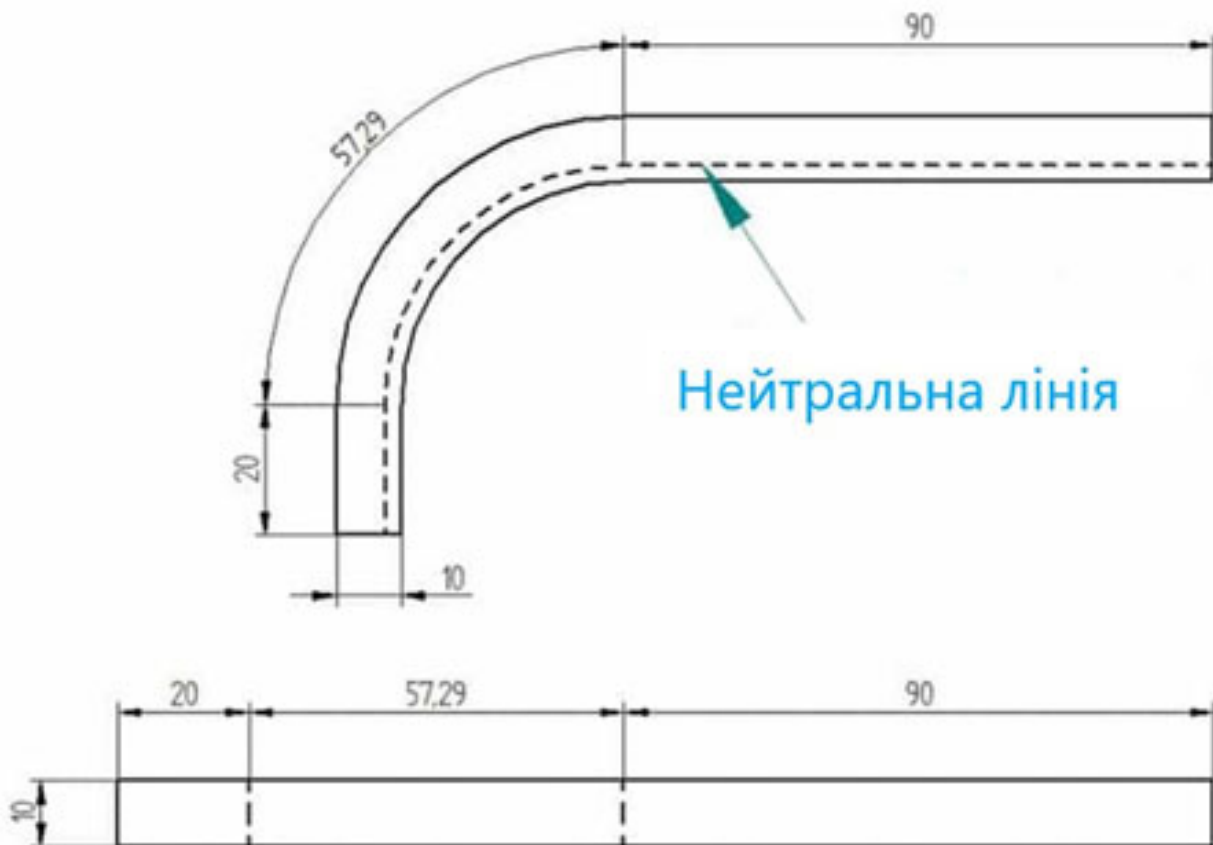


Рисунок 2.2 – Зображення нейтральної лінії

2.3 Моделювання сходинок

Для коректного оцінювання характеристик сходинок потрібно виконати моделювання та розрахунки експлуатаційних навантажень.

Для моделювання було використане спеціалізоване програмне забезпечення для проєктування та моделювання 3D об'єктів і механізмів Autodesk Inventor. Програма дозволяє створювати 3D-моделі деталей з різноманітними геометричними формами та складностями. Це може бути від простих деталей до складних механізмів. Також, програма проводить аналіз напружень, деформацій та інших механічних характеристик деталей та збірок. Це допомагає виявляти потенційні проблеми та оптимізувати конструкцію. Autodesk Inventor також має розширені можливості для роботи з листовим металом, що дозволяє проєктувати та моделювати складні листові деталі та конструкції.

На основі вихідних даних про розміри подошви чоловічого чобота, були розроблені 3D-моделі деталей та збірка сходинок. Нижче викладено процес моделювання задньої пластини сходинок.

Раніше знайдений коефіцієнт k , вносимо в конфігурацію листової моделі, та задаємо матеріал деталі (нержавіюча сталь 12X13), параметри якої було внесено до бази матеріалів програми (рис. 2.3) [3].

Спочатку, за двомірним ескізом операцією Flange (Фланець), на висоту 135мм та товщиною 3мм, створено початковий профіль деталі (рис. 2.4).

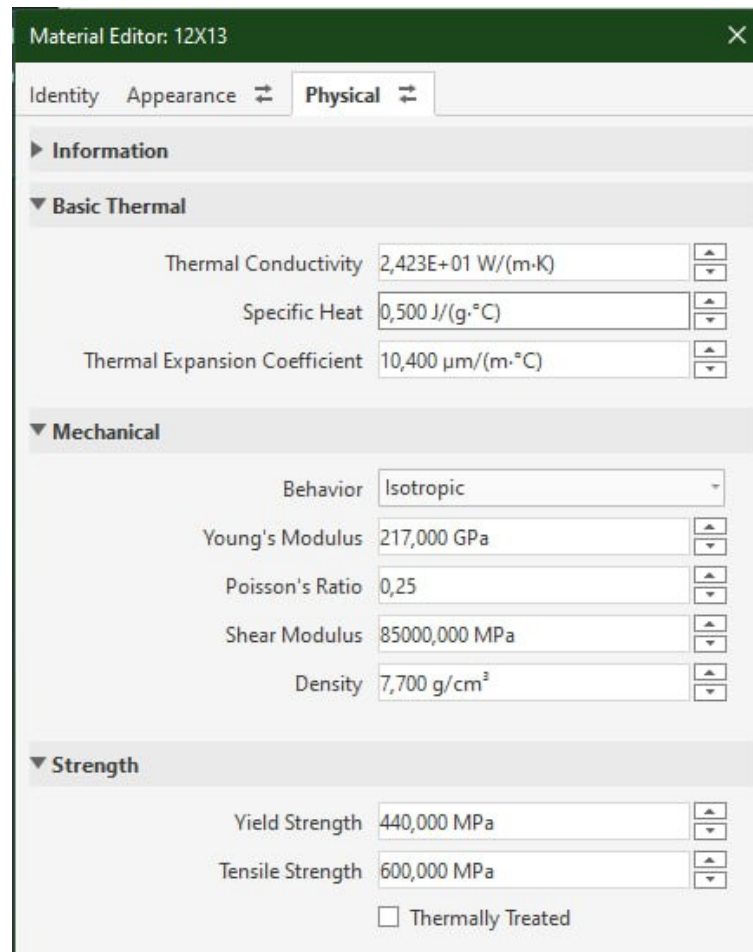


Рисунок 2.3 – Фізичні та механічні властивості сталі 12X13

Додання конструкційних вирізів знизу та згори деталі, які формують конструкційні отвори, не лише допомагає уникнути колізії з верхнім зчепленням, але й виступають як орієнтувальні елементи, сприяючи розумінню процесу монтажу деталі.

Боковий бортик висотою 15 мм. Цей елемент обмежує простір, в який може вступити людина своєю ногою, запобігаючи випадковому зсуву вліво або вправо відносно тіла. Такий підхід вирішує потенційні ризики травматизму та забезпечує стабільність під час використання сходинки.

Наприкінці, додавши чотири отвори діаметром 11 мм для кріплення сходинки за допомогою болтів M10, ми забезпечуємо надійну та стійку фіксацію конструкції на верхньому зчепленні вагонів. (рис. 2.5).

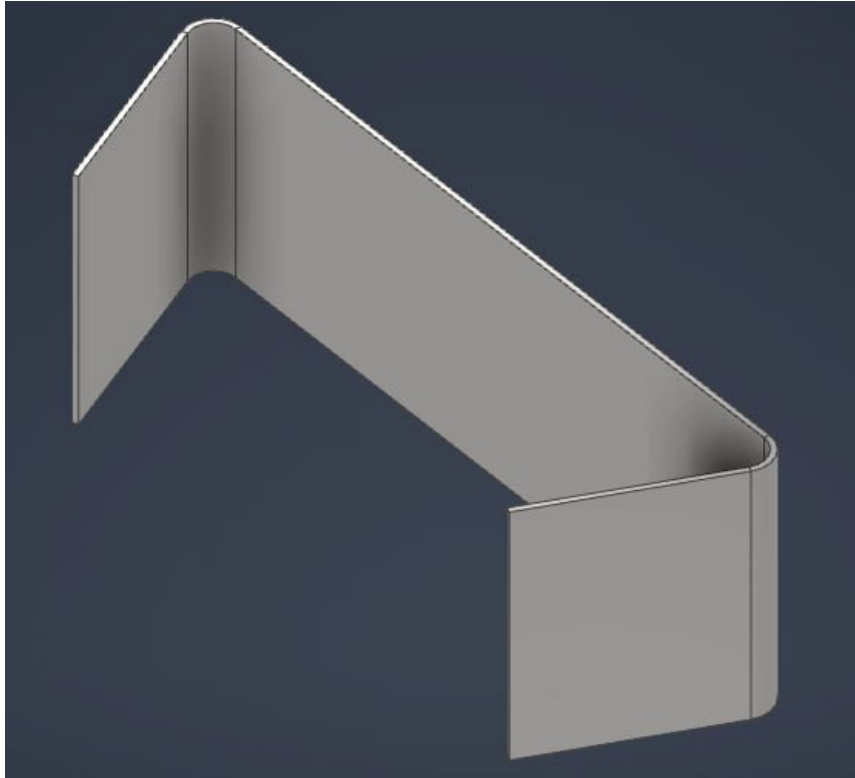


Рисунок 2.4 – Операція Flange (Фланець)

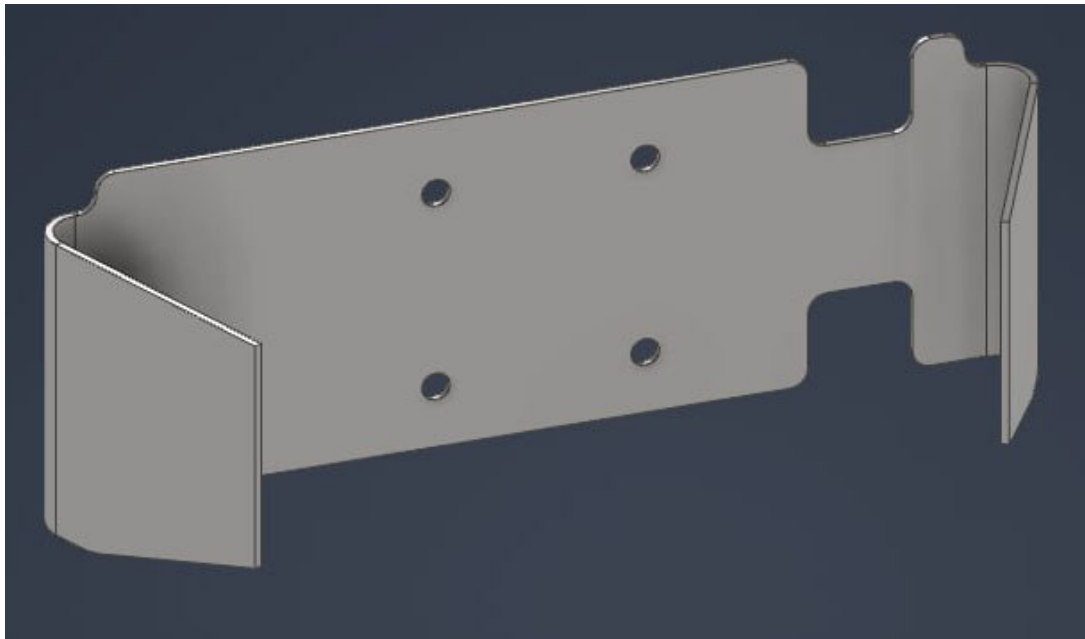


Рисунок 2.5 – Створення конструкційних отворів, бортика та кріпильних отворів під болти шляхом вирізання

Продовжуючи розвиток конструкції, була створена передня пластина, що завершує трапецеподібну форму сходинок. Ця пластина доповнює естетичний вигляд конструкції та забезпечує закінчення сходинок з функціональною метою.

Подібно до задньої пластини, був створений початковий профіль передньої пластини. Він враховує геометричні особливості сходинок та відповідає вимогам щодо міцності та стабільності конструкції.

Для забезпечення безпеки, був вирізаний боковий бортик висотою 15 мм, а також продовження похилої форми з задньої пластини. Ці заходи не лише додають до структури сходинок естетичний елемент, а й забезпечують додаткову безпеку та стійкість при її використанні (рис. 2.6).

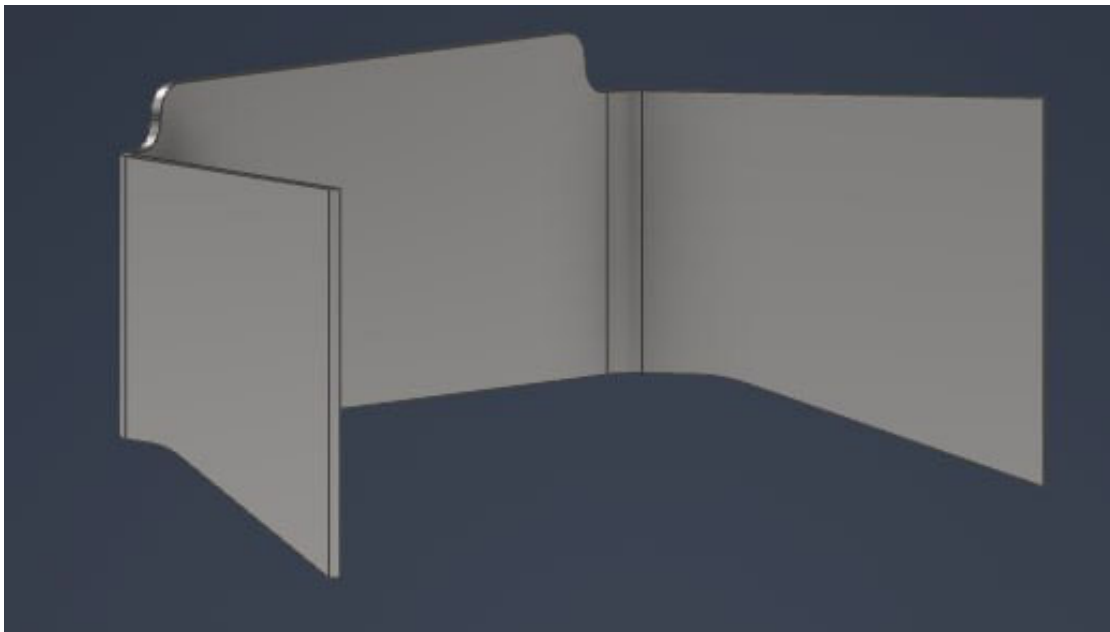


Рисунок 2.6 – Модель передньої пластини сходинок

Далі було створено верхню пластину сходинок, елементи якої вже виконуються не в процесі згинання, а штампу.

Спочатку створено трапецеподібну пластину за раніше визначеними габаритами, шириною 200мм та довжиною 380мм (рис. 2.7).

Додатково до конструкційних елементів, описаних раніше, було створено отвір-заготівку діаметром 24 мм, призначений для встановлення штампованого

елемента. Цей елемент відіграє ключову роль у підвищенні зчеплення поверхні сходинки з підошвою і сприяє забезпеченню більшої стійкості та безпеки під час користування.

Профіль штампованого отвору був створений операцією обертання. Висота профілю складає 2 мм, що відповідає вимогам проекту та забезпечує оптимальне функціонування штампованого елемента (рис 2.8 – 2.9).

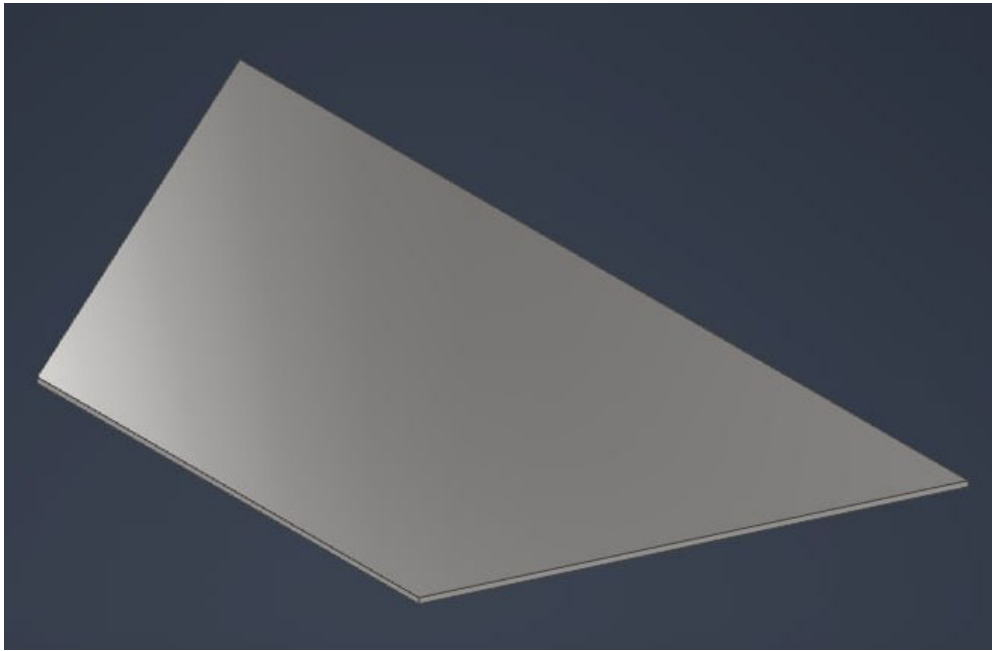


Рисунок 2.7 – Верхня пластина



Рисунок 2.8 – Профіль штампованого отвору

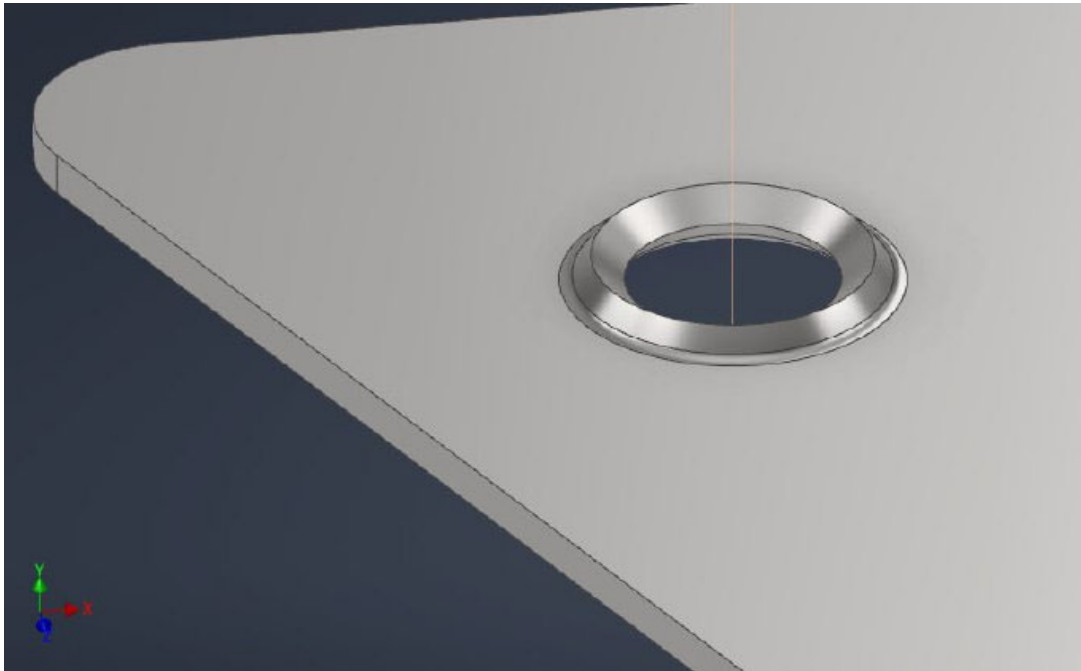


Рисунок 2.9 – Готовий штампований отвір

Після створення отвору-заготівки для штампованого елемента, використовуючи операцію Array (Масив), було здійснено копіювання цього елемента по горизонталі та вертикалі з кроком 43 мм. Цей процес дозволяє збільшити кількість штампованих елементів на поверхні сходинок, забезпечуючи більше точок контакту з підшвою. (рис. 2.10).

Метод Array (Масив) дозволяє ефективно копіювати та розташовувати елементи в заданому порядку, забезпечуючи регулярний розміщення зазначеним кроком. За допомогою цієї операції копіювання, було забезпечено розміщення штампованих елементів у відповідності з геометричними вимогами проекту.



Рисунок 2.10 – Сходінка зі штампованими отворами

Наприкінці, також за допомогою масиву, додано дренажні отвори, які унеможливають скупчення води на поверхні сходінки. Після цього, моделювання верхньої платини завершено (рис. 2.11).

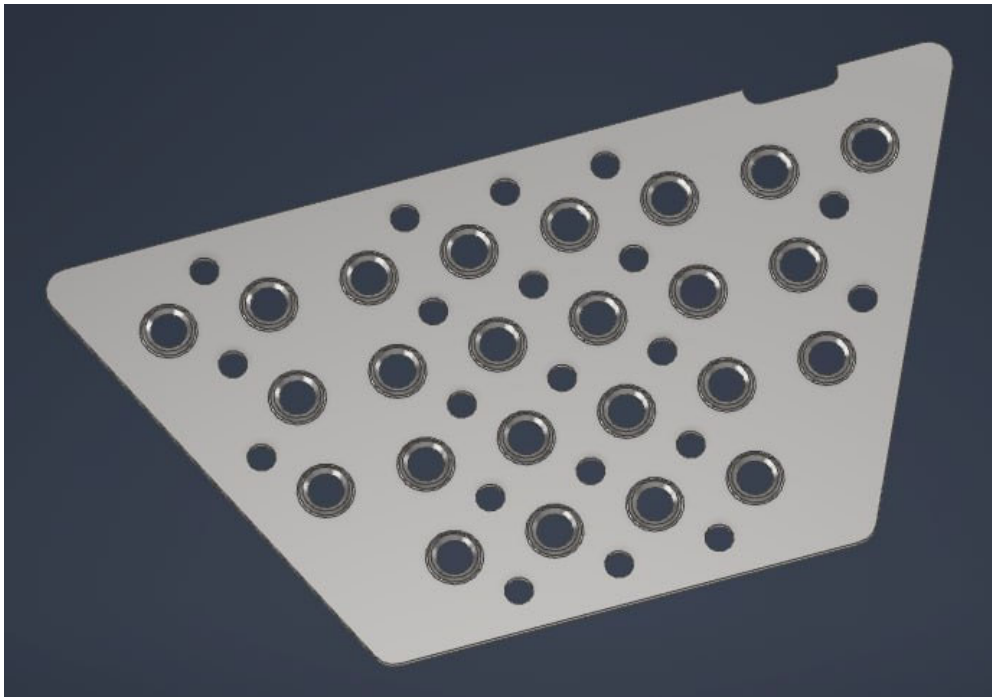


Рисунок 2.11 – Модель верхньої пластини

Останніми, але не менш важливим елементами є ребра жорсткості, які істотно посилюють конструкцію і дозволяють сходам витримувати більші навантаження (рис. 2.12).

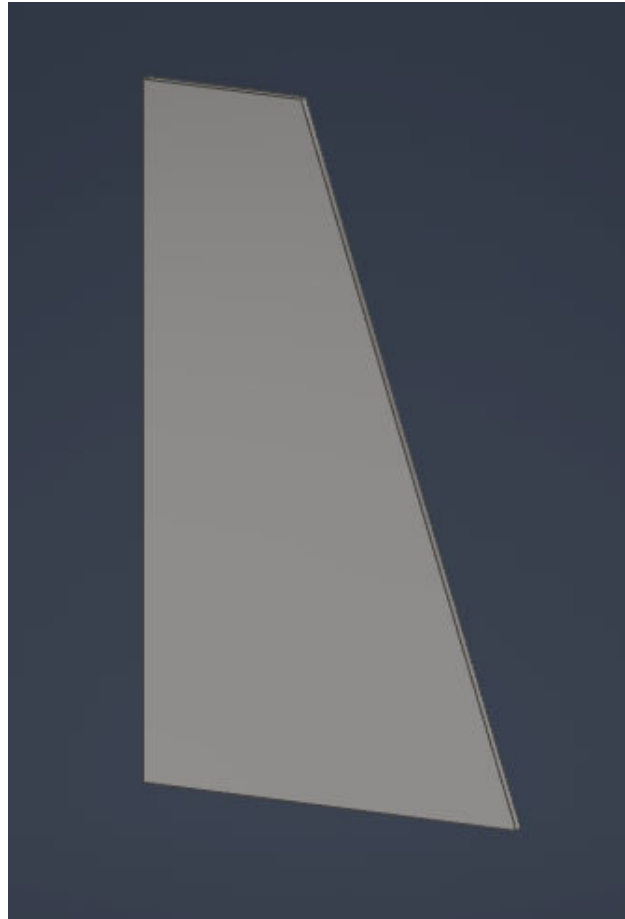


Рисунок 2.12 – Ребро жорсткості

Після моделювання всіх деталей і створення моделі збірки ви наклали залежності між її частинами. Це важливий крок для подальшого аналізу міцності конструкції сходинок. Залежності між частинами моделі збірки дозволяють точніше врахувати взаємодію між ними при аналізі міцності (рис. 2.13).

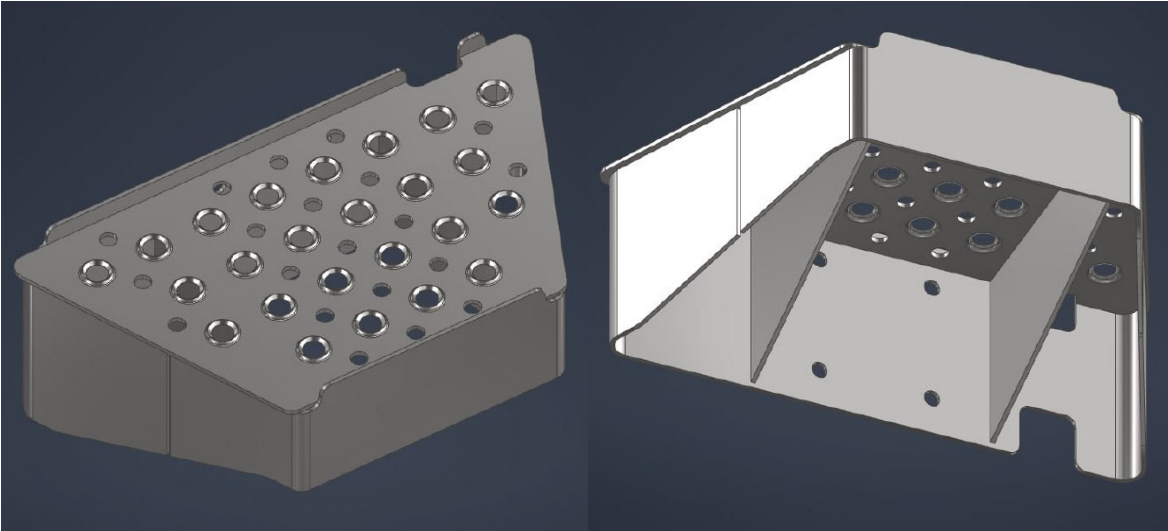


Рисунок 2.13 – Збірка сходинки

Конструкція, яка складається з зварних з'єднань, вимагає докладного розрахунку і вибору правильних параметрів для забезпечення міцності та надійності з'єднань. Вибір присадочного матеріалу, такого як нержавіючі зварювальні прутки 308LSI, відповідає вимогам конструкції щодо корозійної стійкості та міцності (рис. 2.14) [6].

Стосовно зварних швів, для з'єднання передньої та задньої пластин було використано стиковий шов. Ширина дорівнює 3мм, а глибина провару шва – 1,5мм. Для інших деталей було використано кутовий шов розміром a2 (рис. 2.15).

Усі ці деталі допомагають забезпечити оптимальну міцність та надійність конструкції сходинки і враховують особливості її експлуатації та середовища, в якому вона буде використовуватися.

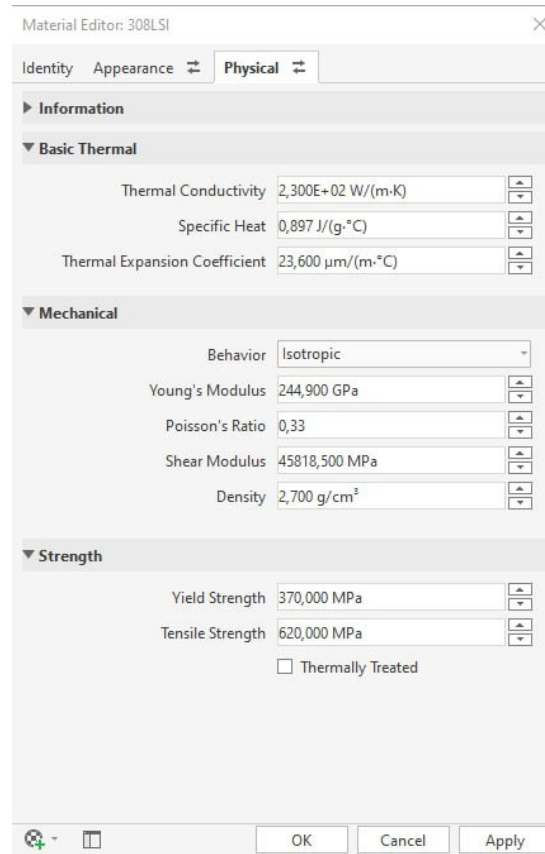


Рисунок 2.14 – Механічні характеристики зварювального дроту 308LSI

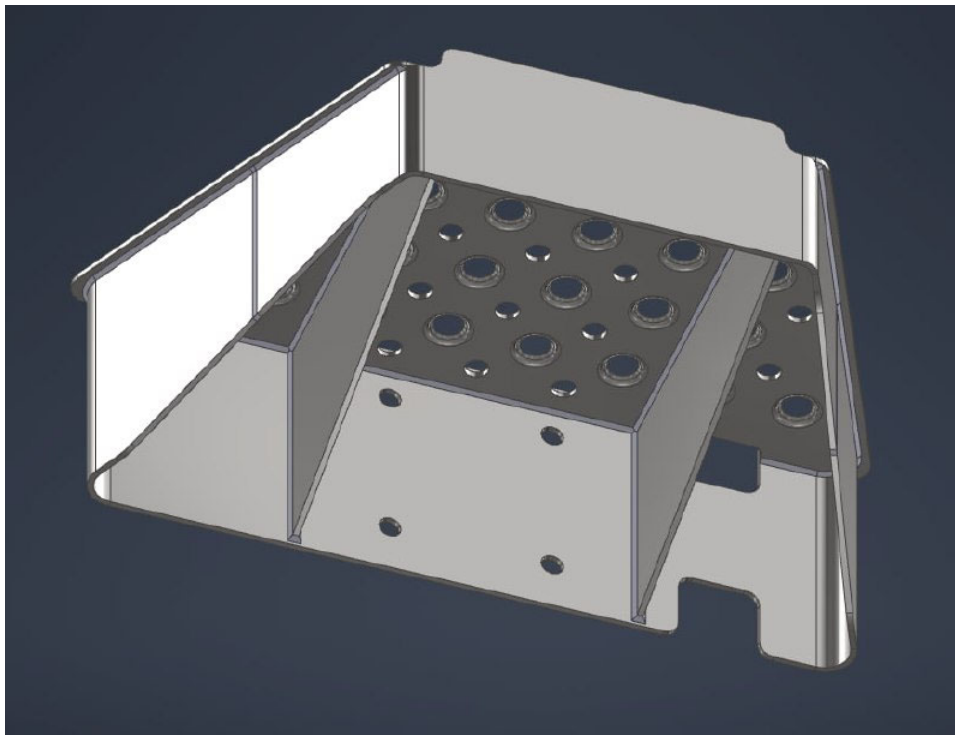


Рисунок 2.15 – Модель сходинок зі зварними швами

2.4 Дослідження міцнісних характеристик методом скінченних елементів

Мета аналізу за методом скінченних елементів полягає у встановленні напружень, які розподіляються по всьому об'ємові компонентів.

Оскільки, передбачається, що сходинка повинна витримати вагу середньостатистичної людини, яка стоїть на одній нозі, було розраховано наступні данні, які подальшому використано у розрахунковому середовищі міцнісних характеристик.

Середня вага людини складає 75 кілограмів. Але враховуючи, що робітник, який буде використовувати сходинку може мати при собі інструменти або важке обладнання, розрахунки проводились з урахуванням ваги 90 кілограмів.

Площа підошви робочого чобота 43-го розміру складає 220 см².

З цих даних дізнаємось тиск з яким діє вага людини на площу 220 см², за такою формулою:

$$P = \frac{mg}{S} = \frac{90 \cdot 9.8}{0.022} = 40118 \text{ Па} = 0.04 \text{ МПа}; \quad (2.2)$$

де: m – маса людини;

g – прискорення вільного падіння;

S – площа підошви чобота;

Для оцінки міцності сходинки було використано метод скінченних елементів, що реалізований в програмному середовищі Autodesk Inventor. Сходинку було піддано навантаженню загалом, що повторює реальні умови експлуатації. Такий спосіб моделювання дозволив виявити потенційні слабкі місця конструкції.

Використання методу скінченних елементів дозволяє точно прогнозувати поведінку конструкцій при різних навантаженнях, що є особливо важливим для

відповідальних виробів. Цей підхід дозволяє адекватно оцінити міцність та інші властивості елементів, розроблених у 3D-моделюванні, та запобігти можливим проблемам під час їх експлуатації.

Для розрахунку методом скінчених елементів, в якості матеріалу було обрано раніше зазначену матеріали: нержавіючу сталь 12X13 для деталей, та 308LSI для зварних швів, характеристики яких попередньо було додано до бібліотеки матеріалів Autodesk Inventor.

Підготовка моделі до аналізу МСЕ складається, насамперед, з генерування сітки моделі. Далі, задаються фіксовані елементи, в нашому випадку, це чотири кріпильні отвори. Далі прикладено розподілений тиск на верхню пластину сходинок (рис. 2.16).

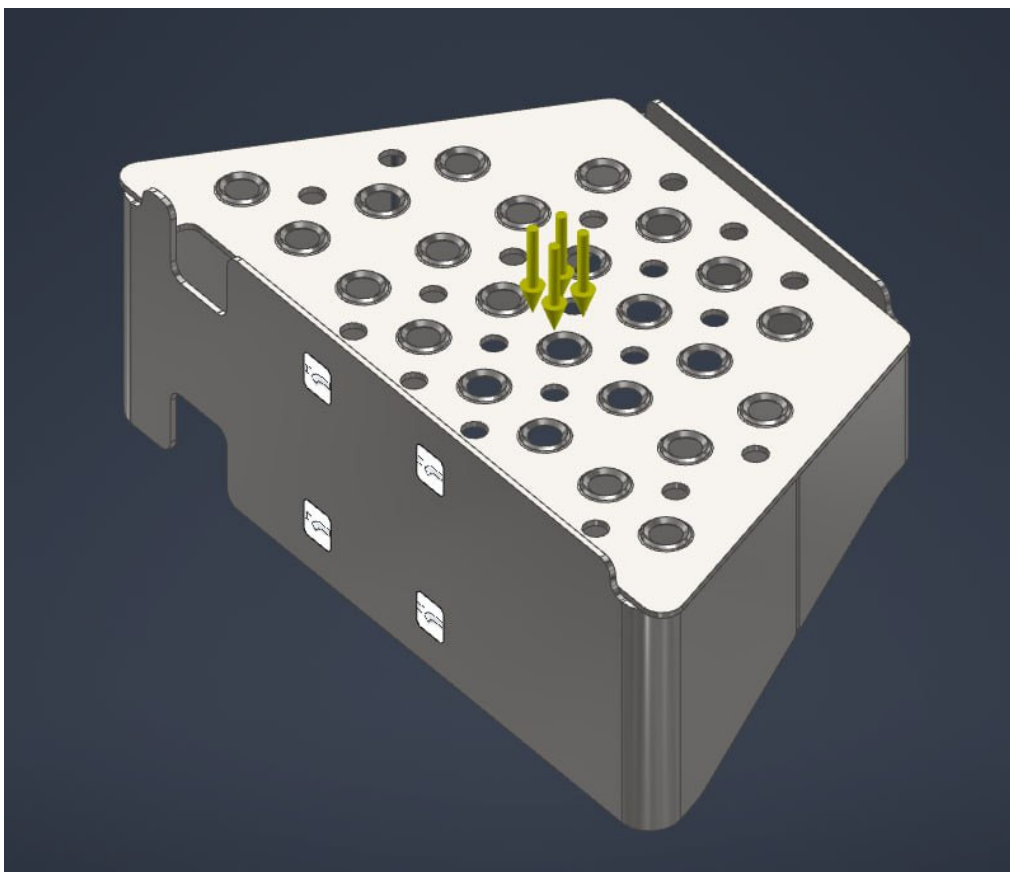


Рисунок 2.16 – Зафіксовані елементи та прикладене навантаження на сходинок

Дані про мінімальний та максимальний коефіцієнт запасу міцності дозволяють зробити висновок щодо міцності конструкції. Коефіцієнт запасу міцності визначає, наскільки надійно деталь чи конструкція витримують дію

навантажень. Зазвичай, чим більший коефіцієнт, тим більший запас міцності, тобто тим менше ймовірність поломки чи пошкодження

У нашому випадку мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 1.01, а максимальний - 15. Якщо мінімальний коефіцієнт запасу міцності перевищує 1, це означає, що конструкція є достатньо міцною за заданих умов.

Такий запас міцності може вважатися комфортним і вказує на достатню міцність конструкції. А максимальне значення коефіцієнта запасу міцності у 15 додатково підтверджує безпеку конструкції (рис. 2.17).

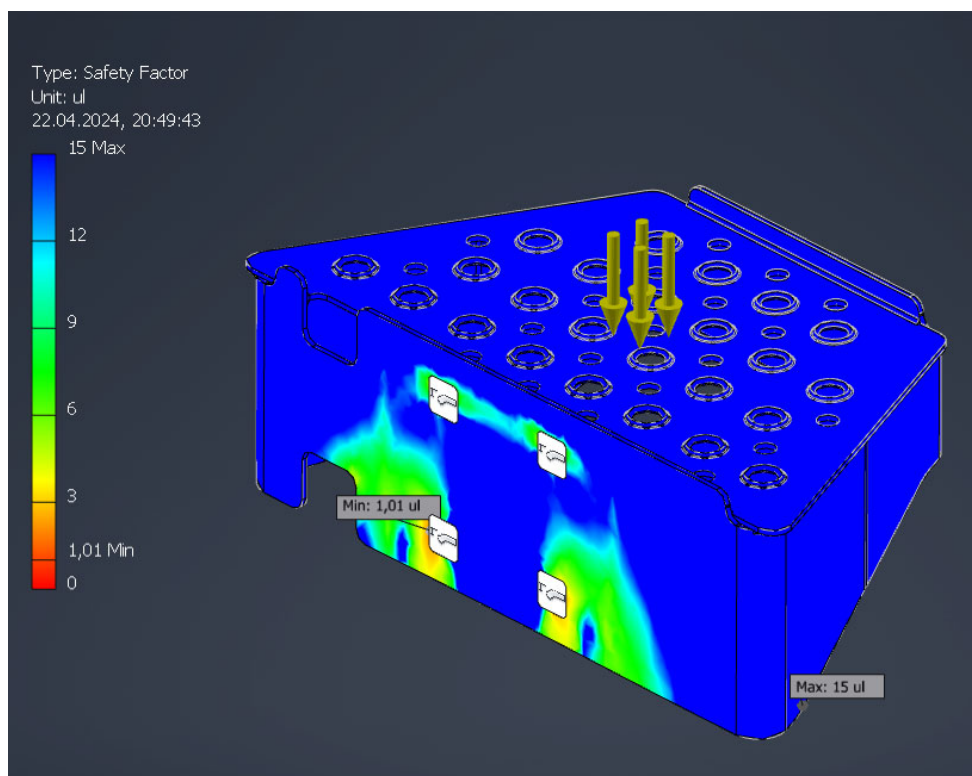


Рисунок 2.17 – Коефіцієнт запасу міцності (Safety factor)

Найбільші напруження виникають в місці нижніх отворів кріплення, які становлять 444.7 МПа. Даний показник не є критичним для конструкції і не призводить до її руйнування (рис. 2.18).

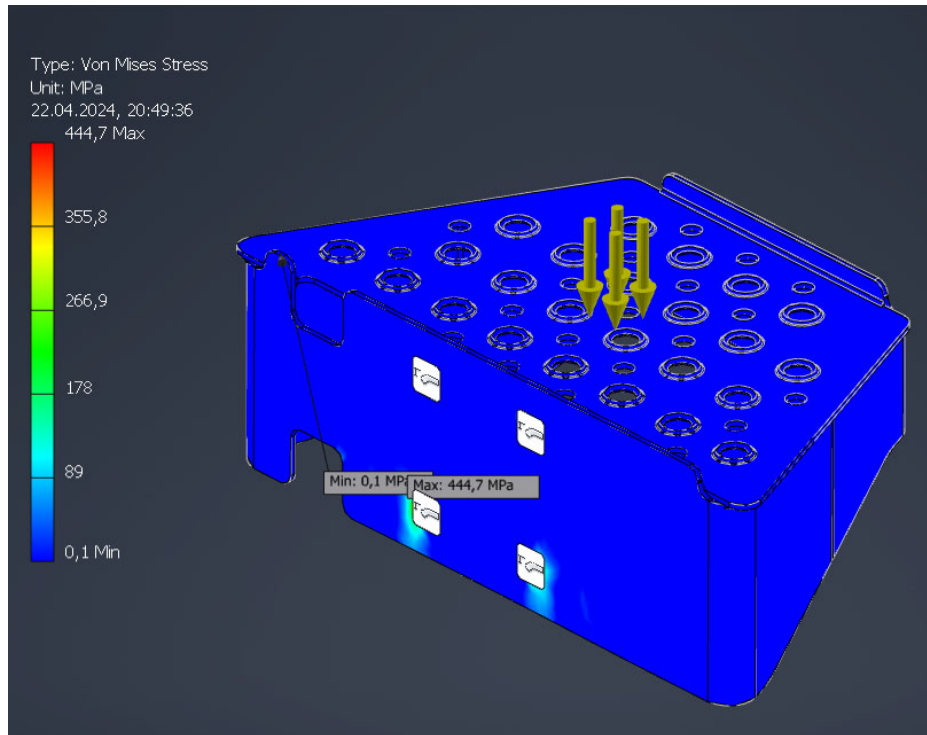


Рисунок 2.18 – Stress (еквівалентні напруження)

Оцінка відхилення (displacement) є важливим кроком у визначенні зміщень та деформацій компонента під час дії навантаження. Вимірювання відхилення дозволяє з'ясувати, як компонент реагує на навантаження, які зміщення відбуваються внутрішньо в матеріалі, та як вони можуть вплинути на його міцність та стійкість (рис. 2.19).

Метод скінченних елементів (МСЕ) є потужним інженерним інструментом для моделювання та аналізу поведінки конструкцій під різними умовами навантаження. У вашому випадку МСЕ дозволив ретельно дослідити конструкцію сходинки, відтворити реальні умови навантаження та проаналізувати її поведінку та проаналізувати і оцінити, як конструкція реагує на ці навантаження. Аналіз поведінки об'єкта наближений до реальних умов експлуатації дозволяє отримати цінні інженерні дані щодо міцності, деформацій та стійкості конструкції. Такий підхід дозволяє виявити потенційні проблеми та оптимізувати дизайн для забезпечення оптимальної продуктивності та безпеки в експлуатації.

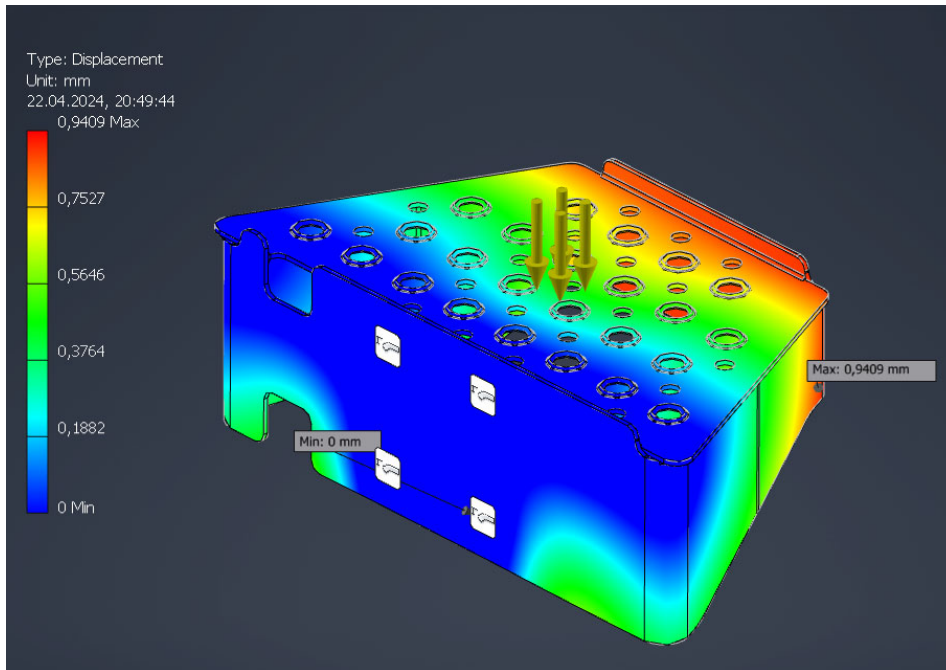


Рисунок 2.19 – Displacement (еквівалентні переміщення)

2.5 Висновки за розділом

У результаті функціонально-вартісного аналізу сходинок та моделювання всіх елементів конструкції та після проведення аналізу методом скінченних елементів, отримано значення показників, які задовольняють вимогам ефективності та безпеки за навантаження 40000 Па. У результаті, показник коефіцієнту запасу міцності конструкції досягнув 1.01, максимальне еквівалентне навантаження становить 444.7 МПа, максимальне відхилення – 0.94 мм.

Отримані результати свідчать про успішне виконання функціонально-вартісного аналізу. Отже, з урахуванням усіх цих факторів, рекомендується впровадження описаних конструкційних рішень у подальшому виробництві з метою забезпечення оптимальної ефективності, безпеки та якості сходинок.

РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Етапи створення конструкції сходинок

Враховуючи конструкцію сходинок та те, що вона виготовляється з листового металу, передбачається декілька етапів створення сходинок.

1. Вирізання розгортки деталей – це процес, за допомогою якого з листового матеріалу вирізаються деталі з потрібною формою та розмірами. Цей процес використовується в багатьох галузях промисловості, включаючи металообробку, автомобільну промисловість, суднобудування, аерокосмічну промисловість та інші.

2. Згинання металевих листів – це процес формування металу, за якого листовий матеріал вигинається або згинається, щоб створити певну форму або конфігурацію.

3. Зварювання – процес з'єднання матеріалів шляхом плавлення та з'єднання їх зварювальним матеріалом або без нього. Це важливий процес у виробництві, будівництві та ремонті, який використовується для з'єднання металевих, пластикових, а також інших матеріалів.

3.2 Методи вирізання розгортки деталей

Надати металевій сировині необхідні для подальшої обробки або застосування габарити можна різними способами, але найбільш затребуваним і популярним з них є різання металу.

Різання – операція поділу на частини виробів з різних видів матеріалу, зокрема металу або металевої заготовки. Від рубки воно відрізняється відсутністю ударного зусилля, що дозволяє різати листовий метал, профільний та сортовий прокат з мінімальними пошкодженнями та змінами форми та перерізу. Це робить різання широко затребуваним у промисловому та аграрному секторі, у будівництві та побуті. Ще 150 років тому провідні інженери шукали найвигідніше технічне рішення того, як і чим можна різати метал швидко та з мінімально можливими деформаціями. А сьогодні вже існує безліч ручних та

автоматизованих способів різання сталі та металопрокату. Кожен з них має свої переваги та недоліки, але важливо, щоб такий спосіб обробки забезпечував гранично точний та рівний різ, мінімально впливав на структуру та форму металу, забезпечував мінімальні відходи та був економічно ефективним загалом [2].

З метою розкрою застосовують різні механізми та обладнання. Серед найбільш популярних варіантів різання:

- лазерне;
- плазмове;
- газокисневе;
- стрічкопильне;
- гідроабразивне;
- порізка гільйотиною (рубка).

Згідно з властивостями і характеристиками всі перераховані вище методи розкрою металу можна поділити на 3 категорії:

- високоточне різання – лазерна і гідроабразивна технології;
- механічні методи – гільйотина рубка, стрічкопильне різання;
- термічний крій – газокиснева і плазмова різка.

Чим різняться способи різання металу і результати їх застосування?

Розглянемо кожен з варіантів розкрою докладніше.

Різання металу лазером

В основі способу лежить використання лазера. Під впливом джерела потужного електромагнітного випромінювання метал вигоряє, і в тілі заготовки утворюється лінія розрізу з рівною кромкою. Лазерна технологія дозволяє варіювати товщину та потужність спрямованого променя та вести обробку заготовок як з плоскою, так і складною формою. Виконується лазерне різання по металу на спеціальних верстатах та установках. Використання засобів автоматизації та програмування значно розширило потенціал способу та дозволило задавати різноманітні алгоритми різання (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Процес лазерної різки листа металу

Розкрій металу відбувається під впливом на заготовлю променя лазера. Лазерний промінь створює на поверхні оброблюваної заготовки отвір, метал в зоні обробки розплавляється і випаровується, його залишки видувуються із застосуванням газової суміші.

З деталями великої товщини лазерний промінь не впорається – неможливість розрізання товстого металу (більше 20 мм), складність у роботі з алюмінієвими і нержавіючими металами.

Готова продукція характеризується високою точністю, відсутністю необхідності додаткової обробки країв - різ виходить рівний і гладкий, без дефектів. У порівнянні з механічними способами лазерна технологія дозволяє легко зафіксувати заготовлю та забезпечує високу якість кромки та мінімальне забруднення оброблюваної зони.

Але за всіх переваг лазер споживає багато енергії, внаслідок чого його ККД при різанні становить не більше 0,5. При використанні лазерного різання також слід ретельно підходити до якості сталевих напівфабрикатів. Прокат та інші вироби, що підлягають різанню, повинні бути з мінімальним рівнем

внутрішньої напруги, щоб при обробці не пошкодити дорогу «лазерну головку» ріжучого агрегату [2].

Плазмове різання

Технологія повітряно-плазмового різання заснована на використанні енергії стисненого повітря та електрики. Забезпечує відносно швидкий процес різання та якісний, з мінімальним забрудненням, різ. Також:

- може застосовуватися для обробки прокату та заготовок великої товщини, виконаних із чорних та кольорових металів;
- не має суттєвих обмежень щодо технічної складності та геометричної форми;
- належить до методів, найбільш безпечних для персоналу.

Технологія підходить для обробки листового та сортового металу, а також труб та заготовок складної форми. Але плазмове обробка рентабельна лише в масштабах середньо- та великосерійного виробництва, оскільки виконується на верстатах ЧПУ або з використанням дорогих інверторних джерел (рис. 3.2).

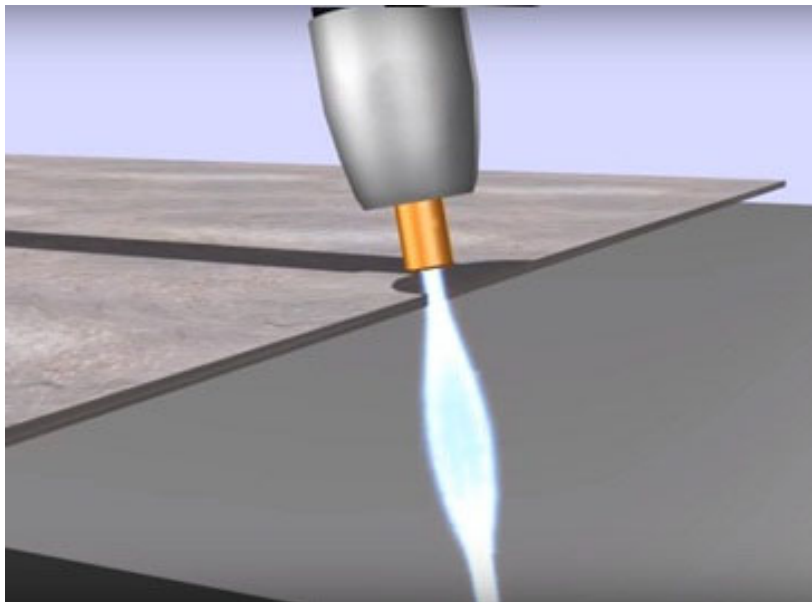


Рисунок 3.2 – Процес плазмової різки

Розрізання металу проводиться під впливом газової суміші, яка подається на оброблювану поверхню під високим тиском. У більшості випадків для роботи плазморіза використовують кисень. Принцип роботи обладнання схожий з особливостями застосування лазерного різання – під дією газу метал розплавляється і випаровується, залишки видуваються. Але плазмова різка включає застосування температурного впливу на метал (15-20 тис. градусів Цельсія), що робить можливим розкрій всіх типів сплавів [2].

Серед переваг плазмового різання металу – висока продуктивність, універсальність (може застосовуватися для розкрою заготовок, товщина яких досягає 50-100 мм), високий ступінь точності, економічність. До мінусів технології можна віднести необхідність додатково обробляти краї деталей, наявність мінімального нахилу країв готової продукції (до 3°-5°).

Гідроабразивний метод різки

Високотехнологічне різання металу, і інструменти з ріжучими властивостями для нього не потрібні. Різання відбувається за рахунок ерозії, обумовленої точковим додатком потужного струменя води, до якого доданий абразивний агент. Водний струмінь подається з дуже високою швидкістю, і елементи розпаду миттєво виводяться із зони різання.

Гідроабразивний метод різання характеризується:

- прецизійною якістю різання та станом кромки;
- високою швидкістю та ефективністю;
- відсутністю термічного впливу на метал;
- можливістю застосування на заготовках тонкого та товстого перерізу.

Гідроабразивне різання відрізняється великим потенціалом застосування: від приладобудування до космічних технологій. Однак вплив абразиву та води провокує подальшу корозію вуглецевих сталей. До того ж технологія, як і раніше, є дорогою і застосовується виключно в промисловому секторі [2].

Враховуючи якості різки нержавіючої сталі товщиною 3мм, та доступності виготовлення, в якості методу розкрою заготовок, було обрано лазерну різку.

Підготовка розгорток деталей перед процесом лазерної різки дуже важлива для забезпечення точності та ефективності виробничого процесу.

Використання інструментів листового моделювання в програмному забезпеченні, такому як Autodesk Inventor, дозволяє ефективно створювати розгортки деталей (рис 3.3).

Розгортка деталі полягає в розгортанні тривимірної форми на плоску поверхню. Це дозволяє отримати плоский шаблон, який потім можна використовувати для вирізання деталі за допомогою лазерної різки. Експорт розгорток у форматі DXF дозволяє зберегти ці розгортки у векторному форматі, який ідеально підходить для використання в агрегатах для різки.

Наступним, невід'ємним етапом виготовлення сходинки, є згинання листових заготовок.

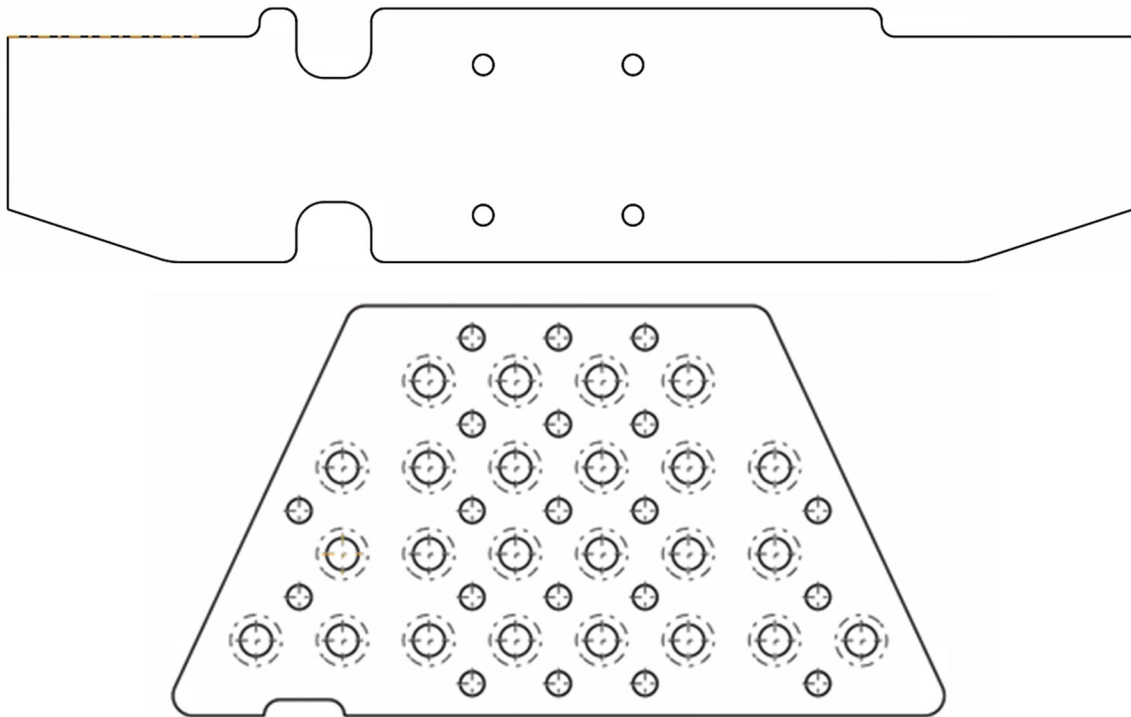


Рисунок 3.3 – Приклади розгорток деталей

3.3 Згинання листового металу

Згинання металу – це процес, що використовується для формування металевих виробів шляхом прикладання сили до матеріалу, змушуючи його змінювати свою форму без порушення його структури чи руйнування. Для згинання застосовується сила, яка повинна перевищувати межу плинності матеріалу, щоб досягти пластичної деформації та забезпечити стійкий результат вигину. Виконання робіт на листо-згинальних пресах з програмно-числовим управлінням забезпечує високу якість виконання замовлення і хорошу продуктивність. Цей метод виготовлення металевих виробів широко застосовується в промисловості, будівництві, машинобудуванні та різних галузях.

Процес згинання полягає в тому, що на металеву заготовку застосовується сила, яка змушує матеріал поступово змінювати свою форму. Цей процес може бути виконаний різними способами, такими як ручне

згинання, високоточне згинання металу, використання пресів, гідравлічних пресів чи штампування.

Найбільш поширеним видом згинання виступає однокутова операція, яка здійснюється на прес-згинальних верстатах. Робота зі сталевим листом завтовшки понад 5 мм є трудомістким процесом навіть для механізованого способу згинання, можливо більш доцільним буде розглянути, як альтернативу, комбінацію робіт «порубка + зварювання» [3].

Існує кілька різних методів згинання металу, кожен з яких має свої унікальні особливості та використовується для конкретних потреб в виробництві. Згинання листового металу здійснюється прямолінійним тиском на заготовку, яке, як правило, прикладається без її попереднього нагрівання. В цій роботі, буде розглянуто наступні два способи згинання листового металу:

Штампування. Лист затискають між пуансоном і матрицею без зазору. Холодне штампування застосовують при малих товщинах сталевого листа або в разі використання пластичних металів і сплавів. Цей процес дозволяє отримувати деталі, ідентичні за формою і розмірами. Дана операція, як і профілювання, вигідна в разі великих партій деталей.

Згинання на прес-верстаті. Виріб одержують вдавненням листа в матрицю з зазором за допомогою пуансона. Кут згинання визначається не геометрією згинального інструменту, а ступенем зусилля вигину. Операцію бажано застосовувати для листів товщиною більше 1,25 мм. Найменший внутрішній радіус згину листової сталі повинен перевищувати товщину листа. Це правило може бути порушено тільки для пластичних матеріалів, наприклад, міді і сплавів на її основі (рис 3.4).

Найбільш поширеним видом згинання листа виступає однокутовий тип. Даний вид згинання характеризується умовно V-образним профілем згину з широким діапазоном розкриття. Для здійснення однокутового згинання використовуються прес-згинальні верстати. Кожен вид згинального обладнання має свої переваги й недоліки, які обумовлені конструкцією і способом згинання.

Для прес-згинального верстата характерні висока продуктивність і стабільність результату при належному регулюванні і правильному підборі робочих органів (матриця, пуансон). Втім, слід зазначити, що налаштування і заміна робочих органів при зміні параметрів листового матеріалу можуть зайняти значний час. Даний вид обладнання призначений для серійного виробництва деталей з одним-чотирма згинами.

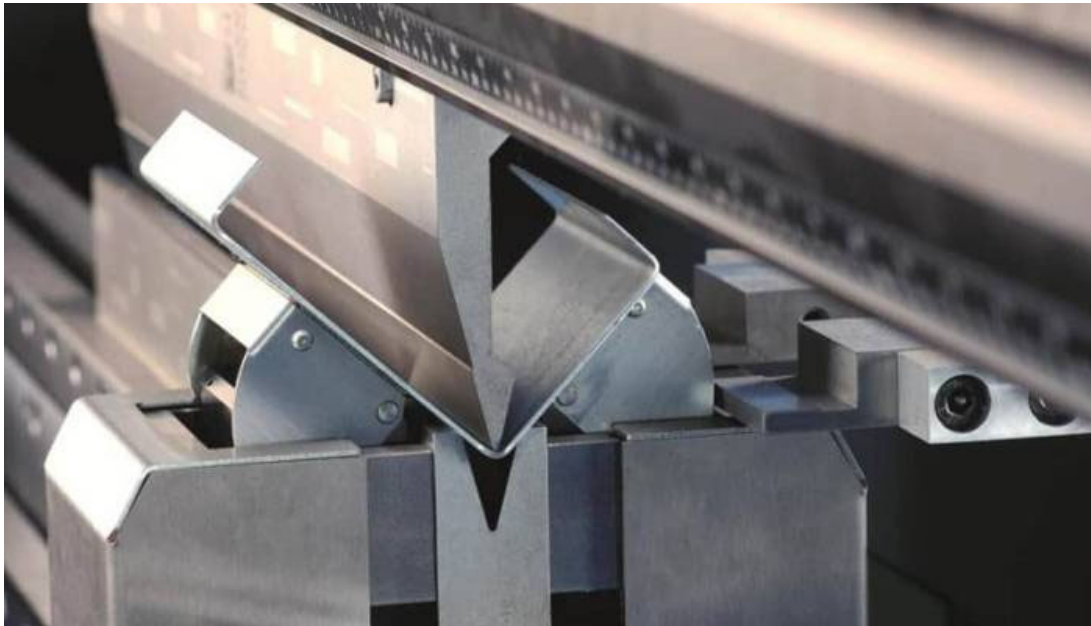


Рисунок 3.4 – Згинання металу прес-згинальним верстатом

V-подібне згинання є найбільш поширеним методом з використанням пуансону і штампу. Він має дві підгрупи - згинання на основі або нижнє згинання та «вільне» або «повітряне» згинання. На вільне згинання і згинання на основі припадає близько 90% всіх операцій.

Для двох деталей, задньої та передньої пластини було обрано традиційний спосіб згинання прес-згинальним верстатом (рис 3.5). Враховуючи великий внутрішній радіус згину та необов'язковість гранично точного виконання деталей, застосовується «вільний (повітряний)» тип згину.

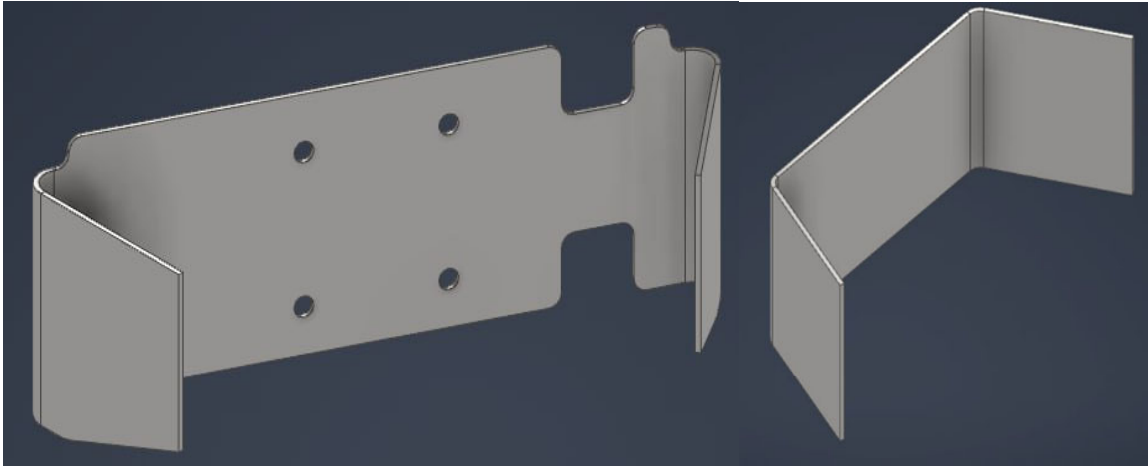


Рисунок 3.5 – Задня та передня пластини

Повітряне згинання. Вільне або повітряне згинання, отримало свою назву від того факту, що оброблювана деталь фактично не торкається деталей інструменту повністю. При частковому згині, заготовка спирається на 2 точки матриці, а пуансон штовхає вигин. Звичайно, це результат меншої точності, порівняно з нижнім пресуванням. У той же час великою перевагою вільного згинання є те, що для згинання під іншим кутом не потрібно переналагодження інструменту (рис. 3.6) [3].

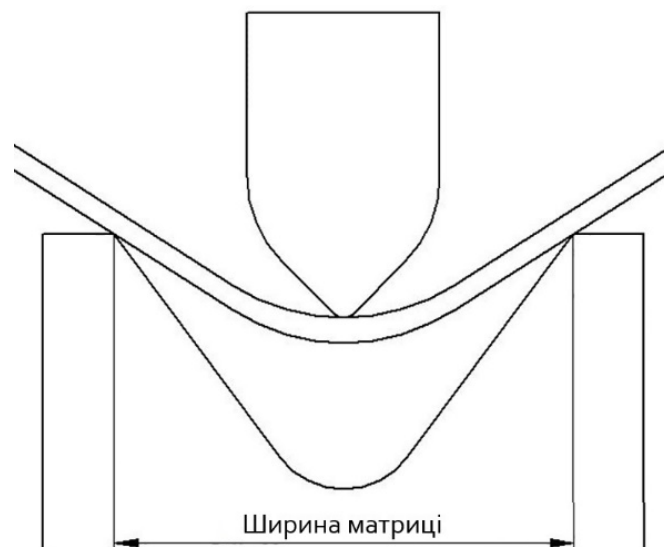


Рисунок 3.6 – Схема «вільного» методу згинання

За формулою 3.1 визначається згинальна сила верстату, яку потрібно прикласти до листа нержавіючої сталі, товщиною 3мм.

$$F = \frac{1.42\sigma_{max} \cdot S^2 L}{1000 \cdot V} = \frac{1.42 \cdot 600 \cdot 3^2 \cdot 70}{1000 \cdot 77} = 6.97(\text{тонн}) \quad (3.1)$$

де P – загальне необхідне зусилля для здійснення гibu (тонн);

S – товщина листа (мм);

L – довжина згину (мм);

V – ширина матриці (мм);

σ_{max} – межа міцності матеріалу

Ширина матриці V розраховується з в залежності від необхідного внутрішнього радіусу згину r_i , за формулою:

$$V = 6,4 \cdot r_i = 6,4 \cdot 12 = 76,8 \text{ (мм)} \quad (3.2)$$

Результат округлюємо в більшу сторону, отримуємо 77 мм ширину матриці V .

Отриманий результат в 6.97 тонн є доволі низьким і цей згин може виконати навіть найпростіший верстат. Найнижча загальна продуктивність стану становить близько 100 тонн.

Верхня пластина з рельєфною перфорацією потребує іншого підходу виготовлення. Так як згини в отворах традиційним верстатом неможливо зробити, для цих елементів було обрано метод штампування. Цей процес може бути автоматичним та ручним. Вироби таким способом використовуються в різному виробництві, наприклад, таким чином, виготовляються каркаси для меблів, каркаси для рекламних біл-бордів та в інших сферах виробництва, де використовується метал. При виробництві великої кількості деталей у деяких випадках необхідне проведення такої операції. Такий вид штампування необхідний під час виробництва однотипних виробів. Пробивання. Процес

перфорації одним чи кількома отворами, після чого з'являється візерунок або малюнок називається – пробивання (рис 3.7).

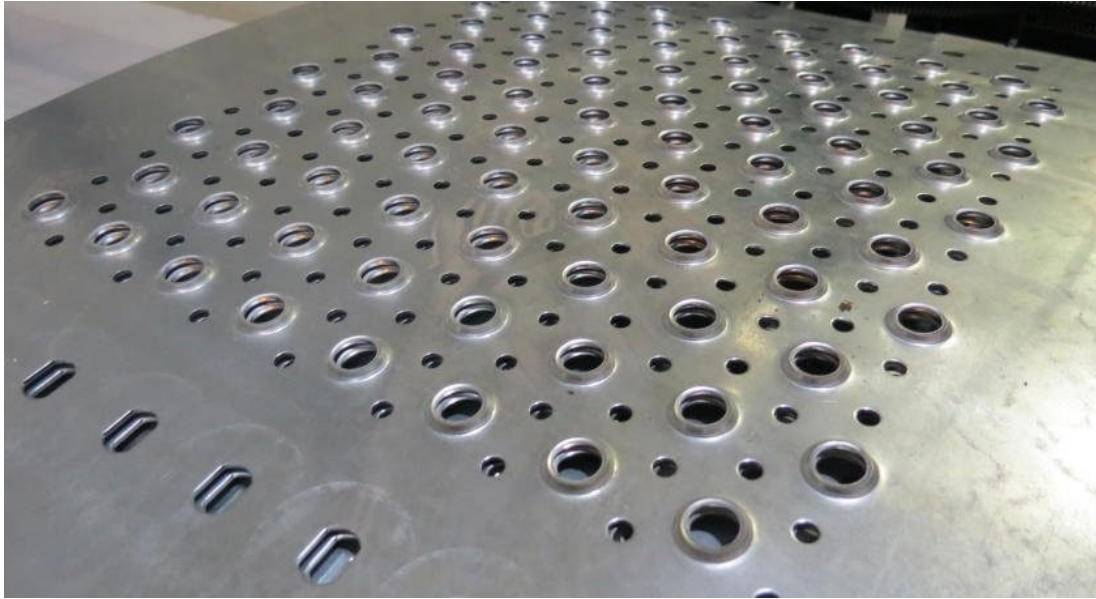


Рисунок 3.7 – Штампування отворів в металі.

3.4 Зварювання деталей

Зварювання є одним із ключових процесів у промисловості, що дозволяє з'єднувати окремі матеріали, такі як сталь, алюміній, латунь, мідь та ін. Напівавтоматичне зварювання – це прогресивний метод з'єднання матеріалів, який являє собою поєднання ручної та автоматичної техніки зварювання. У цьому процесі апарат допомагає зварювальнику, забезпечуючи точне та ефективне з'єднання різних типів металів, а зварювальник контролює процес, регулюючи швидкість подачі дроту, напругу дуги та потік захисного газу. Варто відзначити, що напівавтоматичне зварювання – це загальна назва методу зварювання MIG, тобто зварювання в хімічно інертному газовому середовищі, і MAG, тобто зварювання в активному газовому середовищі (рис 3.8) [5].

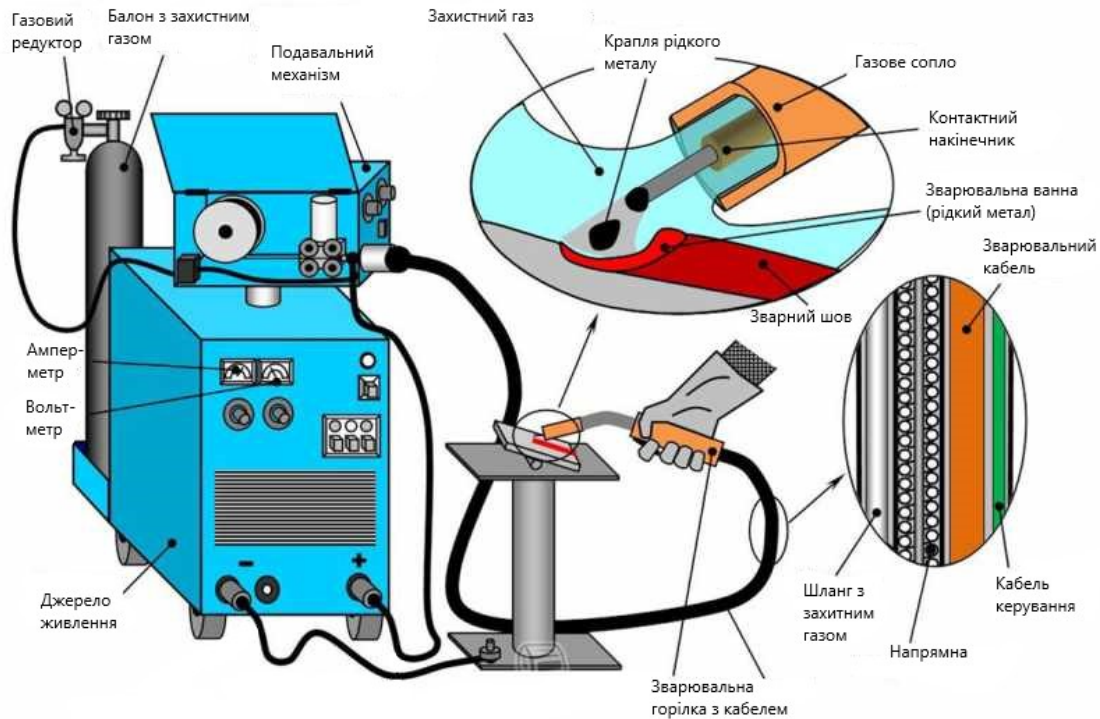


Рисунок 3.8 – Схема напівавтоматичного зварювального апарату

Напівавтоматичне зварювання користується великим визнанням у металургійній промисловості завдяки численным перевагам, які воно приносить. Ось основні переваги цієї техніки:

- висока ефективність зварювання – напівавтоматичне зварювання дозволяє виконувати швидкі та ефективні з'єднання. Завдяки точному контролю процесу можна досягти високої ефективності роботи;
- хороша якість зварних швів – зварювання MIG/MAG створює чисті та естетичні зварні шви, що важливо у випадках, коли зовнішній вигляд з'єднання є особливо важливим. Отримані з'єднання також довговічні;
- різноманітність матеріалів – таким способом можна зварювати різні види металів, в тому числі сталь, алюміній, мідь та інші металеві сплави;
- налаштування параметрів зварювання – цей процес дозволяє налаштувати параметри зварювання, такі як струм і швидкість дроту, під конкретні потреби, що впливає на якість з'єднання і значно полегшує роботу;
- зручність у використанні – напівавтоматичне зварювання порівняно просте в освоєнні, тому навіть початківці зварювальники можуть швидко освоїти його прийоми;

- автоматизація і роботизація – напівавтоматичне зварювання легко автоматизувати, що дозволяє його масово застосовувати на промислових підприємствах, підвищуючи точність та повторюваність з'єднань;

Зварювальний пруток 308LSi — це електрод, який використовується для зварювання нержавіючої сталі. Цей пруток має спеціальне покриття, яке забезпечує стабільний дуговий процес і формує захисну оболонку навколо металу плавлення, що запобігає окисленню та забрудненню шва (рис 3.9). Пруток виготовлений з аустенітної нержавіючої сталі марки 308LSi, яка містить високий рівень хрому (Cr) і нікелю (Ni), а також додатковий кремній (Si) для покращення зварювальних властивостей. Зварювальні шви, створені за допомогою прутка 308LSi, мають високу стійкість до корозії, що робить його придатним для використання в агресивних середовищах. Знижений вміст вуглецю мінімізує ризик утворення карбідів хрому і, як наслідок, інтергранулярної корозії в зварювальних зонах.



Рисунок 3.9 – Зварювальний дріт 308LSi

Кількість вуглецю в залізі або сталі може вплинути на його міцність і крихкість, а також спосіб його обробки і зварювання. Тим не менш, вуглець не єдиний сплавний елемент; інші елементи також сприяють властивостям матеріалу. Завдання полягає в тому, щоб розглянути вплив кожного елемента і те, як він взаємодіє індивідуально з усіма іншими. Таким чином, концепція вуглецевого еквівалента використовується для перетворення всіх сплавляючих елементів у відсотки еквівалента вуглецю. Вуглецевим еквівалентом сталі є перетворення вмісту сплавних елементів на сталь, з включеним вуглецем, що впливає на затвердіння, холодне розтріскування. Оцінюючи вуглецевий еквівалент та індекс чутливості холодних тріщин сталі, чутливість холодної тріщини низького сплаву та міцність сталі може бути попередньо виміряна, а умови процесу зварювання, такі як розігрів, післязварювальна теплова обробка та енергія лінії можуть бути розумно визначені.

Для попереднього судження про зварюваність сталі відомого хімічного складу можна підраховувати еквівалентний вміст вуглецю, користуючись формулою:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{P}{2} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} \quad (3.3)$$

$$C_{\text{екв}} = 0,12 + \frac{0,03}{2} + \frac{13}{5} + \frac{0,6}{6} + \frac{0,025}{24} + \frac{0,6}{40} = 2,85\%$$

Ця сталь погано зварюється, бо $C_{\text{екв}}$ вище 0,45; такі стали схильні до утворення тріщин при зварюванні.

Наявність хрому у складі зумовлює утворення карбїду хрому при взаємодії з вуглецем на високих температурах плавлення. В результаті знижується міцність зварювального шва. Високолеговані метали (зміст присадок більше 10%) можна зварювати, але краще використовувати попередній підігрів до 300-400° С, так як ця категорія нержавіючих сталей називається аустенітними (високий вміст хрому та нікелю). Попередній нагрів допомагає уникнути утворення тріщин в з'єднанні, під час зварювання. Рекомендується використовувати імпульсне зварювання з попереднім нагрівом.

3.5 Висновки за розділом

У розділі було розглянуто повний процес виробництва сходинки. Обрано оптимальний варіант різання розгорток деталей, яким стала лазерна різка. Лазерна різка є ефективним методом, що дозволяє отримати високу точність та якість краю різку, що особливо важливо для виробництва деталей з точними геометричними параметрами.

Також було розібрано та проаналізовано способи згинання листового металу та вибрано два оптимальних методи для виготовлення продукту: вільне згинання на верстаті та штампування. Обидва ці методи згинання мають свої переваги і можуть бути застосовані залежно від конкретних вимог до виробу та доступності обладнання.

Для зварювання деталей сходинки між собою застосовується напівавтоматичний метод зварювання прутком 308LSi. Цей метод зварювання відомий своєю надійністю та дозволяє отримати міцні зварні з'єднання, що особливо важливо для конструкцій, що піддаються впливу навколишнього середовища.

Цей комплексний підхід до виробництва сходинки дозволяє забезпечити високу якість та надійність продукту, а також оптимізує виробничий процес з точки зору якості та витрат ресурсів.

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Сертифікація та вимоги якості зварних швів

У галузі залізничного транспорту серія стандартів EN 15085 визначає сертифікацію та вимоги до якості для виробника зварювання під час виготовлення та ремонту. Це забезпечує важливий зв'язок між експлуатаційними вимогами, встановленими на етапі проєктування, та досягненням належної якості зварних швів у процесі виробництва та підтвердженням необхідної якості контролю [4].

Цей зв'язок досягається шляхом визначення класу експлуатації зварного шва на етапі проєктування залежно від категорій безпеки та навантаження, що визначають експлуатацію залізниць. Рівні якості класів експлуатації зварного шва повинні забезпечувати рівні, встановлені під час проєктування. На основі класів експлуатації зварних швів встановлені рівні сертифікації для виробництва, а також контролю, випробувань та атестації зварювального персоналу виробника. Рівні класифікацій визначаються інженером самостійно, під час підготовки конструкторської документації.

Категорія навантаження визначається відповідно до коефіцієнта навантаження за таблицею 4.1. Коефіцієнт навантаження –це відношення розрахункового втомного навантаження до допустимого втомного навантаження для конкретного типу зварного з'єднання з урахуванням відповідного коефіцієнта безпеки. Стандарт або джерело, з якого беруться допустимі значення навантаження, має бути узгодженим між замовником та виробником та при необхідності з національним наглядовим органом.

Категорія безпеки визначається наслідками руйнування одного зварного з'єднання щодо людей, обладнання та навколишнього середовища. Категорії безпеки класифікуються таким чином:

- **низька:** руйнування зварного з'єднання не призводить до прямого погіршення роботи конструкції. Імовірність заподіяння шкоди здоров'ю людини низька;

- **середня:** руйнування зварної сполуки призводить до погіршення роботи всієї конструкції або може призвести до наслідку у вигляді шкоди здоров'ю людини;
- **висока:** руйнування зварного з'єднання призводить до наслідку у вигляді заподіяння шкоди здоров'ю людини та відмові роботи всієї конструкції.

Таблиця 4.1 – Категорії навантаження

Категорія навантаження	Коефіцієнт навантаження S
Висока	$\geq 0,9$
Середня	$0,75 \leq S < 0,9$
Низька	$< 0,5$

У даному випадку для сходинки приймається середнє значення категорії навантаження.

Класи експлуатації зварного шва визначаються на етапі проектування залежно від категорії безпеки та категорії навантаження. Відповідальний координатор зварювання має визначити можливість виконання зварних з'єднань.

Зварні з'єднання залізничних транспортних засобів поділяються на шість класів експлуатації зварного шва (таблиця 4.2).

Виробники зварювання, які виконують зварювальні роботи на залізничних транспортних засобах, їх елементах та вузлах, повинні бути сертифіковані відповідно до стандарту EN 15085 [4].

Таблиця 4.2 – Класи експлуатації зварного з'єднання

Категорія навантаження	Категорія безпеки		
	Висока	Середня	Низька
Висока	CP A	CP B	CP C2
Середня	CP B	CP C2	CP C3
Низька	CP C1	CP C3	CP D

Для сертифікації виробників зварювання встановлено чотири рівні сертифікації (від рівня 1 до 4). Рівні від 1 до 3 залежать від класів експлуатації зварного шва від CP A до CP D (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Рівні сертифікації

Допустимі класи експлуатації	Рівень сертифікації (CL)
Поширюється на виробників зварювання, які виготовляють зварні з'єднань, що класифікуються за класами експлуатації зварного шва від CP A до CP D. Включає рівні сертифікації від CL 2 до CL 4.	CL 1
Поширюється на виробників зварювання, які виготовляють зварні з'єднань, що класифікуються за класами експлуатації зварного шва від CP C2 до CP D. Включає рівні сертифікації CL 3 та CL 4.	CL 2
Поширюється на виробників зварювання, які виготовляють зварні з'єднань, що класифікуються за класами експлуатації зварного шва CP D.	CL 3
Поширюється на виробників, які не виконують зварювання, але проектують конструкції та їх елементи або виконують їх закупівлю та монтажем.	CL 4

Виходячи з вище наведених вимог, було визначено, що сходинка має середню категорію навантаження та високу категорію безпеки. З цього

впливає, що зварна конструкція має клас експлуатації зварного з'єднання СР В.

Робимо висновок, що особа виробник зварного з'єднання має мати щонайменше рівень сертифікації CL 1.

4.2 Дослідження методів контролю зварних швів

Існує безліч типів перевірки зварних з'єднання, які відрізняються методами виконання і видами з'єднань. Незалежно від використаного способу, після завершення зварювання зазвичай проводиться перевірка якості зварного шва. Дефектоскопія виявляє різноманітні дефекти, що можуть знизити міцність і надійність з'єднання, а також порушити їхню герметичність. Своєчасне виявлення цих дефектів суттєво впливає на визначення терміну служби зварної конструкції. Висока якість зварних швів є особливо важливою для систем і ємностей, що працюють під високим тиском, а також для несучих конструкцій.

Неруйнівний контроль (НК) є ключовим методом перевірки зварних з'єднань, оскільки він дозволяє зберегти цілісність та експлуатаційні характеристики об'єкта, що перевіряється. Існує багато методів НК та різноманітні моделі обладнання, засновані на цих методах. Вибір методу контролю залежить від багатьох факторів, таких як матеріал зварюваних деталей, конструкція зварного шва, стан поверхні, вимоги до якості, доступність, тип і розташування можливих дефектів, вартість та ефективність контролю. Через це універсального методу контролю не існує, і від правильного вибору оптимального варіанту значно залежать якість, надійність і довговічність кінцевого продукту. Нижче наведені найчастіше використовувані методи контролю зварних швів.

Візуальний контроль (VT)

Цей метод контролю поєднує в собі візуальний огляд і вимірювання геометричних параметрів зварного шва, щоб перевірити їх відповідність

заданим стандартам. Перед проведенням дефектоскопії необхідно очистити зварні шви від окалини, металевих бризок і шлаку. Після цього поверхню обробляють спиртом або травлять 10% розчином азотної кислоти. Для контролю зазвичай використовуються лупа з 5- або 10-кратним збільшенням, освітлювальні прилади та вимірювальні інструменти (лінійка, штангенциркуль, шаблони). Цими інструментами вимірюють розміри шва та виявлених дефектів (рис. 4.1). Незважаючи на простоту, цей метод дуже ефективний і є попереднім етапом перед іншими методами контролю. Якщо на цьому етапі виявляють дефекти, шов вважається непридатним, і подальший контроль не проводиться (рис. 4.2). Основним недоліком цього методу є неможливість виявлення прихованих дефектів і суб'єктивність оцінки, що вимагає високої кваліфікації спеціаліста, який здійснює перевірку [9].



Рисунок 4.1 – Вимірювальні інструменти для візуального контролю



Рисунок 4.2 – Видимий дефект зварювального шва

Капілярний контроль (РТ)

Цей метод базується на здатності рідини проникати в мікроскопічні тріщини та канали, заповнюючи їх. По суті, ці дрібні дефекти зварного шва діють як капіляри. Прикладами таких дефектів є пори та тріщини на поверхні матеріалу. Швидкість і глибина проникнення рідини залежать від радіусу капіляра і властивостей змочуваності рідини. Таким чином, капілярний метод є надзвичайно ефективним для виявлення поверхневих дефектів. Для підвищення його ефективності використовують спеціальні рідини – пенетранти, які завдяки низькому поверхневому натягу можуть глибоко проникати в капіляри, а яскраве забарвлення пенетрантів полегшує виявлення дефектів. Комплект для капілярного контролю включає пенетрант, очищувач для ретельного очищення поверхні перед початком перевірки (рис. 4.3), і проявник, який витягує пенетрант з дефектів, створюючи на контрастному тлі індикаторний малюнок, що дозволяє оцінити розміри і форму дефекту (рис. 4.4) [9].

Даний вид контролю близький за своєю методикою до візуально-вимірювального, оскільки проводиться шляхом візуального огляду зварного шва, тому має ті самі недоліки.



Рисунок 4.3 – Засоби для проведення капілярного контролю

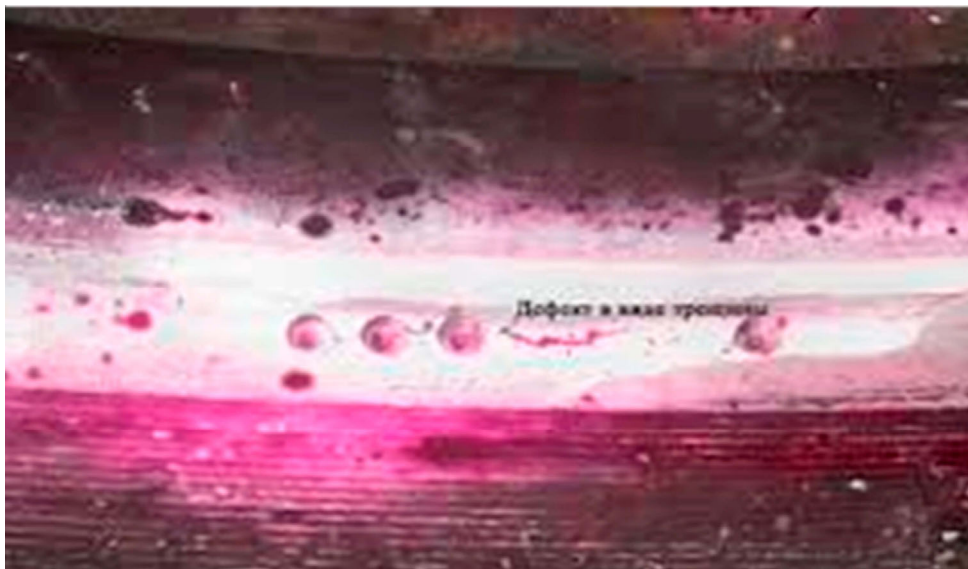


Рисунок 4.4 – Результат проведення капілярного контролю

Магнітно-порошковий контроль (МТ)

Магнітно-порошковий контроль (МТ) або магнітно-порошкова дефектоскопія – це метод неруйнівного контролю заснований на явищі тяжіння частинок магнітного порошку магнітними потоками розсіювання, що виникають над дефектами намагнічених об'єктах контролю (рис 4.5). Магнітно-порошковий метод призначений для виявлення поверхневих та підповерхневих дефектів суцільності таких як тріщини різного походження, несплавлення зварних сполук, флокени, надриви і т.д. Магнітно-порошковий дефектоскоп дозволяє контролювати різні за формою деталі, зварні шви, внутрішні поверхні отворів шляхом намагнічування окремих контрольованих ділянок або виробу циркулярним або поздовжнім полем, створюваним за допомогою набору пристроїв, що намагнічують [9].



Рисунок 4.5 – Проведення магнітно-порошкового контролю

Ультразвуковий метод контролю (УТ)

Цей метод контролю є одним із найпоширеніших, оскільки дозволяє з високою точністю виявляти приховані дефекти всередині зварного шва. Метод ґрунтується на використанні ультразвукових хвиль, що проникають крізь метал і відбиваються від його меж та внутрішніх дефектів (рис. 4.6). За різницею у часі між переданими і відбитими сигналами, а також за формою і амплітудою відбитих хвиль можна визначити не лише товщину металу, але й наявність дефектів на шляху ультразвукового сигналу. Пристрій для ультразвукового контролю називається дефектоскопом. У ньому використовуються спеціальні перетворювачі (випромінювачі-приймачі ультразвукових сигналів), які дозволяють застосовувати методи ехо-імпульсного, ехо-дзеркального та дзеркально-тіньового контролю.



Рисунок 4.6 – Ультразвуковий метод контролю

4.3 Контроль та випробування після зварювання

Клас контролю зварного шва визначається для кожного зварного шва за попередньо встановленим класом експлуатації зварного шва, див. таблицю 4.4.

Класи контролю зварного шва показують, які мінімальні контрольні заходи та випробування необхідно провести для кожного зварного шва.

Таблиця 4.4 – Взаємозв'язок між класом експлуатації зварного шва та класом контролю зварного шва

Клас експлуатації зварного з'єднання	Клас контролю зварного з'єднання (мінімальні вимоги)
CP A	CT 1
CP B	CT 2
CP C1	CT 2
CP C2	CT 3
CP C3	CT 4
CP D	CT 4

Після зварювання неруйнівний контроль NDT (Non-Destructive Testing), а саме радіографічний (RT), ультразвуковий (UT), магнітопорошковий (MT) та капілярний контроль (PT) проводить сертифікований персонал крім візуального контролю (VT). Визначення виду та обсягу контролю та випробувань, які мають проводитися під час серійного виробництва, визначаються на основі встановленого конструктором класу експлуатації зварного шва та пов'язаного з ним класу контролю зварного шва. Випробування, описані в таблиці 4.5, повинні проводитись для всіх виробів, що серійно випускаються, відповідно до зазначеного в таблиці обсягу з врахуванням класу експлуатації зварного шва, зазначеного конструктором на кресленні.

Таблиця 4.5 – Випробування, які виконуються під час виробництва

Клас контролю	Об'єм випробувань, RT або UT	Випробування поверхні, MT або PT	Візуальний контроль, VT
СТ 1	100%	100%	100%
СТ 2	10%	10%	100%
СТ 3	Не потребується	Не потребується	100%
СТ 4	Не потребується	Не потребується	100%

Виходячи з наявних даних, що зварні шви, величиною a_2 , мають клас експлуатації з'єднання CP B, робимо висновок, що проведений клас контролю має бути класом мінімум СТ 2. Тобто, треба провести перевірку на внутрішні дефекти мінімум 10ти відсотків довжини зварних з'єднань ультразвуковим або рентгенографічним контролем та перевірку поверхонь швів магнітопорошковим або капілярним методом контролю. Візуальний огляд проводять для всієї довжини зварних з'єднань (100%) [4].

Варто зазначити, що на початку виробництва проводиться перевірка у відповідності з класом контролю та зі 100%-вим об'ємом випробувань всіх зварних швів першої деталі кожної серії.

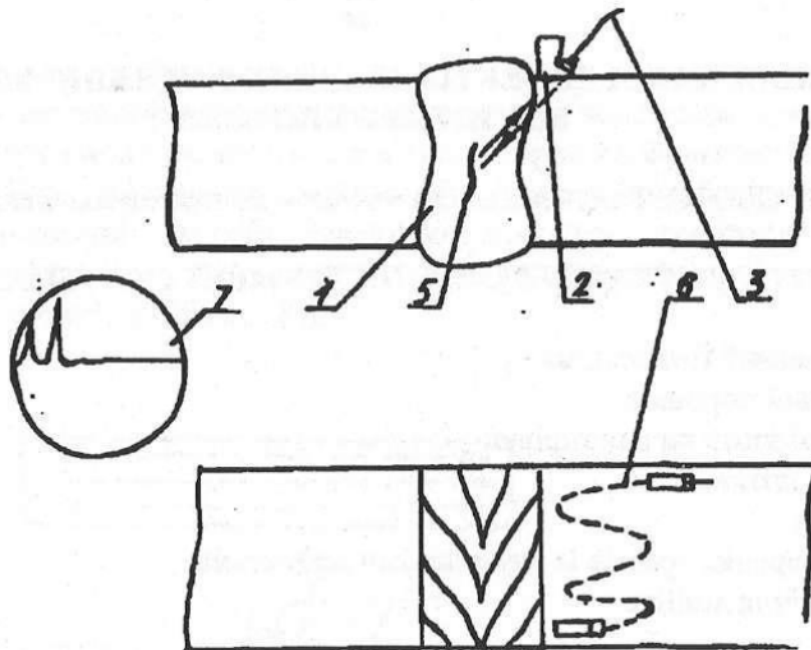
4.4 Технологія проведення досліджень зварних швів ультразвуковим методом контролю.

Контроль ультразвуком базується на застосуванні ультразвукових коливань, які є механічними коливаннями пружного середовища з частотами, що перевищують 20000 Гц. Цей метод використовує здатність ультразвукових хвиль проникати глибоко в метал і відбиватися від неметалічних включень, присутніх у металі.

Для отримання ультразвукових коливань використовуються властивості певних кристалів, таких як кварц, титанат барію та сегнетова сіль, які можуть миттєво перетворювати електричні коливання в механічні і навпаки. Ці кристали стискаються і розтискаються відповідно до частоти струму.

Для виявлення дефектів, пучок ультразвукових хвиль від вібруючої пластинки (п'єзокристала) спрямовується на контрольований виріб. Коли хвилі зустрічаються з дефектом, вони відбиваються і підсилюються іншою пластинкою, яка перетворює їх знову в електричні коливання. Після посилення ці сигнали подаються на осцилограф, де викликають відхилення променя на екрані електронної трубки, за виглядом якого можна судити про характер дефекту.

На рисунку 4.7 зображено схему контролю зварних швів ультразвуком.



1 – зварний шов; 2 – шукач; 3 – електричний кабель; 4 – Ультразвукові хвилі; 5 – дефект; 6 – траєкторія переміщення шукача; 7 – екран дефектоскопа.

Рисунок 4.7 – Схема контролю зварних швів ультразвуком

Хоча методи прямого променя можуть бути дуже ефективними для виявлення шаруватих дефектів, вони неефективні під час тестування багатьох звичайних зварних швів, де розриви зазвичай не орієнтовані паралельно до поверхні деталі. Поєднання геометрії зварного шва, орієнтації дефектів і наявності коронки зварного шва або валика вимагає огляду з боку зварного шва за допомогою променя, створеного під кутом. Випробування кутовим променем є, безумовно, найпоширенішим методом ультразвукової дефектоскопії.

Зонди кутового променя складаються з перетворювача і клина, які можуть бути окремими частинами або вбудованими в один корпус. Вони використовують принцип заломлення та перетворення на межі двох середовищ для створення заломлених поперечних або поздовжніх хвиль у дослідному зразку.

Найбільш похилі перетворювачі, що використовуються, генерують поперечну хвилю в матеріалі під кутом 45, 60 або 70 градусів

У типовому випадку контролю ультразвуковий промінь під певним кутом проходить крізь матеріал об'єкта до протилежної стінки, а потім відбивається (прямує вгору) під тим же кутом. Переміщення перетворювача вперед і назад дозволяє сканувати по всій висоті зварного шва. Цей скануючий рух гарантує контроль всього об'єму зварного шва та допомагає виявити несучільності не тільки на лініях сплаву, а й усередині самого зварного шва (Рис 4.8).

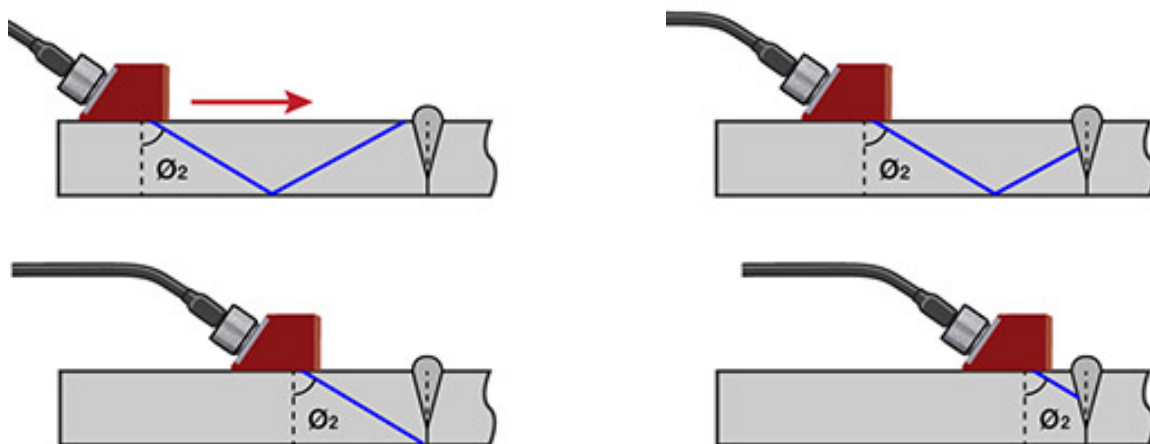


Рисунок 4.8 – Переміщення перетворювача

Як і у разі контролю прямим променем, при скануванні похилим ПЕП оператор виявляє та інтерпретує сигнали, відображені від несучільностей. Під час початкового налаштування оператор повинен відзначити всі ехо-сигнали, що походять від наплавленого металу або інших геометричних структур. Додаткові ехо-сигнали, що знаходяться в зоні зварного шва, будуть свідчити про непровари, наявність тріщин, пористість або інші неполадки. У ході подальшого аналізу можна визначити тип, розмір та глибину даних дефектів.

На наведеному нижче прикладі ультразвуковий промінь перетинає зону бездефектного зварного шва, без зворотного відображення; екран не відображає значних змін (аномалій). Наявність несучільностей в зоні зварного шва, викликає сильне відображення в зоні, що інспектується (Рис 4.9).

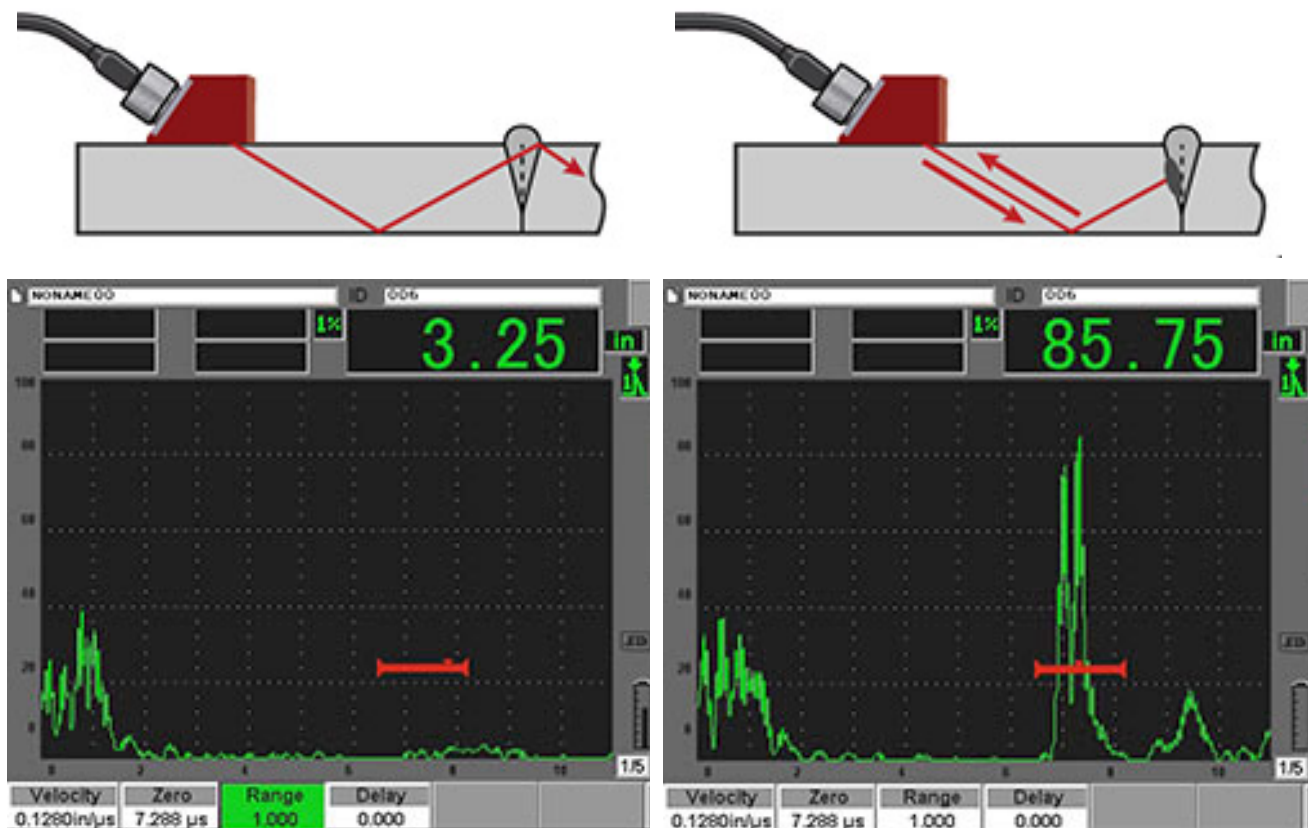
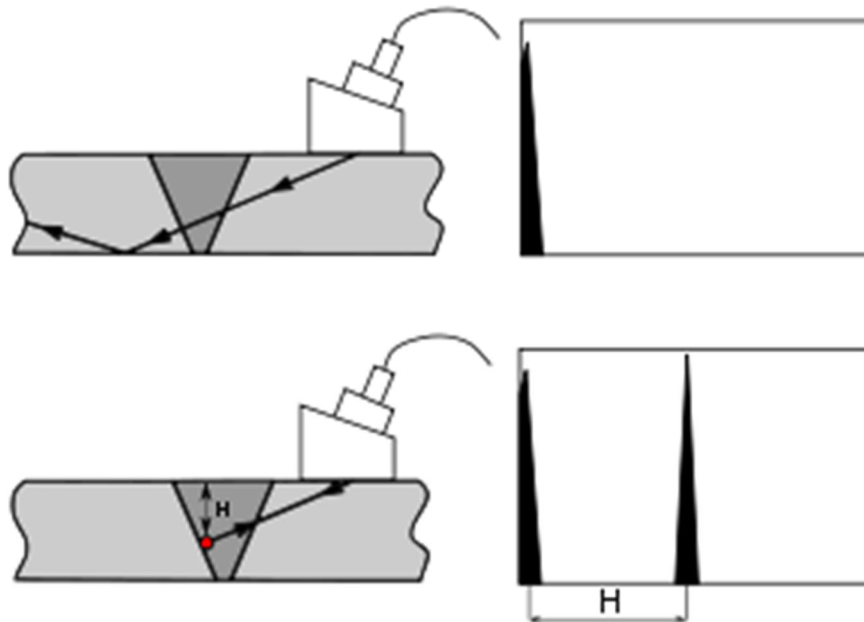


Рисунок 4.9 – Приклад виявлення несучільності в зварному з'єднанні

Класифікація методів дослідження

Ехо-метод або ехо-імпульсний метод є найбільш поширеним. У цьому методі перетворювач одночасно генерує коливання (виконує роль генератора) і приймає відбиті від дефектів ехо-сигнали (виконує роль приймача). Метод став популярним завдяки своїй простоті: для проведення контролю потрібен лише один перетворювач. Це усуває потребу в спеціальних пристосуваннях для його фіксації (як у дифракційно-часовому методі) та суміщенні акустичних осей при використанні двох перетворювачів. Також цей метод дозволяє досить точно визначати координати дефекту, зокрема глибину залягання та положення в об'єкті дослідження (рис 4.10) [10].



Ехо-імпульсний метод контролю зварного з'єднання без дефекту (зверху) і з дефектом (знизу). У правій частині зображення представлений екран дефектоскопа із зображенням на ньому зондуючим імпульсом (зверху) і імпульсом від дефекту (знизу).

Рисунок 4.10 – Ехо-імпульсний метод контролю зварного з'єднання

Дзеркальний або ехо-дзеркальний метод

Використовує два перетворювачі з одного боку деталі. Генеровані коливання відбиваються від дефекту у напрямку приймача. Метод застосовується для виявлення дефектів, розташованих перпендикулярно до поверхні контролю, таких як тріщини (рис 4.11).

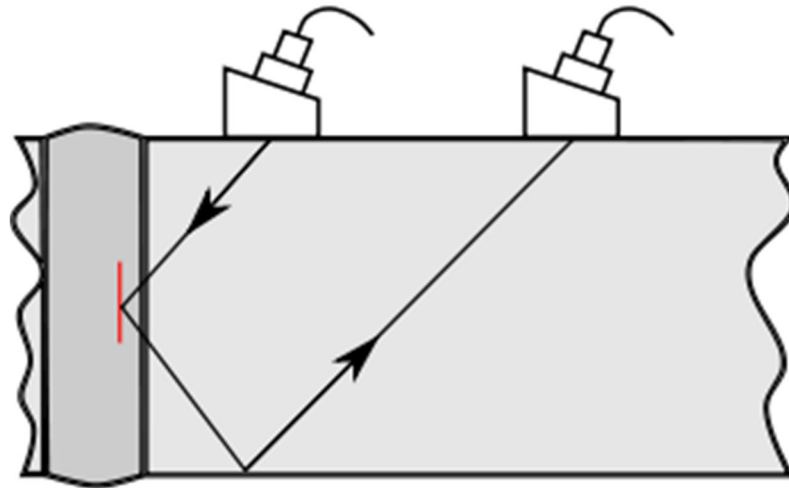


Рисунок 4.11 – Дзеркальний метод дослідження

Дифракційно-часовий метод

Використовує два перетворювачі з одного боку деталі, розташовані один навпроти одного. Якщо дефект має гострі кромки (наприклад, тріщини), то коливання дифрагують на кінцях дефекту і відбиваються в усі сторони, включаючи напрямок до приймача. Дефектоскоп реєструє час приходу обох імпульсів при достатній амплітуді. На екрані дефектоскопа відображаються обидва сигнали від верхньої та нижньої меж дефекту, що дозволяє досить точно визначити його висоту. Метод є універсальним для контролю швів будь-якої складності, але вимагає спеціального обладнання для фіксації перетворювачів і дефектоскопа, здатного працювати в такому режимі (Рис 4.12) [10].

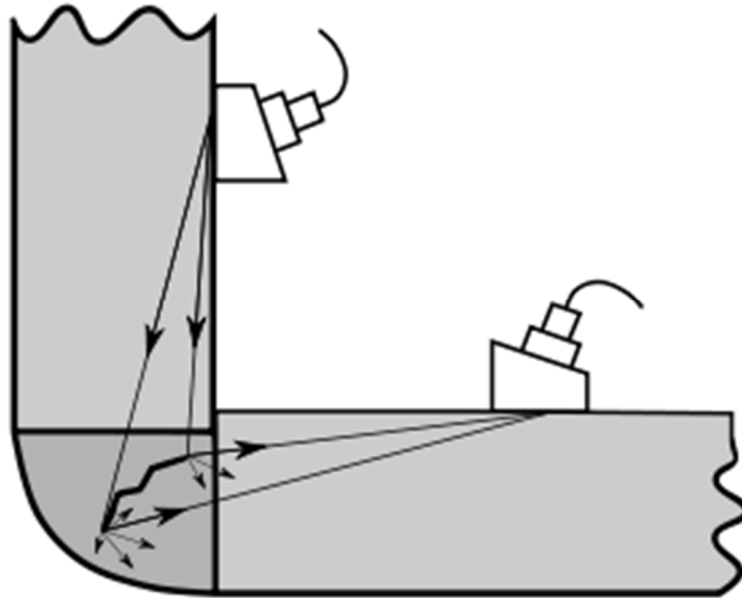


Рисунок 4.12 – Дифракційно-часовий метод дослідження

Приклад перевірки зварного з'єднання наведено на рисунку 4.13.

Використовувався ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД3701, який є старшою моделлю у лінійці ультразвукових дефектоскопів. На відміну від портативного дефектоскопа УД2301 цей прилад має повнорозмірний корпус і дисплей, при цьому має невелику вагу. Дефектоскоп має розширений функціонал сучасного професійного приладу, великий дисплей високої роздільної здатності (800*480 пікселів), керування за допомогою тач-скрин дисплея або клавіатури, акумулятор високої ємності.

Крім класичного використання в якості приладу для контролю якості, ультразвуковий дефектоскоп УД3701 має збільшену точність вимірювання часу для дуже точного вимірювання товщини виробів і швидкості ультразвуку в них. Даний режим роботи приладу дозволяє з точністю до 0,01 мм вимірювати товщину, як це роблять сучасні товщиноміри з А-сканом, таким чином замінюючи відразу два стандартні прилади - ультразвуковий дефектокоп і товщиномір.

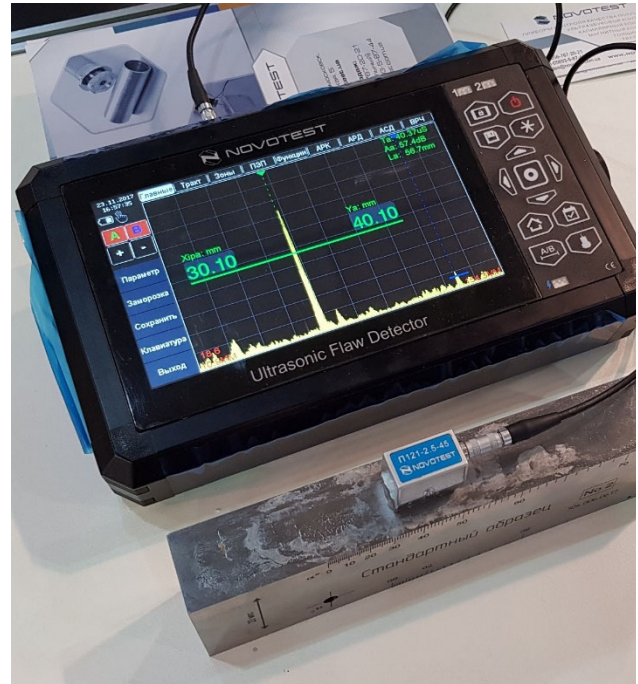


Рисунок 4.13 – Перевірки зварного з'єднання ультразвуковим дефектоскопом

Загасання ультразвукових коливань - це явище зменшення амплітуди коливань частинок в звуковій хвилі, викликане процесами розсіювання і поглинання. Звук розсіюється на границях зерен і поглинається кожним окремим зерном (Рис. 4.14).

Загасання зменшує амплітуду проходження ультразвукових коливань, що призводить до необхідності регулювання чутливості управління, пов'язаної з втратами на загасання. При крупнозернистій металевій структурі через велике розсіювання на екрані дефектоскопа можуть виникати інтерференційні імпульси, що ускладнює розпізнавання потрібного сигналу на їх фоні. Також, загасання відбувається з ростом частоти (рис 4.15).

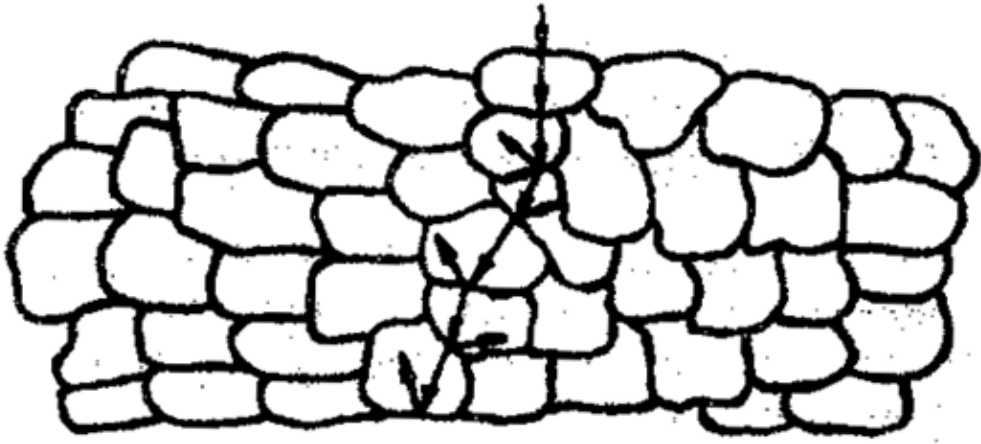


Рисунок 4.14 – Розсіювання ультразвукової хвилі на кристалах

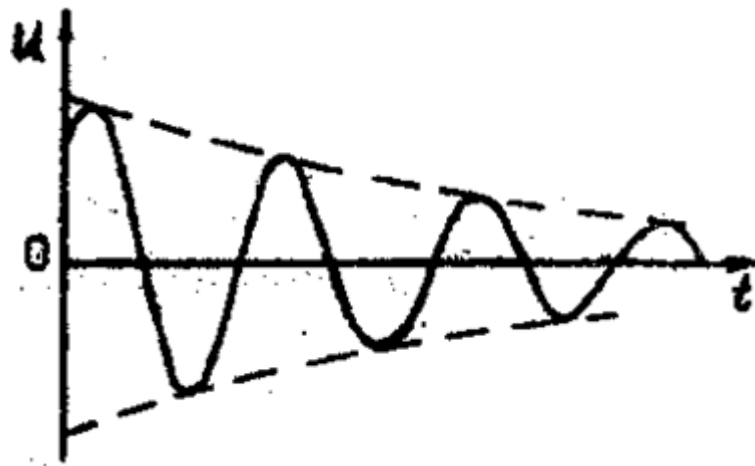


Рисунок 4.15 – Графік затухаючого коливального руху

4.5 Висновки за розділом

Вимоги до сертифікації та якості зварних швів у залізничному транспорті регламентуються серією стандартів ДСТУ EN 15085. Вони встановлюють зв'язок між експлуатаційними вимогами, визначеними на етапі проектування, та якістю зварних швів під час виготовлення та ремонту. Залежно від категорій безпеки та навантаження, інженери визначають класи експлуатації зварного шва. Відповідно до цих класів встановлюються рівні сертифікації для виробників, що включає контроль, випробування та атестацію зварювального персоналу.

Розглянуто основні методи контролю зварювання такі як, візуальний контроль, капілярний контроль, магнітно-порошковий метод та ультразвуковий метод. Кожен метод має свої переваги та обмеження, що залежать від матеріалу деталей, конструкції зварного шва та вимог до якості. Візуальний контроль є найпростішим і використовується як попередній етап, тоді як ультразвуковий метод дозволяє виявляти приховані дефекти з високою точністю.

Класи контролю зварного шва визначаються на основі класів експлуатації. Для кожного класу встановлюються мінімальні контрольні заходи та випробування. Для зварних швів сходинки, що розглядається в даній роботі було обрано клас експлуатації CP B, для якого необхідно провести контроль класу CT 2.

Дотримання серії стандартів EN 15085 забезпечує високу якість та безпеку зварних з'єднань у залізничному транспорті. Виробники зварювання повинні відповідати вимогам сертифікації, а контроль та випробування зварних швів повинні проводитися згідно з визначеними класами. Це гарантує надійність та довговічність зварних конструкцій, що є критичним для безпеки використання конструкції залізничного транспорту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було проведено детальний аналіз актуальності теми та визначено об'єкт та предмет розробки. Основна мета дослідження полягала в розробці допоміжної сходинок на верхньому зчепленні вагонів трамваю, що має важливе значення для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

Об'єктом дослідження у даній роботі є допоміжна сходинок на верхньому зчепленні вагонів трамваю. Предметом дослідження виступають технічні характеристики, конструкція та функціональні особливості цієї допоміжної сходинок, а також її вплив на загальний рівень безпеки.

Проведення функціонально-вартісного аналізу дозволило виділити окремі елементи конструкції сходинок та проаналізувати конструкційну значущість кожного з них. Далі було розроблено 3Д модель з якою проведено тести навантаження методом скінчених елементів, який показав задовільні результати і довів, що обрана конфігурація та матеріал сходинок є оптимальними в передбачених умовах експлуатації.

Процес виготовлення складається з трьох етапів. А саме: різка розгортки деталей, для чого обрано лазерний метод різки; Згинання розгортки на згинальному верстаті та зварювання напівавтоматичним методом.

Для процесу сертифікації зварних конструкцій, було обрано стандарт EN 15085, який широко використовується під час виготовлення залізничного транспорту. Виходячи з цього стандарту розглянуто основні методи дефектоскопії зварних з'єднань.

Загалом, результати даної кваліфікаційної роботи можуть стати основою для подальших досліджень та розробок у сфері підвищення безпеки та комфорту пасажирів громадського транспорту, а також для практичного впровадження в існуючі системи трамвайного руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Наказ Міністерства інфраструктури України про затвердження Правил експлуатації трамвая і тролейбуса: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0353-20#Text>
2. Metal Cutting 4th Edition by Paul K. Wright Ph.D. Industrial Metallurgy 2000, ISBN: 978-0750670692
3. Згинання листового металу, його види та обладнання для проведення робіт Посилання на джерело: <http://praktiker.com.ua/obrobka-metalu/zginannya-listovogo-metalu-jiji-vidi-ta-obladnannya-dlya-provedennya-robit>
4. Серія стандартів (EN 15085:2007 ITD) –Welding of railway vehicles and components.
5. Обладнання та технології зварювальних робіт : навч. посіб. / І. В. Гуменюк. — К. : Грамота, 2014.
6. Вибір зварювальних матеріалів. Посилання на джерело: <https://ukrtorgexport.com/ua/a111698-vybor-svarochnyh-materialov.html>
7. Хімічний склад сталі 12X13. Посилання на джерело: <https://evек.com.ua/materials/stal-12h13-1h13.html>
8. Хімічний склад зварювального прутка 308LSi. Посилання на джерело: <https://www.horda.ua/ru/product/horda-308lsi>
9. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018.
10. Цапенко, В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / В. К. Цапенко, Ю. В. Куц - Київ : НТУУ «КПІ», 2009.
11. Зіборов К.А. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для бакалаврів спеціальності 132Матеріалознавство ОПП «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.