

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

**Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра зварювального виробництва**

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

(підпис) **Віктор КВАСНИЦЬКИЙ**

«__» _____ 2026 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

на тему: Технологія складання та зварювання корпусу шахтної вагонетки

Виконав:

студент IV курсу, групи ЗВ-21
Крайній Вячеслав Олексійович

Керівник:

Професор, д.т.н.,
Смирнов Ігор Володимирович

Консультант із організаційно-економічного розділу:
Доцент, к.е.н., Нараєвський Сергій Вікторович

Консультант з охорони праці
зав. каф., д.т.н., професор.,
Левченко Олег Григорович

Рецензент:

зав. каф., к.т.н., доцент.,
Кагляк Олексій Дмитрович

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2026

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра зварювального виробництва

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма – «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Крайньому Вячеславу Олексійовичу

1. Тема проєкту «Технологія складання та зварювання корпусу шахтної вагонетки», керівник проєкту Смирнов Ігор Володимирович, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від «28» травня 2026 р. № 1986-с _____
2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2026 р. _____
3. Вихідні дані до проєкту Ескіз зварного виробу (додається). Матеріал виробу – сталь S355J2W. Забезпечення рівномірності зварних з'єднань та відсутності недопустимих дефектів. Річна програма виготовлення виробу – 100 шт. Умови виготовлення – цехові, температура експлуатації – від -40°C до +70°C _____

4. Зміст пояснювальної записки:

Виконати конструктивно - технологічний аналіз шахтної вагонетки. Обґрунтувати вибір способів зварювання. Вибрати зварювальні матеріали. Призначити зварні шви згідно нормативних документів. Розрахувати режими зварювання зварних швів і витрати зварювальних матеріалів, призначити параметри режимів зварювання. Вибрати устаткування для зварювання. Розробити технологічну послідовність складання-зварювання шахтної вагонетки. Виконати компонування установки для зварювання. Призначити способи контролю якості зварних швів. Розробити засоби технологічного спорядження на виробничій площі. Скласти операційну карту процесу зварювання. Зробити загальні висновки до технологічного розділу дипломного проєкту. Розрахувати економічний ефект від впровадження розробленої технології у виробництво. Розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1. Кресленик корпусу шахтної вагонетки (1 А1).
2. Схема технологічного процесу виготовлення корпусу шахтної вагонетки (1 А1).
3. Кресленик складання корпусу шахтної вагонетки (1 А1).
4. Кресленик зварювання шву №1 корпусу шахтної вагонетки (1 А1).
5. Кресленик зварювання шву №2 корпусу шахтної вагонетки (1 А1).
6. План виробничої площі для зварювання корпусу шахтної вагонетки (1 А1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічний розділ	Нараєвський С. В., доц.		
Охорона праці	Левченко О. Г., зав. каф.,		

7. Дата видачі завдання: 20 квітня 2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Прим.
1	Аналіз літератури за темою проєкту	до 30 квітня	
2	Детальна розробка і обґрунтування проєктних рішень технологічної частини проєкту	до 15 травня	
3	Розробка стартап-проєкту	до 20 травня	
4	Розробка інженерних рішень з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	до 20 травня	
5	Оформлення графічного матеріалу	до 25 травня	
6	Оформлення пояснювальної записки і підготовка доповіді на захист	до 9 червня	

Студент

(підпис)

Вячеслав КРАЙНІЙ

Керівник

(підпис)

Ігор СМІРНОВ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломного проєкту: 80 сторінок тексту, 20 рисунків, 10 таблиць, 48 джерел, 5 додатків.

АВТОМАТИЗАЦІЯ,ЗВАРЮВАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ, ВИРОБНИЦТВО, КАНТУВАЧ, ДЕФЕКТ, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, ЗВАРНЕ З'ЄДНАННЯ, ЗВАРНИЙ ШОВ, ЗВАРЮВАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ РОБОТ, ОСНАСТКА, СКЛАДАННЯ, СТАРТАП, ЯКІСТЬ, S355J2W.

У дипломному проєкті розроблено технологію складання та зварювання корпусу шахтної вагонетки зі сталі S355J2W. Визначено конструктивні особливості, механічні властивості, хімічний склад матеріалу, його зварюваність і потенційні дефекти. Обрано метод зварювання в суміші газів 135 (MAG) відповідно до вимог експлуатації виробу.

Підібрано зварювальне обладнання: джерело живлення, горизонтальний двостояковий обертач і 6-осьовий зварювальний робот. Спроектовано виробничу площу з розміщенням устаткування, проїздів і компонування у споруді з одним прольотом та двома рядами колон.Розроблено зварювальну оснастку для складання.

Оцінено умови праці, ризики виробництва, розраховано вентиляцію, освітлення й мікроклімат на робочих місцях. Відповідно до правил, велика увага приділяється запобіганню безпеці та ризикам на робочому місці при використанні зварювального обладнання.

Останнім етапом було створення стартап-проєкту з залученням інвестицій, аналізом можливостей виходу на ринок та введенням проєкту в експлуатацію. SWOT-аналіз з аналогами, аналіз конкуренції та аналіз переваг продукту на ринку.

ABSTRACT

Explanatory note of the diploma project: 80 pages of text, 20 figures, 10 tables, 48 sources in the bibliography, 5 appendices.

AUTOMATION, WELDING, VENTILATION, MANUFACTURING, PRODUCTION, TILTER, DEFECT, POWER SUPPLY, WELDED JOINT, WELD SEAM, WELDING, OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY, WELDING ROBOT, TOOLING, ASSEMBLY, STARTUP, QUALITY, S355J2W.

The diploma project develops the assembly and welding technology for a mine car body made of S355J2W steel. The design features, mechanical properties, chemical composition of the material, its weldability, and potential defects have been determined. The 135 (MAG) welding method in a gas mixture was selected according to the operational requirements of the product.

Welding equipment has been selected: a power supply, a horizontal two-post positioner, and a 6-axis welding robot. The production area was designed, including the layout of equipment and driveways within a single-span building with two rows of columns. Welding tooling for assembly has been developed.

Working conditions and production risks have been evaluated; ventilation, lighting, and the microclimate at the workplaces have been calculated. In accordance with the regulations, significant attention is paid to ensuring safety and preventing risks at the workplace when using welding equipment.

The final stage was the creation of a startup project, which included attracting investment, analyzing market entry opportunities, and commissioning the project. It features a SWOT analysis with analogs, a competitive analysis, and an analysis of the product's advantages in the market.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	8
ВСТУП.....	11
1 КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБУ.....	12
1.1 Опис конструкції виробу та умови експлуатації	12
1.2 Вибір основного матеріалу.....	13
1.3 Аналіз зварюваності матеріалу конструкції.....	15
1.4 Вибір способу зварювання	17
1.5 Вибір зварювальних матеріалів	18
1.6 Вибір металевих заготовок.....	19
1.7 Аналіз зварних з'єднань	19
1.8 Розрахунок режимів зварювання.....	22
1.9 Опис технологічного процесу виготовлення зварного виробу	26
1.10 Процеси та обладнання заготівельного етапу	27
1.11 Обладнання для складання-зварювання	30
1.12 Контроль зварних з'єднань	40
1.13 План виробничої площі	41
2 РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ	42
2.1 Обґрунтування розроблення оснастки.....	42
2.2 Технічні вимоги до оснастки	43
2.3 Вибір технологічних баз та схема базування заготовок	44
2.4 Складальна операція	44
ВИСНОВКИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗДІЛУ	46
3 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	47
3.1 Вступ та обґрунтування доцільності проєкту	47
3.2 Комерціалізація розробки та стартап-потенціал проєкту	48
3.3 Розрахунок собівартості зварювання	50
3.4 Розрахунок вартості обладнання для виготовлення шахтної вагонетки... 52	

					ЗВ-21.04.00.000 ПЗ			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Крайній В.О			Технологія складання та зварювання корпусу шахтної вагонетки	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Смирнов І.В					6	79
						КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е.О. Патона		
Н. контр.		Лисак В.В						
Затверд.		Квасницький В.В						

ВИСНОВКИ ДО ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗДІЛУ	58
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	59
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....	60
4.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	62
4.3 Вимоги до технологічних процесів та обладнання	63
4.4 Вимоги до виробничих приміщень та робочих місць	63
4.5 Захист від оптичного та теплового випромінювання.....	64
4.6 Електробезпека	64
4.7 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).....	65
4.8 Екологічні заходи	66
4.9 Розрахунок інженерного рішення	67
4.10 Пожежна безпека.....	68
4.11 Засоби пожежогасіння та сигналізація.....	68
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ ОХОРОНА ПРАЦІ	70
ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	73
ДОДАТКИ.....	79

						Арк.
						7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВТК – працівник відділу технічного контролю

ГДК – гранично допустима концентрація

ГДР – гранично допустимий рівень

ГТ – гарячі тріщини

ДБН – державні будівельні норми

ДНАОП – державні нормативи з охорони праці

ДСН – державні санітарні норми

ДСП – державні санітарні правила

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

ЗТВ – зона термічного впливу

ІЧ – інфрачервоне випромінювання

МОЗ України – міністерство охорони здоров'я України

ПВ – робочий цикл, питома тривалість вмикання

ТУ України – технічні умови, затверджені в Україні

ХТ – холодні тріщини

ЧПК – числове програмне керування

Ar – argon, аргон, інертний газ

CO – оксид вуглецю

DIN – Deutsches Institut für Normung, німецький інститут стандартизації

EN – European Norm, європейський стандарт

MAG – metal active gas, зварювання плавким електродом в активному газі

MIG – metal inert gas, зварювання плавким електродом в інертному газі

MMA – manual metal arc, ручне дугове зварювання

PA – welding position, нижнє положення при зварюванні

PB – welding position, горизонтальне положення на вертикальній площині

pWPS – preliminary welding procedure specification, попередня інструкція зварювального процесу

SAW – submerged arc welding, зварювання під флюсом

TIG – tungsten inert gas, аргонодугове зварювання неплавким електродом

						Арк.
						8
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

WPS – welding procedure specification, специфікація зварювального процесу

σ_b – межа короточасної міцності, МПа

σ_T – межа плинності, МПа

δ_5 – відносне видовження при розриві, %

HB 10⁻¹ – твердість по шкалі Брінелля, МПа

Q – теплова енергія, Дж

q — лінійна енергія або теплова енергія на одиницю довжини шва, Дж/мм

U — напруга на дузі, В

I — зварювальний струм, А

v — швидкість зварювання, мм/с або мм/хв

η — коефіцієнт корисної дії (ККД) процесу зварювання

ρ — густина металу, г/см³

P — потужність зварювальної дуги, Вт

F — площа поперечного перерізу шва, мм²

L — довжина зварного шва, мм

h — глибина проплавлення або висота шва, мм

K — катет шва, мм

V — об'єм наплавленого металу або шва, см³

τ — час нагрівання або зварювання, с

W — потужність джерела, Вт

HCS — індекс схильності до утворення гарячих тріщин

UCS — індекс чутливості до утворення гарячих тріщин

$C_{екв}$ — еквівалент вуглецю (показник, що характеризує схильність сталі до утворення холодних тріщин)

F — сила, Н

D_p — діаметр колеса передачі, мм

d_p — діаметр вала, мм

L_1 — важіль або часткова довжина, мм

m — маса, кг

g — прискорення вільного падіння, 9,81 м/с²

						Арк.
						9
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

μ — коефіцієнт тертя
 Δt — зміна температури, °C
 λ — коефіцієнт теплопровідності

						Арк.
						10
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Гірничодобувна промисловість є базовою галуззю економіки, ефективність якої безпосередньо залежить від надійності транспортних систем. Шахтна вагонетка залишається основним засобом переміщення гірничої маси, обладнання та матеріалів підземними виробками. Корпус вагонетки — це найбільш навантажений елемент конструкції, що постійно піддається механічним ударам при завантаженні, абразивному зносу та агресивному впливу шахтних вод.

Удосконалення технології виготовлення корпусу дозволяє не лише подовжити термін експлуатації рухомого складу, а й знизити собівартість видобутку корисної копалини за рахунок зменшення витрат на ремонти та обслуговування.

Під час проходження преддипломної практики на виробничому підприємстві було проведено аналіз технологічних процесів виготовлення металоконструкцій. Це дозволило виявити типові проблеми для складання та зварювання металоконструкцій. Серед них — точність складання, деформації після зварювання, потреба в жорсткому закріпленні деталей.

Тож метою дипломного проекту — це розробка оптимальної технології виготовлення корпусу шахтної вагонетки, який забезпечить відповідність технічним вимогам при раціональному використанні ресурсів підприємства та оптимальний рівень якості.

						Арк.
						11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБУ

1.1 Опис конструкції виробу та умови експлуатації

Корпус шахтної вагонетки є основним вантажонесучим елементом транспортної одиниці, що призначений для приймання, розміщення та транспортування насипних вантажів (вугілля, руди, породи) або допоміжних матеріалів в шахтах.

Функціональне призначення виробу включає:

- забезпечення цілісності вантажу: геометрія та герметичність корпусу запобігають втратам гірничої маси (просипанню дрібних фракцій) під час руху потяга;
- сприйняття силових навантажень: корпус виступає жорстким каркасом, який сприймає динамічні навантаження при падінні великих шматків породи з бункерів, а також статичне навантаження завантаженої породи;
- взаємодія з розвантажувальними механізмами: конструкція корпусу адаптована під конкретний спосіб спорожнення — через кругові перекидачі (для глухих кузовів), через дно, що відкривається, або через відкидний борт;
- інтеграція вузлів: корпус служить базою для монтажу ходової частини (скатів), зчіпних та буферних пристроїв, забезпечуючи передачу тягових і гальмівних зусиль між одиницями рухомого складу.

Корпус шахтної вагонетки складається з 2 деталей: корпус самої вагонетки та кришки. Ці деталі між собою з'єднуються зварюванням. Конструкція має наступні габаритні розміри: 1500 мм x 1600 мм x 800 мм; товщина стінки основних деталей 5 мм і 3 мм та приблизну вагу зварного виробу близько 500 кг.

Даний виріб призначений для експлуатації з впливом атмосферних умов, робоча температура від -10 °С до +50 °С. Також має значення абразивний вплив при виконанні зазначених функцій даної конструкції.

						Арк.
						12
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шахтна вагонетка виконує функцію транспортування сипучих матеріалів, що не вимагає дороговартісних матеріалів для виготовлення цього виробу, так як вагонетка має перевозити вантаж, які розміщується в середині самої вагонетки, виріб зазнає статичні та динамічні навантаження.

Прогнозований строк експлуатації від 5 до 10 років, в залежності від навантаження вантажу в вагонетці. 3D – модель шахтної вагонетки показано на рисунку 1.1.

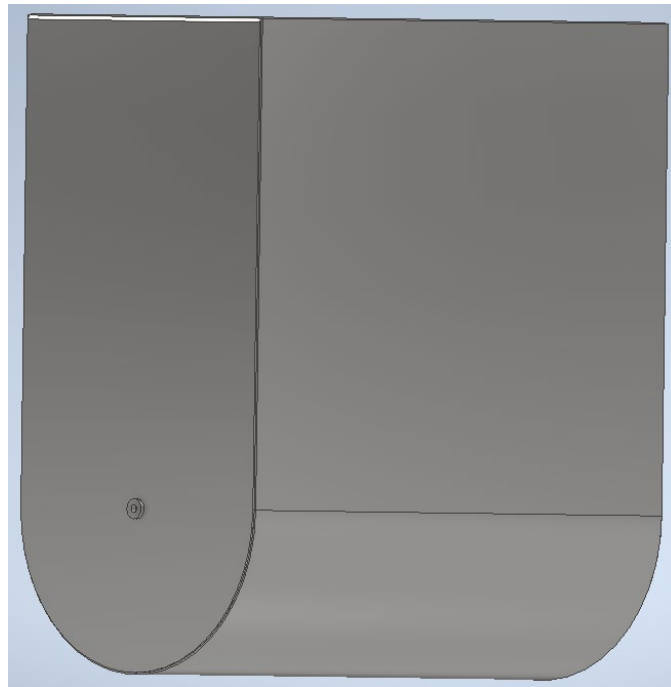


Рисунок 1.1 – 3D модель корпусу шахтної вагонетки

1.2 Вибір основного матеріалу

Для виготовлення корпусу шахтної вагонетки обрано конструкційну вуглецеву сталь S355J2W, яка відповідає вимогам до виробів, що експлуатуються в умовах помірних механічних навантажень, термічного впливу та абразивного зношування. Хімічний склад та механічні властивості наведено в таблиці 1.1 та 1.2.

Основні аргументи на користь цієї сталі:

- механічна міцність і пластичність: сталь S355J2W має мінімальну межу плинності 355 МПа, межу міцності до 630 МПа та хорошу ударну в'язкість при температурі до -20°C , що забезпечує достатню міцність

						Арк.
						13
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та надійність при транспортуванні сипучих матеріалів і при динамічних навантаженнях;

- зварюваність: ця сталь характеризується високою здатністю до зварювання без попереднього підігріву, що суттєво спрощує процес виготовлення вагонетки, знижуючи виробничі витрати;
- стійкість до зношування: хімічний склад сталі забезпечує задовільну зносостійкість, що важливо при експлуатації вагонетки в умовах дії абразивного матеріалу, такого як щебінь, пісок або вугілля;
- вартість і доступність: S355J2W є широко доступною маркою сталі в Україні та країнах ЄС, що дозволяє оптимізувати виробничі витрати без втрати якості;
- відповідність стандартам: сталь сертифікована згідно з EN 10025 – 5, що гарантує її відповідність вимогам якості для промислового машинобудування.

З огляду на поєднання механічних властивостей, технологічності та економічної доцільності, сталь S355J2W є оптимальним вибором для виготовлення шахтної вагонетки, що працює у складі гірничо-видобувного обладнання [1].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі S355J2W у % [2]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Cu	As
До 0.12	0.8 – 1.1	0.5 – 0.8	0.5 – 0.8	до 0.035	до 0.03	0.6 – 0.9	до 0.12	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі S355J2W [2]

Сортамент	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	HB 10 ⁻¹ , МПа
Лист	470 – 630	355	19	–

1.3 Аналіз зварюваності матеріалу конструкції

Сталь S355J2W необмежено зварювана, більшість способів зварювання підходять для даної марки сталі [3].

Щодо гарячих (кристалізаційних) тріщин, то ризик їхнього утворення для сталі S355J2W є мінімальним. Вміст вуглецю у сталі дуже низький ($C \leq 0,12 \%$), а шкідливі домішки (сірка та фосфор) обмежені жорсткими нормами (до 0,035%). Наявного марганцю (0,5 %...0,8 %) цілком достатньо для зв'язування сірки у тугоплавкі сульфідні (MnS), що повністю усуває проблему утворення легкоплавких ефтектив та виникнення гарячих тріщин по межах зерен при кристалізації шва.

Отже потрібно вжити заходи для попередження гарячих тріщин, контролювати погонну енергію, додати розкислювачі: марганець; та підібрати зварювальний дріт з меншим вмістом домішок: сірки та фосфору.

Оцінку схильності сталі до утворення холодних тріщин виконують за загальноприйнятою формулою [3]

Схильність до утворення холодних тріщин:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (1.1)$$

де C — масова частка вуглецю у сталі, %;

Mn — масова частка марганцю у сталі, %;

Cr — масова частка хрому у сталі, %;

Mo — масова частка молібдену у сталі, %;

V — масова частка ванадію у сталі, %;

Ni — масова частка нікелю у сталі, %;

Cu — масова частка міді у сталі, %.

Підставимо у формулу максимальні значення елементів з таблиці 1.1:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} = 0,12 + \frac{0,8}{6} + \frac{0,9 + 0 + 0,12}{5} + \frac{0,8 + 0,6}{15} = 0,31$$

Таким чином, при вмісті в сталі S355J2W легуючих елементів та домішок з найбільшим можливим вмістом і $C_{\text{екв}} = 0,31$, що в межах допустимих від 0,30 до 0,45, утворення холодних тріщин маловірогідне, та у виробництві вміст в сталі

						Арк.
						15
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

домішок в таких об'ємах також мало можливе, тому холодні тріщини не створюють проблем для зварювання.

Далі оцінимо схильність до виникнення холодних тріщин (рисунк 1.2) після зварювання. В Simufact welding [4] показник опору холодним тріщинам вказується через Триосність (Triaxiality) це дуже важливий безрозмірний коефіцієнт в механіці руйнування. Він обчислюється як відношення середнього (гідростатичного) напруження до еквівалентного напруження за Мізесом.

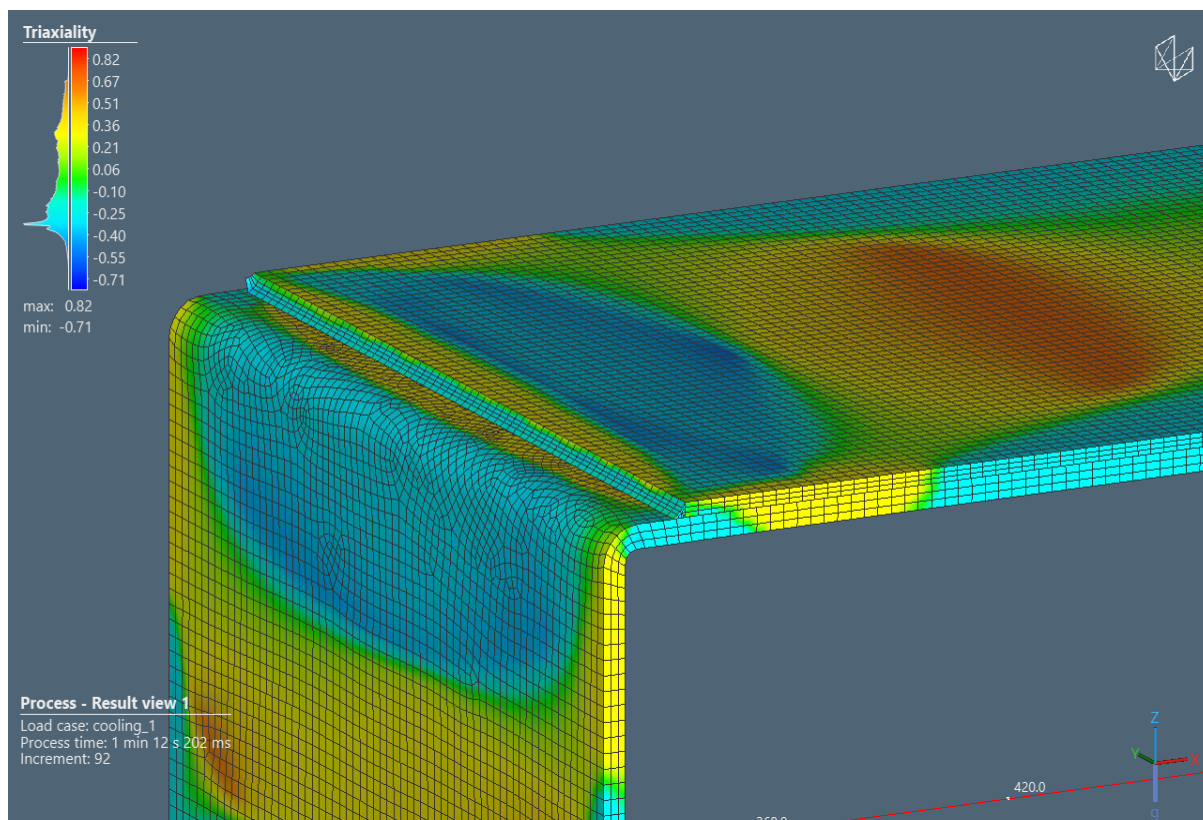


Рисунок 1.2 – Схильність до виникнення холодних тріщин в ЗТВ

Прирівняємо показник триосності (Triaxiality) до показника виникнення холодних тріщин (HCS). Як бачимо на рисунку 1.2 зона термічного впливу майже не схильна до холодних тріщин, що і підтверджують розрахунки за формулою (1.1).

Тобто, підбиваючи підсумки по здатності до зварювання сталі S355J2W, можемо визначити, що труднощі в технології зварювання можуть виникнути саме через гарячі тріщини, боротьба з ГТ полягає в подрібненні кристалів при кристалізації металу зварного шва, додаванні розкислювачів (Si, Mn), зварюванні

						Арк.
						16
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якісним електродним дротом зі зменшеним вмістом сірки та фосфору внесенням марганцю з кремнієм.

1.4 Вибір способу зварювання

Для сталі S355J2W підходить будь який спосіб зварювання, але задля продуктивності, потрібен механізований спосіб зварювання. Для сталі S355J2W підходить ручне дугове покритим електродом та механізоване зварювання плавким електродом в активному газі. Оскільки обсяг виробів (100 шт.), та зварні шви мають складну геометрію доцільно автоматизувати цей процес. Автоматизація полягає в використанні зварювального робота. Роботизоване зварювання дозволяє зменшити витрати на зварювання, зменшити час на виконання зварювання, та зменшити навантаження на зварника.

Таблиця 1.3 – Вибір типових способів зварювання [5].

	111/ MMA	135/ MAG	131/ MIG	121/ SMAW	31/Gas	141/ TIG	151/Pla- sma	52/La -ser
Матеріал G3Si1	+	+	–	+	(+)	++	(+)	(+)

“+” - рекомендується, “(+)” - рекомендується обмежено, “-” - не рекомендується.

Зварювання покритим електродом (111/MMA) підходить лише для виконання прихоплень, але це малопродуктивний спосіб зварювання, висока собівартість, та менша продуктивність зварювання ще й за рахунок того, що потрібно виконувати додаткові слюсарні операції, такі як наприклад відбивання та зачищення шлаку. Також цей спосіб зварювання потребує високої кваліфікації зварника.

Механізоване зварювання плавким електродом в активному газі (135/MAG) має більшу продуктивність, нижчу собівартість, прибирає необхідність в операції зачищення зварного шва від шлаку, та не витрачає час на заміну штучного покритого електрода.

Автоматичне зварювання під флюсом SAW (121) відзначається високою швидкістю зварювання та глибоким проплавленням. Проте цей процес підходить

						Арк.
						17
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для зварювання великих товщин від 5 мм. Також цей спосіб має велике тепловкладення, що сприяє утворенню крупнозернистої структури у металі зварного шва та зоні термічного впливу, що призводить до зниження механічних властивостей, особливо ударної в'язкості та міцності, а також зростає ризик крихкого руйнування.

Зварювання неплавким електродом в інертному газі TIG (141) є оптимальним способом зварювання для високолегованих, корозійностійких сталей або інших металів таких як титан і тд. Цей спосіб має кращий контроль зварювальної ванни та високе проплавлення, але має низьку продуктивність в порівнянні з механізованим зварюванням в захисних газах.

Тож інші способи зварювання є дорогавартісними та економічно недоцільними, задля автоматизації та продуктивності було обрано механізоване зварювання плавким електродом в суміші газів (135/MAG).

1.5 Вибір зварювальних матеріалів

Для зварювання сталі S355J2W, в якості захисного газу обираємо зварювальну суміш (82% Ar + 18% CO₂) групи M21 (ДСТУ EN ISO 14175:2014) [6], зварювальний дріт G 3Si1 (ДСТУ EN ISO 14341:2022) [7].

Зварювальний дріт підібрано задля зниження вмісту сірки та фосфору, та для мінімізації вірогідності утворення гарячих тріщин. Хімічний склад дроту наведений в таблиці 1.4. Використання зварювальної суміші дозволяє зменшити розбризкування, покращити формування зварного шва та збільшити якість зварного шва. Хімічний склад зварювальної суміші наведений в таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад зварювального дроту G3Si1 у % [8].

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Al	Cu	Ti	Zr
0.06 – 0.14	0.7 – 1	1.3 – 1.6	до 0.15	до 0.015	до 0.025	до 0.15	до 0.03	до 0.02	до 0.2	до 0.15	до 0.15

Таблиця 1.5 – Класифікація захисного газу для зварювання сталі G3Si1 об'єм у % [6].

Група	Підгрупа	CO ₂	O ₂	Ar	H ₂
M2	1	15≤ CO ₂ ≤25	—	баланс	—
	2	—	3≤ O ₂ ≤10	баланс	—
	3	0,5≤ CO ₂ ≤5	3≤ O ₂ ≤10	баланс	—
	4	5≤ CO ₂ ≤15	0,5≤ O ₂ ≤3	баланс	—

1.6 Вибір металевих заготовок

Для виготовлення корпусу шахтної вагонетки використовується прокат стандартної товщини, 5 мм для основних несучих деталей (корпус), 3 мм для кришки [9].

Для виготовлення необхідних деталей (розглядається в завданні) потрібно взяти листовий прокат потрібної товщини.

1.7 Аналіз зварних з'єднань

Зварювання корпусу шахтної вагонетки передбачає виконання одного типу зварного з'єднання та 8 зварних швів.

При зварюванні шву №1 кутового шва, напусткового з'єднання слід використовувати стандарти для контролю з'єднання. За стандартом ISO 9692-1 номер зварного з'єднання позначається як 3.1.2 [10]. Параметри зварювання обрано за найменшою товщиною заготовки. Положення при зварюванні ISO 6947 – РВ [11]. Довжина шва 1410 мм. Детально зварний шов №1 зображений на рисунку 1.3.

						Арк.
						19
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зварний шов №1 (1 : 1)

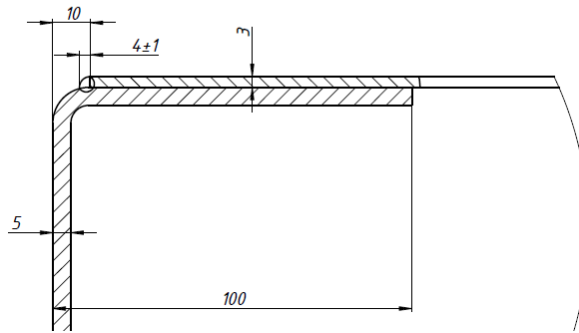


Рисунок 1.3 – Ескіз зварного з'єднання №1

Другий шов – кутовий, з'єднує бокову кришку, корпус вагонетки та верхню кришку. Довжина шва 4418 мм. Розробка крайок не виконується, зварювання виконується по замкнутому контуру. Номер зварного з'єднання за ISO 9692-1 – 3.1.3 [10]. Положення при зварюванні ISO 6947 – РВ [11]. Детально зварний шов №2 зображений на рисунку 1.4.

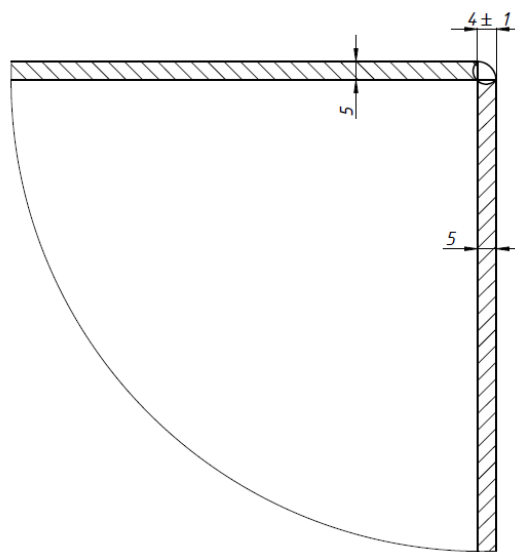


Рисунок 1.4 – Ескіз зварного з'єднання №2

Третій – кутовий зварний шов з'єднує шайбу з боковою кришкою. Довжина зварного шва 157 мм. Кутовий шов №3 зварюється після зварювання бокової кришки що зменшує час на зварювання всієї вагонетки. Номер зварного з'єднання за ISO 9692-1 – 3.1.3 [10]. Положення при зварюванні ISO 6947 – РВ [11]. Детальне зображення зварного шва №3 показане на рисунку 1.5.

						Арк.
						20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

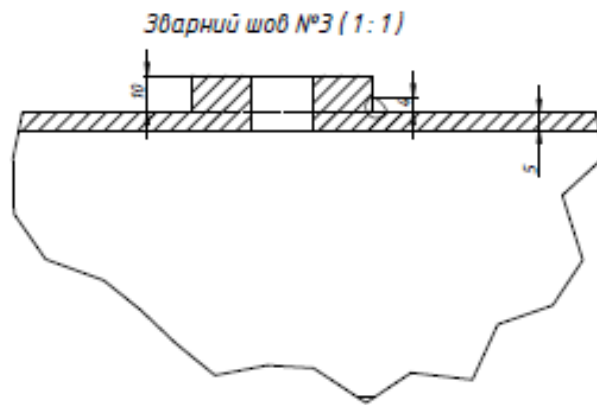


Рисунок 1.5 – Ескіз зварного з'єднання №3

Для зручності сприйняття всі зварні шви подані в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Технологічний аналіз зварних швів

№ з/п	Тип шва/ з'єднувані деталі	Тип з'єднання	Положення	Довжина, мм	№ з'єднання за ISO 9692-1	Кількість однакових швів
1	Кутове, верхня кришка з боковою кришкою та корпусом	Напусткове	Нижнє РВ	1410	3.1.2	4
2	Кутовий, бокова кришка з корпусом	Кутове	Нижнє РВ	4418	3.1.3	1
3	Кутовий, шайба з корпусом	Кутове	Нижнє РВ	157	3.1.3	2

1.8 Розрахунок режимів зварювання

Режим зварювання – один із ключових чинників, що впливає на якість та міцність зварного з'єднання. В довідковій літературі рідко зазначені універсальні параметри, оскільки вони залежать від багатьох факторів. Наприклад від габаритів конструкції, просторового положення, способу зварювання, товщини металу, температури навколишнього середовища та багато іншого. Тож розрахуємо режими зварювання за формулами [12].

Розрахуємо катет зварного шва для кутових швів. Катет розраховується виходячи з товщини основного металу та типу з'єднання.

$$K_{\max} = 1,2 \cdot K_{\min}, \quad (1.2)$$

$$K_{\min} = S_{\min}, \quad (1.3)$$

де K – катет зварного шва, мм;

$S_{\min}$ – товщина металу, мм.

$$K_{\min} = S_{\min} = 3 \text{ мм}$$

$$K_{\max} = 1,2 \cdot K_{\min} = 1,2 \cdot 3 = 3,6 \text{ мм.}$$

Приймаємо катет 4 мм.

Далі розрахуємо опуклість зварного шва:

$$g = 0,3 \cdot K, \quad (1.4)$$

$$g = 0,3 \cdot K = 0,3 \cdot 4 = 1,2 \text{ мм.}$$

Розрахуємо площу наплавленого металу:

$$F_{\text{н}} = \frac{1}{2} \cdot K^2 + 0,7 \cdot e \cdot g, \quad (1.5)$$

де e – ширина зварного шва, мм;

g – опуклість зварного шва, мм.

Приймаємо $e = K$

$$F_{\text{н}} = \frac{1}{2} \cdot K^2 + 0,7 \cdot e \cdot g = \frac{1}{2} \cdot 4^2 + 0,7 \cdot 4 \cdot 1,2 = 11,36 \text{ мм}^2,$$

де $F_{\text{н}}$ – площа наплавленого металу, мм².

						Арк.
						22
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо діаметр електроду:

$$d_e = K_d \cdot F_H^{0,625}, \quad (1.6)$$

$$d_e = K_d \cdot F_H^{0,625} = (0,149 \dots 0,409) \cdot 11,36^{0,625} = 0,68 \dots 1,86 \text{ мм},$$

де K_d – коефіцієнт з таблиці №20 [12] для механізованого зварювання в захисних газах.

З отриманого діапазону значень обираємо $d_e = 1,2 \text{ мм}$

Розрахуємо швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{15,9 \cdot d_e^2 \cdot 67,4 \cdot d_e^{1,5}}{F_H}, \quad (1.7)$$

де $V_{зв}$ – швидкість зварювання, мм/сек.

$$\begin{aligned} V_{зв} &= \frac{8,9 \cdot d_e^2 + 50,6 \cdot d_e^{1,5}}{F_H} = \frac{8,9 \cdot 1,2^2 + 50,6 \cdot 1,2^{1,5}}{11,36} = \\ &= 6,98 \text{ мм/сек або } 25,12 \frac{\text{м}}{\text{год}}. \end{aligned}$$

Отримане значення $V_{зв}$ входить в діапазон автоматичного зварювання (4...20 мм/сек).

Тож приймаємо $V_{зв} = 6,98 \text{ мм/сек}$

Розрахуємо швидкість подачі дроту:

$$V_{под} = \frac{4 \cdot F_H \cdot V_{зв}}{\pi \cdot d_e \cdot (1 - \varphi)}, \quad (1.8)$$

де $V_{под}$ – швидкість подачі дроту, мм/сек;

π – число пі;

φ – коефіцієнт втрати на розбризкування.

$$V_{под} = \frac{4 \cdot F_H \cdot V_{зв}}{\pi \cdot d_e \cdot (1 - \varphi)} = \frac{4 \cdot 11,36 \cdot 6,98}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot (1 - 0,1)} = 77,93 \text{ мм/сек}.$$

Розрахуємо зварювальний струм:

$$I_c = d_e \left(\sqrt{1450 \cdot d_e \cdot V_{под} + 145150} - 382 \right), \quad (1.9)$$

де I_c – сила зварювального струму, А.

						Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_c = d_e \left(\sqrt{1450 \cdot d_e \cdot V_{\text{под}} + 145150} - 382 \right) =$$

$$= 1,2 \cdot \left(\sqrt{1450 \cdot 1,2 \cdot 77,93 + 145150} - 382 \right) = 177 \text{ A.}$$

Розрахуємо зварювальну напругу:

$$U_c = 14 + 0,05 \cdot I_c, \quad (1.10)$$

де U_c – зварювальна напруга, В.

$$U_c = 14 + 0,05 \cdot I_c = 14 + 0,05 \cdot 177 = 22,85 \text{ В.}$$

Виліт електроду розраховується для всіх зварних з'єднань за наступною формулою:

$$L_B = 10 \cdot d_e, \quad (1.11)$$

де d_e – діаметр електроду, мм;

L_B – виліт електроду, мм.

$$L_B = 10 \cdot d_e = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ мм.}$$

Розрахуємо витрату захисного газу:

$$q = 0,0033 \cdot I_c^{0,75}, \quad (1.12)$$

де q – витрата захисного газу, л/сек або л/хв.

$$q = 0,0033 \cdot I_c^{0,75} = 0,0033 \cdot 177^{0,75} = 0,16 \text{ л/сек (10 л/хв).}$$

Так як всі зварні шви є кутовими приймемо розрахунки режиму зварювання для всіх з'єднань та зведемо всі розрахунки в таблицю.

Таблиця 1.7 – Режим зварювання

Товщина металу, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга дуги, В	Швидкість зварювання, м/год	Витрата газу, л/хв	Рід струму, полярність
3	1,2	177	22,85	25,12	10	DC, +

Для попередньої оцінки режиму зварювання перед зварюванням на виробництві корпусу вагонетки проведемо симуляцію зварювання в Simufact welding [4]. Для цього змоделюємо невеликий шматок майбутнього зварного з'єднання №1 та ведемо параметри зварювання з таблиці 1.7. Результати моделювання наведено на рисунку 1.6.

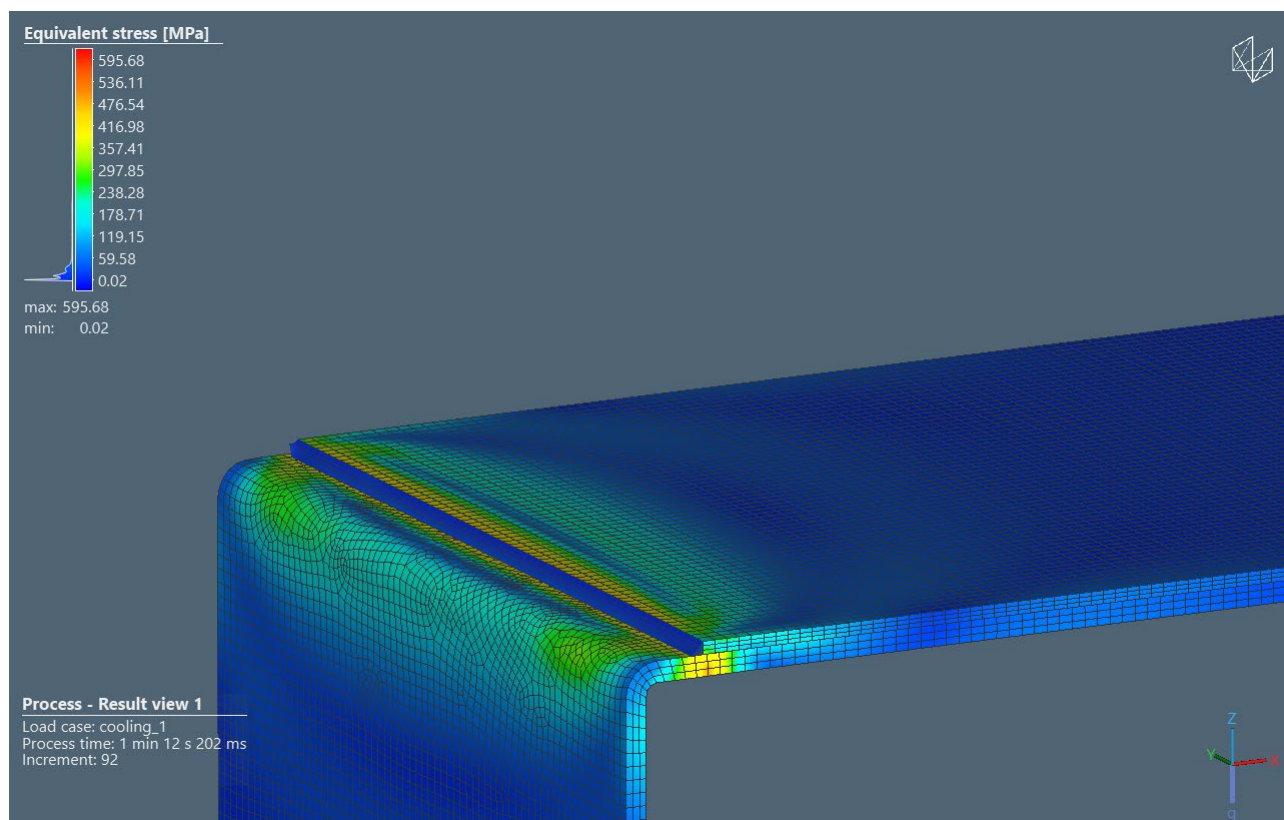


Рисунок 1.6 – Еквівалентні напруження за Мізесом в ЗТВ

Як бачимо на рисунку 1.6 максимальні напруження (595,68 МПа) перевищують межу текучості, але не перевищують межу міцності матеріалу (640 МПа). Це свідчить про те, що в зоні термічного впливу (ЗТВ) відбулася пластична деформація та сформувалися високі залишкові зварювальні напруження. Це абсолютно нормальний процес для зварювання товстолистового металу без подальшої термічної обробки (відпуску).

						Арк.
						25
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.9 Опис технологічного процесу виготовлення зварного виробу

Заготівельний етап:

- на цьому етапі відбувається підготовка деталей з листового прокату. Сталь S355J2W має хорошу оброблюваність.
- очищення прокату: дробеструминне або механічне очищення листів від окалини, іржі та бруду для забезпечення високої якості майбутніх зварних швів.
- розкрій: лазерне різання з ЧПК листового металу для отримання заготовок кришок та корпусу.
- гнуття: формоутворення гнутого корпусу на вальцах.
- підготовка кромки: механічна обробка (зачищення) для деталей після різання.

Складання деталей:

складання корпусу вагонетки вимагає жорсткої фіксації деталей для зменшення зварювальних деформацій.

– базування: встановлення корпусу вагонетки на двостояковий кантувач.
встановлення вузлів: послідовне встановлення двох бокових кришок та верхньої кришки.

фіксація та прихоплення: закріплення деталей спеціальною зварювальною оснасткою. Виконання прихоплень (процес 135).

Зварювання:

після складання виріб одразу зварюється на тому самому двостояковому кантувачі.

- зварювання: роботизоване зварювання суцільним дротом у суміші захисних газів (82% Ar + 18% CO₂).
- позиціонування (кантування): обертач кантує корпус вагонетки, перетворюючи всі складні просторові положення на зручне нижнє (РА).
- Етап контролю якості (НЗК):
- візуально-вимірний контроль проводиться (VT) згідно з ДСТУ EN ISO 17637 [13]: перевірка усіх швів на наявність зовнішніх дефектів

						Арк.
						26
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(підрізів, пор, нерівномірності катета, незаварених кратерів) за допомогою універсальних шаблонів зварника та лупи.

Завершальний етап:

- механічна обробка: зачищення швів від бризок.
- антикорозійний захист: нанесення захисного лакофарбового покриття, що витримує агресивні умови експлуатації в шахті.

1.10 Процеси та обладнання заготівельного етапу

Оскільки корпус вагонетки включає в себе три деталі це корпус самої вагонетки та верхня і бокова кришки, то надалі буде опис всієї деталі.

Розкрій:

розкрій листового прокату зі сталі S355J2W виконується методом високоточного термічного різання на волоконному лазерному комплексі з ЧПК. Використання лазерного розкрою замість механічного рубання на гільйотині забезпечує високу точність деталей, мінімальну ширину різку та ідеально чисту кромку без зминання, грату чи задирок. Оскільки при лазерному розкрої у середовищі захисних газів термічний вплив на краї є локальним і мінімальним, це запобігає небажаному нагартуванню чи насиченню азотом зварювальних крайок, що позитивно впливає на якість майбутніх швів.

Дана операція буде виконуватись на промисловому оптоволоконному лазерному верстаті з ЧПК ARAMIS LTC-85 (рисунок 1.7) [14].

						Арк.
						27
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.7 – Комплекс лазерного розкрою з ЧПК ARAMIS LTC-85

Наведено деякі характеристики установки ARAMIS LTC-85:

- розмір поля обробки (робочий стіл): 1500 мм x 3000 мм;
- середня потужність лазерного випромінювання: 4000 Вт;
- максимальна векторна швидкість переміщень XY: 120 м/хв;;
- товщина оброблюваного листа (чорна сталь): 0,5 мм – 20 мм;
- точність позиціонування по осях координат: $\pm 0,02$ мм;
- ширина плями сфокусованого випромінювання: 0,07 мм – 0,15 мм;
- напруга живлення мережі: ~ 380 В $\pm 18\%$ (50 Гц, 3 фази).

Формування:

- формування виконується на вальцях. Для цієї задачі потрібно обрати вальці, які здатні деформувати листову сталь товщиною 5 мм. Отже обрано вальці Bendmak CYL-ST 200-30/6.0 (рисунок 1.8) з запасом до 6 мм товщини заготовок, задля збільшення ресурсу обладнання, не виводячи його на граничні навантаження.

Нижче наведено габаритні розміри та характеристики вальців:

- довжина 4800 мм;
- ширина 1300 мм;
- висота 1270 мм;
- вага вальців 4800 кг.

						Арк.
						28
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип конструкції: 3-валкові асиметричні вальці (Initial Pinch). Така схема дозволяє попередньо затискати лист між верхнім і нижнім валками, що мінімізує рівну (незвальцьовану) ділянку на краях деталі.

- Матеріал станини: зварна конструкція з конструкційної сталі ST-52;
- Валки: загартовані струмами високої частоти (індукційне гартування) та поліровані, що дозволяє працювати з різними матеріалами без ризику пошкодження поверхні валків;
- Привід: обертання верхнього та нижнього валків здійснюється за допомогою електродвигуна з гальмом та планетарного редуктора;
- Налаштування: задній (боковий) валок регулюється за допомогою мотора, що полегшує процес згинання;
- Конічне вальцювання: у стандартну комплектацію входить пристосування для згинання конусів;
- Зняття деталі: верхній валок відкидається вбік для зручного та швидкого зняття згорнутої в циліндр (або конус) заготовки;
- Керування: незалежний мобільний пульт керування з педалями та цифровою індикацією (цифровий дисплей для заднього валка).



Рисунок 1.8 — Вальці Bendmak CYL-ST 200-30/6.0

Отже вальці Bendmak CYL-ST 200-30/6.0 – задовольняють потребу в виконанні формувальної операції [15].

						Арк.
						29
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.11 Обладнання для складання-зварювання

Для виконання зварювання потрібне джерело живлення з відповідними характеристиками та зварювальний робот, задля автоматизації процесу.

Зварювальний робот є універсальним він може виконувати як прихоплення так і зварювання. Робот може виконувати зварювання в різних просторових положеннях.

Разом з зварювальним роботом використовується система витяжної вентиляції xFUME ROBO (рисунок 1.9) від компанії Abicor Binzel [16]. Вентиляція є невід'ємною складовою захисту органів дихання в процесі зварювання.

Докладніший опис обраної вентиляційної установки, її технічні характеристики, а також дотримання санітарно-гігієнічних норм детально розписано в розділі «Охорона праці».



Рисунок 1.9 – Система видалення зварювального диму xFUME ROBO

Для виконання зварювання використовуємо зварювальний робот (рисунок 1.10) Welding robot – MR10W-1440-D [17].

						Арк.
						30
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.10 – Welding robot MR10W-1440-D

Характеристики зварювального робота:

- тип робота: 6 осьовий;
- максимальний робочий радіус: 1440 мм;
- маса робота: 210 кг;
- повторюваність: $\pm 0,05$ мм;
- діаметр зварювального дроту: 0.6 – 1.4 мм;
- напруга мережі: 220/380 В, 50/60 Гц;

В якості джерела живлення для зварювального робота було обрано Lincoln electric power mig 260 (рисунок 1.11) [18].

						Арк.
						31
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.11 – Джерело живлення Lincoln electric power mig 260

Характеристики джерела живлення:

- тривалість ввімкнення: 75%;
- максимальний струм зварювальний струм: 300 А;
- максимальний струм при ТВ 100%: 230 А;
- мінімальний струм зварювання: 30 А;
- діаметр зварювального дроту: 0.8 – 1.6 мм;
- напруга мережі: 380 В, 50/60 Гц;

						Арк.
						32
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки виріб має складну геометрію зварних швів було обрано двостояковий горизонтальний обертач з поворотною рамою (рисунок 1.12) [19].

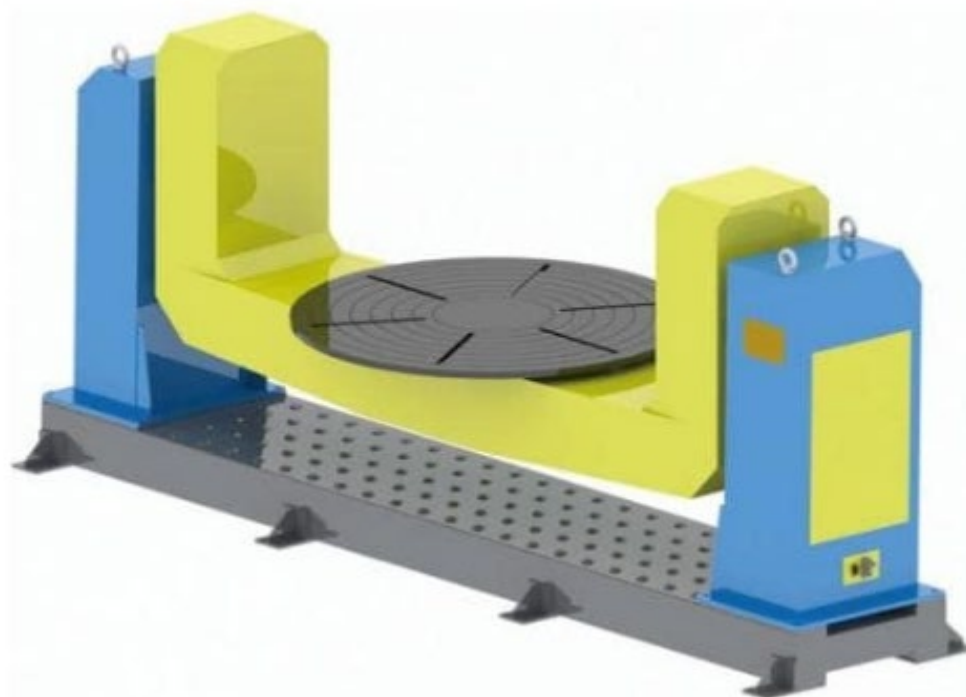


Рисунок 1.12 – Двостояковий горизонтальний обертач EVS-DWP-U

Цей двоосьовий сервопозиціонер U-подібного типу складається із суцільної зварювальної рами, поворотної платформи, високоточного редуктора RV, серводвигуна змінного струму, опорного вузла обертання, струмопровідної системи, захисного кожуха та електричної системи керування.

Уся зварювальна рама виготовлена з високоякісного профілю; для зняття внутрішніх напруг після зварювання проводився відпал, що забезпечило високу точність подальшої механічної обробки та надійність в експлуатації. Антикорозійне лакофарбове покриття має естетичний вигляд, а його колір може бути обраний індивідуально.

Поворотна платформа виготовлена з високоякісного сталевого профілю та піддана професійній механічній обробці. На її поверхні передбачені стандартні глухі різьбові отвори для встановлення позиціонуючої оснастки; Після оксидування поверхня пофарбована в чорний колір.

						Арк.
						33
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Серводвигун змінного струму, який працює в парі з редуктором RV, гарантує високу стабільність обертання, точність позиціонування, тривалий термін служби та низький рівень відмов.

Струмопровідний механізм виготовлений з латуні, що забезпечує ідеальну провідність. Основа має суцільну ізоляцію для надійного захисту серводвигуна, роботизованого комплексу, зварювального апарата тощо. Приклад розрахункової схеми наведено на рисунку 1.13.

Виконаємо перевірочний розрахунок двостоякового горизонтального обертача з поворотною рамою за формулами з методички [20]:

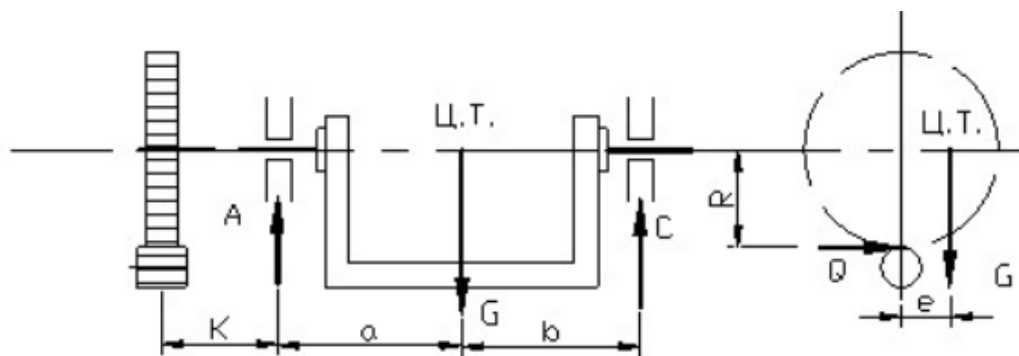


Рисунок 1.13 – Розрахункова схема обертача з поворотною рамою

Задамо числові дані характеристик виробу та геометричних параметрів кантувача:

– маса виробу: $m = 500$ кг.

Значення геометричних параметрів:

– радіус зубчастого вінця: $R = 0,25$ м;

– ексцентриситет: $e = 0,4$ м;

– відстань між центром зубчастого вінця та опорою А: $k = 0,1$ м, $b = 1,2$ м, $a = 1,4$ м.

Вага виробу визначається за формулою (1.13):

$$G = 9,8 \cdot m, \quad (1.13)$$

де G – вага виробу, Н;

m – маса виробу, кг.

$$G = 9,8 \cdot m = 9,8 \cdot 500 = 4900 \text{ Н.}$$

						Арк.
						34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність двигуна визначається за формулою (1.14):

$$N_d = \frac{M_{кр} \cdot 2\pi \cdot n}{\eta_{пр}}, \quad (1.14)$$

де $\eta_{пр}$ – загальний ККД приводу обертача;

n – кількість обертів двигуна, об/сек;

$\eta_{пр}$ – ККД редуктора.

ККД редуктора розраховується за формулою (1.15):

$$\eta_{пр} = \eta_1 \cdot \eta_2, \quad (1.15)$$

де η_1 – ККД циліндричного редуктора;

η_2 – ККД черв'ячного редуктора.

Користуючись таблицею 1.8, оберемо значення η_1 та η_2 :

Таблиця 1.8 – ККД приводів

Найменування	Значення ККД для передач	
	Закритої	Відкритої
1.Зубчата передача:		
Циліндрична –	0,96 – 0,98	0,93 – 0,95
Конічна –	0,95 – 0,97	0,92 – 0,94
Косозуба –	0,85 – 0,92	-
2.Червячна передача:		
Однозахідна –	0,7 – 0,8	-
Двозахідна –	0,75 – 0,85	-
Трьохзахідна –	0,82 – 0,9	-
Чотирьохзахідна –	0,87 – 0,92	-
Гіберболоїдна –	0,85	-
3.Пасова передача:		
З пласким пасом –	-	0,96 – 0,97
З клиновим пасом –	-	0,95 – 0,96
З зубчатим пасом –	-	0,94 – 0,95

Приймаємо: $\eta_1 = 0,95$, $\eta_2 = 0,75$, звідси:

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,95 \cdot 0,75 = 0,71.$$

Максимальний крутний момент дорівнюватиме сумі вантажного моменту та моменту від сил тертя:

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{вант}} + M_{\text{тер}}, \quad (1.16)$$

де $M_{\text{кр}}$ – крутний момент, Н/м;

$M_{\text{вант}}$ – вантажний момент, Н/м;

$M_{\text{тер}}$ – момент тертя, Н/м.

Вантажний момент:

$$M_{\text{вант}} = G \cdot e = 4900 \cdot 0,4 = 1960 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент тертя:

$$M_{\text{тер}} = 0,5 \cdot f \cdot (A \cdot d_A + B \cdot d_B) \cdot 10^{-3}, \quad (1.17)$$

де f – сила тертя в підшипниках, Н/м;

A – реакції в опорі, Н;

B – реакції в опорі, Н;

d_A – діаметр валу, м;

d_B – діаметр валу, м;

Для визначення моменту тертя потрібно знати коефіцієнт тертя у підшипниках, повні реакції в опорах та діаметри шпинделя в опорах.

Прийmemo, що опори виконані на підшипниках ковзання $f = 0,1$ для визначення не відомих значень діаметра шпинделя використаємо метод послідовних наближень. Для цього у першому наближенні знехтуємо моментом тертя.

Перше наближення:

$$M_{\text{тер}1} = 0$$

$$M_{\text{кр}1} = M_{\text{вант}} + M_{\text{тер}1} = 1960 + 0 = 1960 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$Q = \frac{M_{\text{кр}}}{R}, \quad (1.18)$$

де Q – сила спротиву обертання шестерні, Н;

						Арк.
						36
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$M_{кр}$ – крутний момент, Н/м;

R – радіус планшайби, м.

$$Q_1 = \frac{M_{кр1}}{R} = \frac{1960}{0,25} = 7840 \text{ Н.}$$

Повні реакції в опорах:

$$A = \sqrt{\left[G \cdot \left(\frac{b}{a+b}\right)\right]^2 + Q^2}, \quad (1.19)$$

$$A_1 = \sqrt{\left[G \cdot \left(\frac{b}{a+b}\right)\right]^2 + Q_1^2} = \sqrt{\left[1960 \cdot \left(\frac{1,2}{1,4+1,2}\right)\right]^2 + 7840^2} = 8160 \text{ Н.}$$

$$C = G \cdot \left(\frac{a}{a+b}\right) \quad (1.20)$$

$$C_1 = G \cdot \left(\frac{a}{a+b}\right) = 4900 \cdot \left(\frac{1,4}{1,4+1,2}\right) = 2638 \text{ Н.}$$

Згинальний момент, що діє на цапфу:

$$M_{зг} = Q \cdot k, \quad (1.21)$$

де Q – сила спротиву обертання шестерні, Н;

k – плече сили, м.

$$M_{зг1} = Q_1 \cdot k = 7840 \cdot 0,1 = 784 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

В першому наближенні визначаємо діаметр шпинделя у небезпечних перерізах.

Для цього визначимо допустимі напруження на згин. Оберемо для шпинделя сталь 45 з таблиці 1.9 та коефіцієнт запасу $n_T = 4$.

Таблиця 1.9 – Межі текучості сталей

Марка сталі	Межа текучості, МПа
C35	270
40	400
C45	540
40X	750
35XM	790
40XHMA	980

з таблиці 1.9 приймемо для сталі 45 межу текучості $\sigma_T = 540$ МПа.

$$\sigma_D = \frac{\sigma_T}{n_T}, \quad (1.22)$$

де σ_T – межа текучості матеріалу, МПа;

n_T – запас міцності.

$$\sigma_D = \frac{\sigma_T}{n_T} = \frac{540}{4} = 135 \text{ МПа.}$$

Визначаємо у першому наближенні діаметр шпинделя:

$$d_A = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \sqrt{M_{зг1}^2 + M_{кр1}^2}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}}, \quad (1.23)$$

$$d_{B1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \sqrt{M_{зг1}^2 + M_{кр1}^2}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \sqrt{784^2 + 1960^2}}{3,14 \cdot 135 \cdot 10^6}} = 0,0554 \text{ м} \approx 0,056 \text{ м.}$$

будемо вважати:

$$d_{B1} = 56 \text{ мм, } d_{C1} = d_{B1} \text{ мм}$$

Друге наближення:

$$M_{тер2} = 0,5 \cdot f \cdot (A1 \cdot d_{A1} + C1 \cdot d_{C1}) \cdot 10^{-3}, \quad (1.24)$$

$$\begin{aligned} M_{тер2} &= 0,5 \cdot f \cdot (A1 \cdot d_{A1} + C1 \cdot d_{C1}) \cdot 10^{-3} = \\ &= 0,5 \cdot 0,1 \cdot (8160 \cdot 56 + 2638 \cdot 56) \cdot 10^{-3} = 30 \text{ Н} \cdot \text{м.} \end{aligned}$$

$$M_{кр2} = M_{вант} + M_{тер2} = 1960 + 30 = 1990 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$Q_2 = \frac{M_{кр2}}{R} = \frac{1990}{0,25} = 7960 \text{ Н.}$$

Повні реакції в опорах:

$$A_2 = \sqrt{\left[G \cdot \left(\frac{b}{a+b}\right)\right]^2 + Q_2^2} = \sqrt{\left[1960 \cdot \left(\frac{1,2}{1,4+1,2}\right)\right]^2 + 7960^2} = 8121 \text{ Н.}$$

$$C_2 = G \cdot \left(\frac{a}{a+b}\right) = 1960 \cdot \left(\frac{1,2}{1,4+1,2}\right) = 2638 \text{ Н.}$$

Згинальний момент, що діє на цапфу:

$$M_{зг2} = Q_2 \cdot k = 7960 \cdot 0,1 = 796 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

					Арк.
					38
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Визначаємо у другому наближенні діаметр шпинделя:

$$d_{B2} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \sqrt{M_{зг2}^2 + M_{кр2}^2}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \sqrt{796^2 + 1960^2}}{3,14 \cdot 135 \cdot 10^6}} = 0,559 \text{ м.}$$

Значення діаметра у другому наближенні змінилось менш, ніж на 10%.
Розрахунок припиняємо.

З рис 1.14 ряду нормальних лінійних розмірів (1 ряд Ra) обираємо найближчий з округленням в більший бік.

1 ряд	10;10,5;11;11,5;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;24;25;26;28;30;32;34;36;38;40;42;45;48;50;
R _a , мм	53;56;60;63;67;71;75;80;85;90;95;100;105;110;120;125;130;140;150;160;170;180;190;200

Рисунок 1.14 – Діаметри шпинделя

$$d_B = 56 \text{ мм}, d_C = d_A \text{ мм}$$

визначаємо остаточне значення моменту тертя:

$$M_{тер} = 0,5 \cdot f \cdot (A2 \cdot d_A + C2 \cdot d_C) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 0,5 \cdot 0,1 \cdot (8121 \cdot 56 + 2638 \cdot 56) \cdot 10^{-3} = 31 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{кр} = M_{вант} + M_{тер} = 1960 + 31 = 1991 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Потужність приводного двигуна визначимо, обравши частоту обертання планшайби на маршовій швидкості:

$$n = 0,1 \frac{\text{об}}{\text{сек}}$$

а потужність приводного двигуна:

$$N_d = \frac{M_{кр} \cdot 2\pi \cdot n}{\eta_{пр}} = \frac{1991 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1}{0,71} = 1760 \text{ Вт.}$$

При необхідності, з серією виготовляємих двигунів обираємо потрібний, враховуючи частоту обертів двигуна.

З таблиці 1.10 підходить двигун AIP80B2 який має потужність 2,2 кВт [20].

Таблиця 1.10 – Параметри обраного двигуна

Типорозмір двигуна	Потужність, кВт	При навантаженні	
		Ковзання, %	ККД, %
AIP80B2	2.2	5	83

						Арк.
						39
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Установка заготовок на обертач та знімання готового виробу виконується кран балкою [21].

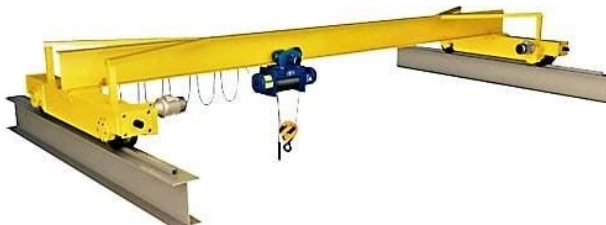


Рисунок 1.15 – Кран балка 3,2 т

Характеристики кран балки:

- вантажопідйомність: 3000 кг;
- швидкість переміщення: 20-30 м/хв.

1.12 Контроль зварних з'єднань

Для корпусу шахтної вагонетки призначається візуальний контроль зварних швів за ДСТУ EN ISO 17637:2017 [13]. Рівень дефектів призначається як С (Середні вимоги) за ДСТУ EN ISO 5817:2022 [22]. Всі зварні з'єднання перевіряються на наявність дефектів. Не допускаються такі дефекти як: поверхневі пори, тріщини, не сплавлення, не провари, підрізи та внутрішні газові пори. Обладнання для вимірювання це універсальний шаблон зварника (УШС 3) та лупа з лінійкою для виміру довжини дефектів. Також до зварних швів висуваються вимоги щодо геометрії, але слід дотримуватись технології зварювання.

						Арк.
						40
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.13 План виробничої площі

План виробничої площі призначений показати як розміщується обладнання в приміщенні виробництва, також планування необхідне для того, щоб зрозуміти як та де розміщується обладнання.

Приміщення організоване у вигляді одного прольоту (рис. 1.16) (16 м х 22 м) з двома рядами колон. Такий формат приміщення достатній для складання та зварювання шахтної вагонетки, також невеликі розміри виробу дозволяють уникнути надлишкових площ. Простір оснащений проїздами для електричних візків, або транспорту, які дозволяють перевозити необхідні речі від однієї зони до іншої без обмежень. Проходи шириною 3 метри забезпечують зручне переміщення персоналу та транспортних засобів.

Зварювальну та складальну ділянки об'єднано в єдине ціле, так як складання може відбуватись на кантувачі. Такий підхід зменшує площу цеху та вартість інвестицій. Для підвищення продуктивності зварювальної роботи та й всього цеху можливо додати ще один кантувач з іншої сторони роботи. Поки на одному кантувачі йде процес складання на іншому кантувачі відбувається зварювання вагонетки.

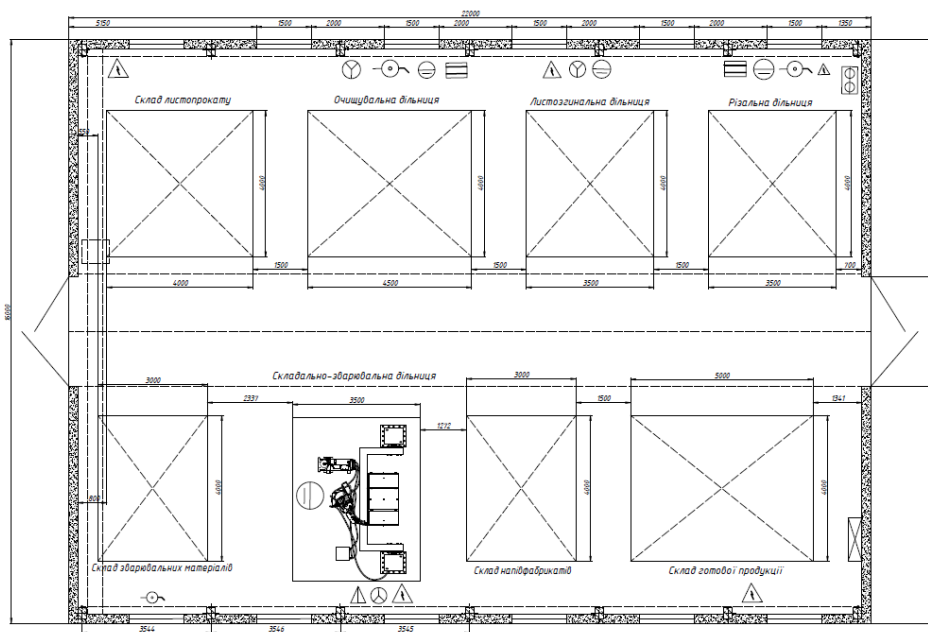


Рисунок 1.16 — План виробничої площі

2 РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ

2.1 Обґрунтування розроблення оснастки

Для оцінки зварювальних деформацій під час зварювання без використання зварювальної оснастки та з оснасткою проведемо моделювання зварювання за допомогою Simufact welding [4]. Результати розрахунку без використання оснастки наведені на рисунку 2.1.

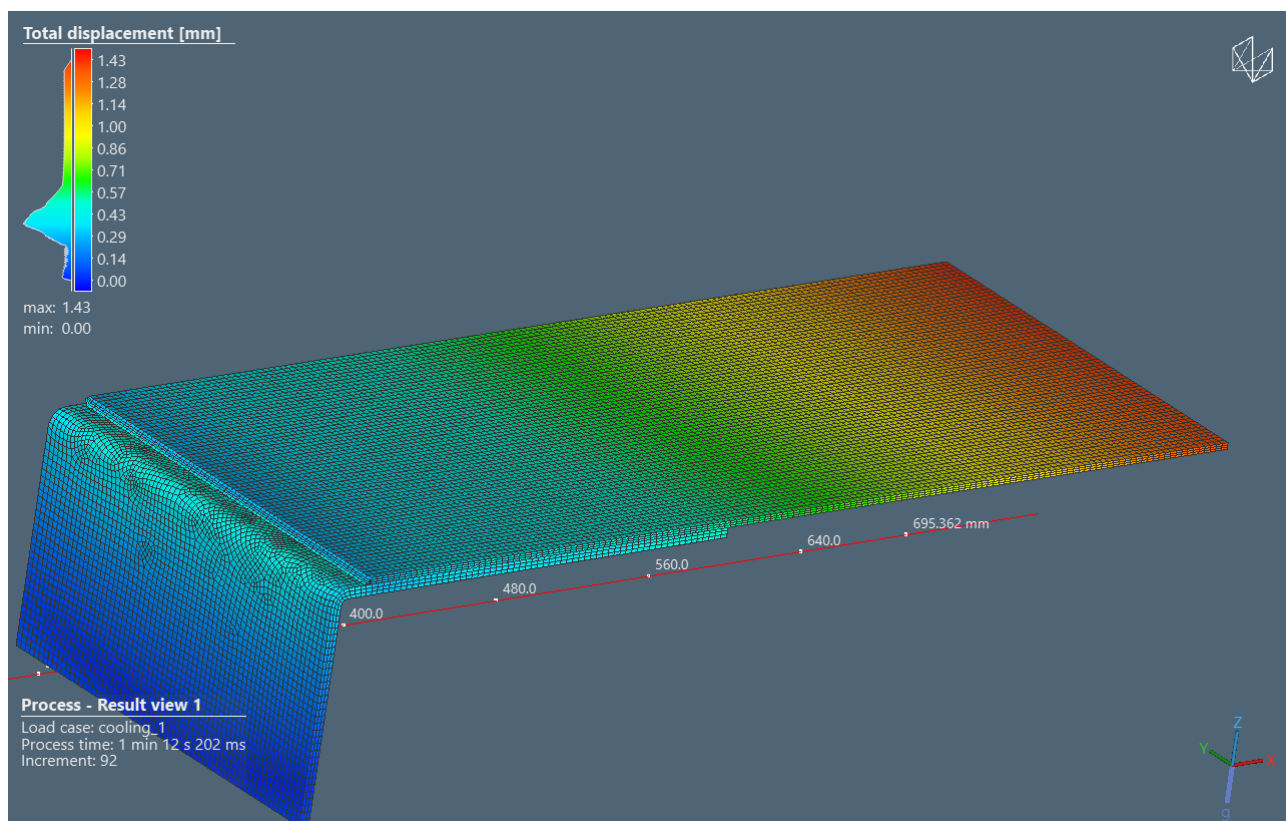


Рисунок 2.1 – Деформації після зварювання без використання оснастки

Як бачимо на рисунку 2.1 максимальні деформації складають 1,43 мм, що впливає на якість виробу. Далі проведемо аналіз вже з використанням оснастки для цього використаємо вже порахований процес зварювання з пункту 1.9. Результати розрахунку наведені на рисунку 2.2.

						Арк.
						42
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

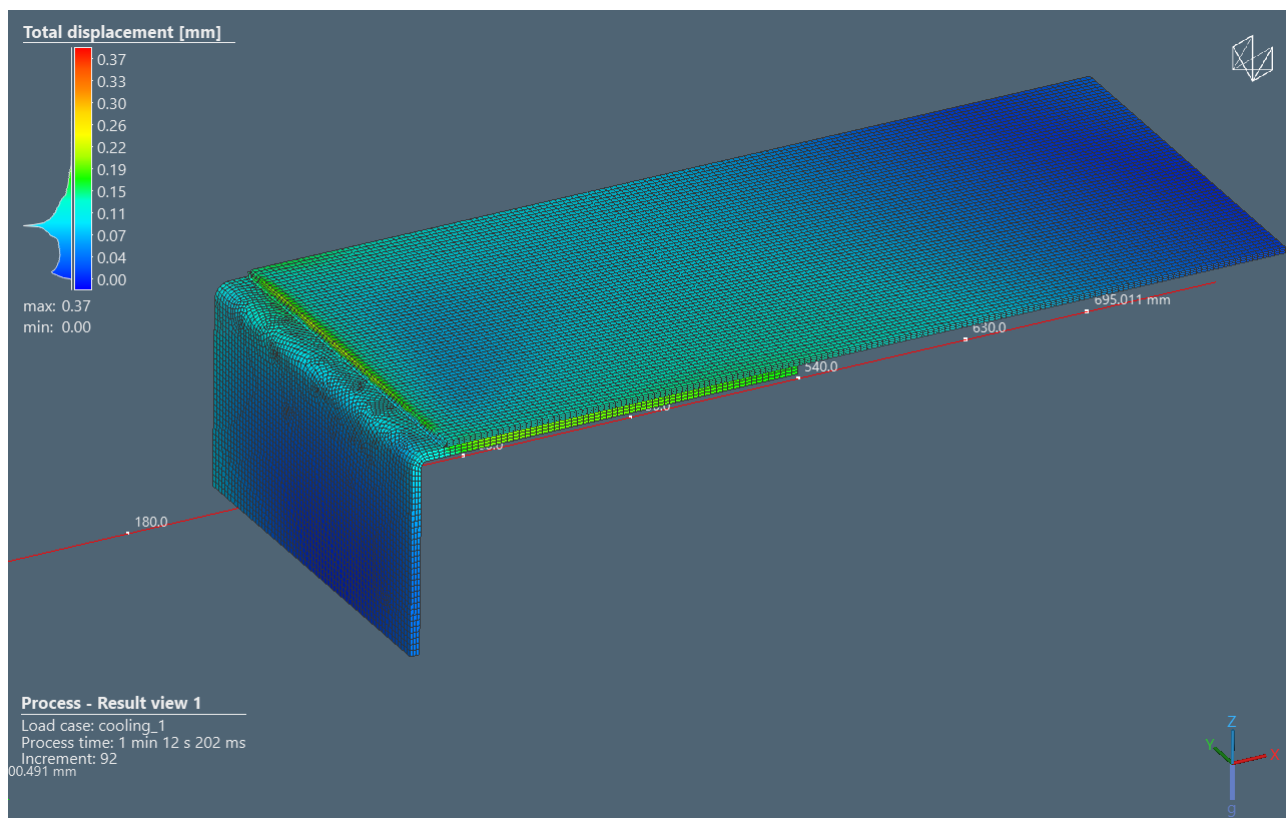


Рисунок 2.2 – Деформації після зварювання з використанням оснастки

Порівнявши два рисунки можна побачити, що використання зварювальної оснастки знизило деформації на 74%. Тож використання зварювальної оснастки суттєво впливає на деформації після зварювання та на якість всього виробу вцілому.

2.2 Технічні вимоги до оснастки

При зварюванні конструкції «Корпус шахтної вагонетки», до складальної оснасти висуваються вимоги до несучої здатності. Так як розрахункова маса виробу близько 500 кг, потрібно забезпечити достатню жорсткість фіксації всіх деталей, та забезпечити можливість кантування вагонетки в зручне положення при складанні та зварюванні.

						Арк.
						43
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Вибір технологічних баз та схема базування заготовок

Для вибору схеми базування було зроблено 3д модель вагонетки (рисунок 1.1). Основою для базування було обрано корпус вагонетки так як інші деталі приєднуються до корпусу в процесі складання. Далі кришки притискаються до корпусу а потім слугують опорою для верхньої кришки. Схему базування показано на рисунку 2.3.

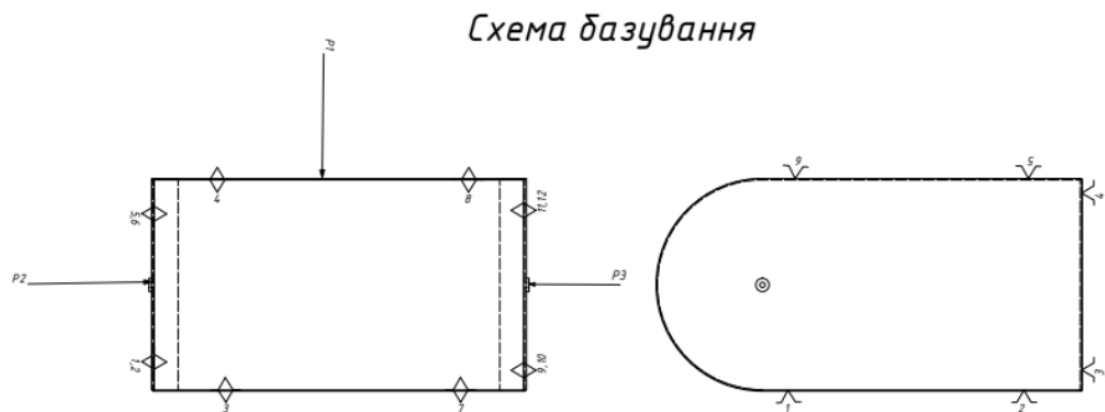


Рисунок 2.3 – Схема базування

Отже, деталь базується від корпусу який слугує опорою, та двох бокових кришок, які також слугують опорою з боків для верхньої кришки.

2.4 Складальна операція

Для складання використовується спеціалізована зварювальна оснастка (рисунок 2.4) яка має спеціальний паз який дозволяє забезпечити зазор між двома листами при складанні заготовок. Спеціальний паз потрібен не лише для складання а й для зварювання, тому що він забезпечує жорсткість конструкції та зменшує деформації після зварювання.

						Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

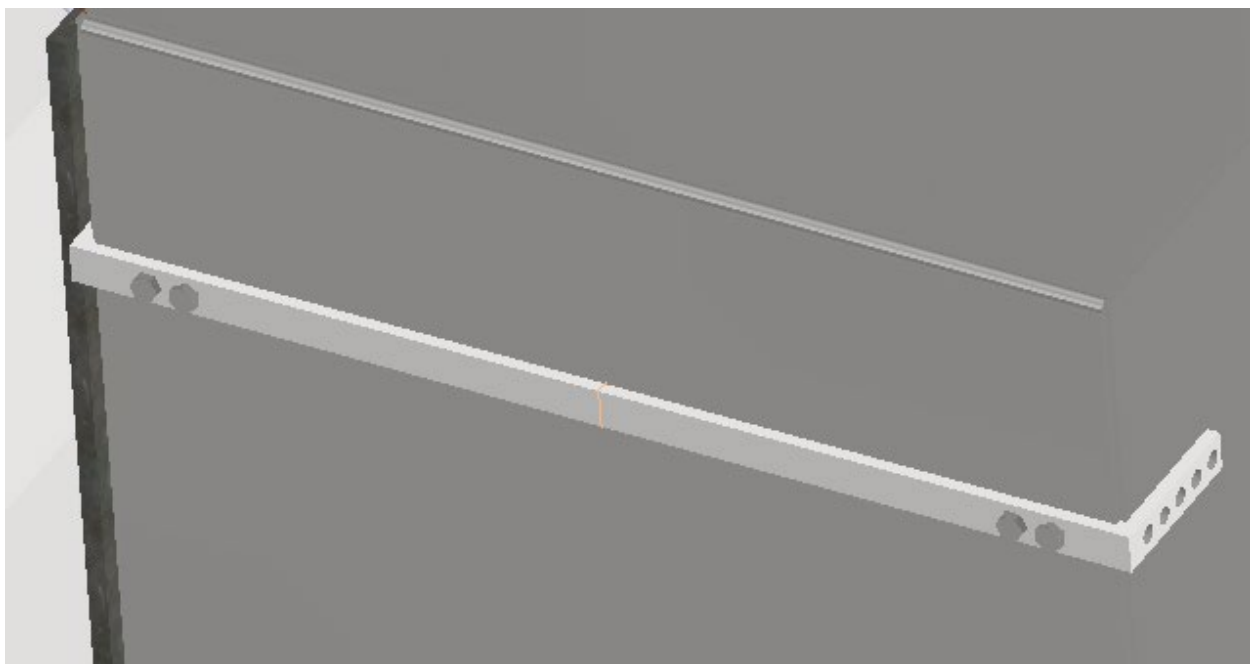


Рисунок 2.4 — 3D модель зварювальної оснастки

Данна оснастка є модульною, її можливо збирати поступово в процесі складання та розбирати після зварювання.

Складання:

складальна операція починається з встановлення оснастки згідно креслення на планшайбу двостоякового кантувача. Далі за допомогою кран балки встановлюється корпус. До корпусу з боків встановлюються дві бокові кришки та довстановлюється оснастка. В середину корпусу встановлюється розпорка яка буде розтискати бокові стінки корпусу для дотримання правильної геометрії при складанні. Після цих операцій виконується прихоплення деталей та. Після прихоплення розпорка знімається та встановлюється оснастка для верхньої кришки та прихоплюється.

Після всіх складальних операцій відбувається фінальне зварювання, зварювання виконується в нижньому положенні, зварювальний шов кутовий, з'єднання напусткове, зварювання виконується зварювальним роботом.

Виконувати зварювання в нижньому положенні дозволяє горизонтальний кантувач, під кожну складальну та зварювальну операцію можливо обертати виріб в зручне положення.

						Арк.
						45
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗДІЛУ

В процесі виготовлення корпусу шахтної вагонетки зі сталі S355J2W було застосовано роботизоване зварювання в середовищі суміші газів (Ar + CO₂). Використано зварювальний дріт G3Si1 згідно з ДСТУ EN ISO 14341, з низьким вмістом сірки та фосфору для підвищення якості шва та запобіганню утворення гарячих тріщин. Захисний газ було обрано відповідно до стандарту ISO 14175. Та була розроблена спеціалізована зварювальна оснастка для складання корпусу вагонетки. Також було змодельовано та розраховано в Simufact welding одне з зварних з'єднань шахтної вагонетки для оцінки виникнення холодних тріщин та розуміння як впливає використання зварювальної оснастки на деформації після зварювання. Результатом технологічного розділу є оптимально розроблена технологія з використанням сучасних програм моделювання не тільки 3D моделей а й зварювання.

						Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вступ та обґрунтування доцільності проєкту

Метою економічного розділу дипломного проєкту є техніко – економічне обґрунтування доцільності впровадження розробленої технології зварювання корпусу шахтної вагонетки зі сталі S355J2W. В умовах сучасного виробництва ключовим фактором є підвищення конкурентоспроможності тобто зниження собівартості продукції при одночасному гарантуванні високої якості продукції.

Базовим (діючим) варіантом технологічного процесу для подібних великогабаритних конструкцій традиційно виступає механізоване зварювання в середовищі захисних газів із високою часткою ручної праці, що супроводжується підвищеними витратами часу на допоміжні операції та нестабільною якістю.

Проєктним варіантом передбачається перехід від ручного зварювання до використання сучасного роботизованого зварювального комплексу на базі 6 – осьового робота у поєднанні з двостояковим обертачем. Хоча впровадження такого обладнання вимагає значних початкових капітальних інвестицій, воно дозволяє вирішити низку критичних виробничих завдань:

- суттєво підвищити продуктивність праці за рахунок збільшення швидкості зварювання та скорочення часу на кантування виробу;
- забезпечити зручне просторове положення при зварюванні (усі шви зварюються в оптимальному нижньому положенні (РА), що мінімізує ризик утворення дефектів;
- раціоналізувати витрати зварювальних матеріалів (дроту та захисної суміші) й електроенергії;
- мінімізувати вплив людського фактору на кінцевий результат та покращити умови праці персоналу.

Для підтвердження фінансової привабливості прийнятих інженерних рішень у даному розділі буде виконано розрахунок необхідних капіталовкладень в основне обладнання та технологічну оснастку, визначено

						Арк.
						47
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проектну собівартість виготовлення одного виробу, а також розраховано очікуваний річний економічний ефект і термін окупності інвестицій.

3.2 Комерціалізація розробки та стартап-потенціал проекту

Аналіз ринку та конкурентних переваг: у сучасних умовах гірничодобувна промисловість гостро потребує надійного, довговічного та економічно вигідного обладнання. Розроблена технологія виготовлення корпусу шахтної вагонетки має високий потенціал, оскільки пропонує ринку продукт із покращеними експлуатаційними характеристиками.

Основними конкурентними перевагами запропонованого продукту є:

- висока надійність: використання конструкційної сталі S355J2W забезпечує стійкість до абразивного зношування та динамічних навантажень, що подовжує термін служби вагонетки у важких шахтних умовах;
- стабільна якість зварних з'єднань: впровадження 6-осьового зварювального робота MR10W-1440-D та жорсткої складальної оснастки дозволяє знизити зварювальні деформації на 74% та усунути вплив людського фактора, гарантуючи відповідність швів вимогам ДСТУ EN ISO 5817:2022;
- оптимізована ціна: завдяки механізації та автоматизації, час виготовлення одного виробу суттєво скорочується, що дозволяє утримувати конкурентну собівартість (близько 43,2 тис. грн) і пропонувати замовникам вигідну відпускну ціну порівняно з аналогами, виготовленими ручним зварюванням.

SWOT-аналіз проекту: для оцінки можливостей виходу на ринок та залучення інвестицій проведено SWOT-аналіз запропонованої технології.

						Арк.
						48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сильні сторони:

- високий рівень автоматизації виробництва завдяки роботизованому комплексу.
- зниження виробничого браку та зварювальних деформацій за рахунок спеціально розробленої оснастки.
- оптимальний вибір матеріалу (S355J2W) з хорошою зварюваністю та відсутністю схильності до холодних тріщин.

Слабкі сторони:

- високий поріг входу на ринок через значні капітальні інвестиції в обладнання (понад 6 млн грн).
- залежність виробничого процесу від безперебійного електропостачання.
- потреба у залученні висококваліфікованого та, відповідно, високооплачуваного персоналу (оператор зварювального робота).

Можливості:

- вихід на міжнародні ринки (зокрема, ЄС), оскільки технологія спирається на європейські стандарти (EN ISO 14175, EN ISO 14341, ISO 9692-1).
- гнучкість виробництва: за необхідності роботизований комплекс можна легко перепрограмувати на зварювання інших металоконструкцій, що дозволить диверсифікувати ризики.
- залучення грантових коштів на інноваційний розвиток та модернізацію промисловості.

Загрози:

- коливання цін на електроенергію та імпортований металопрокат, що може підвищити собівартість виробу;
- конкуренція з боку великих машинобудівних заводів, які мають налагоджені канали збуту та ефект масштабу.

						Арк.
						49
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Розрахунок собівартості зварювання

Розрахунок проводимо за формулами з методички [5] та [12] та для 1 м шва для механізованого зварювання в захисних газах.

Розрахуємо час на зварювання 1 м шву за формулою 3.1

$$t_{c.o} = \frac{L_{ш}}{V_{зв}}, \quad (3.1)$$

де $t_{c.o}$ – час зварювання 1 м шва, сек;

$L_{ш}$ – довжина зварного шва, мм;

$V_{зв}$ – швидкість зварювання, мм.

$$t_{c.o} = \frac{L_{ш}}{V_{зв}} = \frac{1000}{6,98} = 143 \text{ сек.}$$

Далі розрахуємо витрати електродного дроту за формулою 3.2 на зварювання 1 м шва.

$$M_{e.п} = K_{p.п} \cdot (1 + \psi_p) \cdot F_{e.п} \cdot V_{под} \cdot t_{c.o} \cdot \rho, \quad (3.2)$$

де $M_{e.п}$ – витрата дроту на 1 м шва, кг;

$K_{p.п}$ – коефіцієнт витрати дроту;

ψ_p – втрати на розбризкування;

$F_{e.п}$ – площа електродного дроту, мм²;

$V_{под}$ – швидкість подачі дроту, мм/сек;

$t_{c.o}$ – час зварювання 1 м шва, сек;

ρ – густина матеріалу, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

$$M_{e.п} = K_{p.п} \cdot (1 + \psi_p) \cdot F_{e.п} \cdot V_{под} \cdot t_{c.o} \cdot \rho = 1,02 \cdot (1 + 0,01) \cdot 1,2^2 \cdot 77,93 \cdot 143 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = 128 \text{ г або } 0,128 \text{ кг для 1 м шва.}$$

Порахуємо ціну зварювального дроту за формулою 3.3, приймемо для 1,2 мм дроту вартість 120 грн за 1 кг [8].

$$З_{з.м} = M_{e.п} \cdot Ц_{e.п}, \quad (3.3)$$

де $З_{з.м}$ – ціна дроту за 1 м шва, грн;

$M_{e.п}$ – витрата дроту на 1 м шва, кг;

$Ц_{e.п}$ – ціна 1 кг дроту, грн.

					Арк.
					50
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$Z_{з.м} = M_{е.п} \cdot C_{е.п} = 0,128 \cdot 120 = 15,36 \text{ грн за метр шва.}$$

Витрати захисного газу обчислюються за формулою 3.4.

$$Q_{з.г} = q_{з.г} \cdot t_{с.о}, \quad (3.4)$$

де $Q_{з.г}$ – витрата захисного газу для 1 м шва, л;

$q_{з.г}$ – витрата захисного газу для зварювання, л/сек.

$$Q_{з.г} = q_{з.г} \cdot t_{с.о} = 0,16 \cdot 143 = 22,88 \text{ л.}$$

Обчислимо ціну захисного газу за 1 л за формулою 3.5, для цього приймемо ціну 2004 грн за 40 л зварювальної суміші (82% Ar + 18% CO₂) [23].

$$C_{з.г} = \frac{C_6}{V}, \quad (3.5)$$

де $C_{з.г}$ – ціна за один літр захисного газу, грн;

C_6 – ціна за один балон захисного газу, грн;

V – об'єм захисного газу в балоні, м³.

Приймемо, що 40 л балон містить 7 м³ або 7000 літрів газу [2].

Обчислимо ціну газу за один літр за формулою 3.5.

$$C_{з.г} = \frac{C_6}{V} = \frac{2004}{7000} = 0,286 \text{ грн за один літр газу.}$$

Далі рахуємо загальну ціну за витрату захисного газу для 1 метру шва за формулою 3.6.

$$Z_{з.г} = Q_{з.г} \cdot C_{з.г}, \quad (3.6)$$

де $Z_{з.г}$ – загальна ціна за захисний газ для одного метру шва, грн;

$Q_{з.г}$ – витрата захисного газу для 1 м шва, л;

$C_{з.г}$ – ціна за один літр захисного газу, грн;

$$Z_{з.г} = Q_{з.г} \cdot C_{з.г} = 22,88 \cdot 0,286 = 6,54 \text{ грн.}$$

Порахуємо витрати на електроенергію для зварювання 1 м шва за формулою 3.8. Для цього спочатку порахуємо час зварювання з урахуванням коефіцієнту використання зварювального обладнання за формулою 3.7.

$$T = \frac{t_{с.о}}{K_B}, \quad (3.7)$$

де T – час зварювання з урахуванням коефіцієнту використання, сек;

$t_{с.о}$ – час зварювання одного метру шва, сек;

						Арк.
						51
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

K_B – коефіцієнт використання зварювального обладнання, %.

$$T = \frac{t_{c.o}}{K_B} = \frac{143}{0,70} = 204 \text{ сек.}$$

$$W_{з.г} = \frac{U_c \cdot I_c \cdot t_{c.o}}{0,75} + p_k \cdot (T - t_{c.o}), \quad (3.8)$$

де $W_{з.г}$ – витрати електроенергії, Дж;

U_c – зварювальна напруга, В;

I_c – зварювальний струм, А;

$t_{c.o}$ – час зварювання одного метру шва, сек;

p_k – потужність холостого ходу зварювального апарату, кВт;

T – час зварювання з урахуванням коефіцієнту використання, сек.

$$W_{з.г} = \frac{U_c \cdot I_c \cdot t_{c.o}}{0,75} + p_k \cdot (T - t_{c.o}) = \frac{22,85 \cdot 177 \cdot 143}{0,75} + 0,4 \cdot (145 - 143) =$$

$$= 771142 \text{ Дж або } 0,21 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}.$$

Розрахуємо витрати на електроенергію формула 3.9, прийmemo ціну за електроенергію з офіційного сайту ДТЕК [24] для 1 класу напруги 7,5 грн за одну кВт/год.

$$Z_{т.е} = W_{з.г} \cdot C_e, \quad (3.9)$$

де $Z_{т.е}$ – витрати на електроенергію, грн;

$W_{з.г}$ – витрати електроенергії, Дж;

C_e – ціна електроенергії, грн.

$$Z_{т.е} = W_{з.г} \cdot C_e = 0,21 \cdot 7,5 = 1,57 \text{ грн для одного метру шва.}$$

3.4 Розрахунок вартості обладнання для виготовлення шахтної вагонетки

До вартості самого обладнання необхідно додати витрати на його доставку, встановлення (монтаж) та пусконаладжувальні роботи. Зазвичай ці витрати приймаються у відсотковому співвідношенні від початкової

						Арк.
						52
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вартості придбаного устаткування. Розрахуємо вартість всього обладнання взявши формули з методички [25].

Вартість основного обладнання ($K_{обл}$):

- джерело живлення Lincoln Electric Power MIG 260: 167 239,20 грн [18];
- зварювальний робот MR10W-1440-D: 484 000,00 грн [17];
- кран-балка (3,2 т): 140 000,00 грн [21];
- двостояковий кантувач EVS-DWP-U: 140 000,00 грн [19];
- комплекс лазерного розкрою ARAMIS LTC-85: 2 500 119,00 грн [14];
- вальці Bendmak: 1 988 101,00 грн [15];
- фільтровентиляційна установка XFUME ROBO: 150 000,00 грн [16].

Всього вартість обладнання ($K_{обл}$): 5 569 459,20 грн.

Розрахуємо витрати на встановлення та налаштування за формулою 4: витрати на встановлення (монтаж) обладнання (приймаємо 7% від вартості обладнання):

$$З_m = K_{обл}, \quad (3.10)$$

де $З_m$ – витрати на монтаж обладнання, грн;

$K_{обл}$ – вартість обладнання.

$$З_m = K_{обл} \cdot 0,07 = 5\,569\,459,20 \cdot 7\% = 389\,862,14 \text{ грн.}$$

Витрати на налаштування та пусконаладжувальні роботи розраховуються за формулою 4.1 (приймаємо 5% від вартості обладнання):

$$З_n = K_{обл} \cdot 5\%, \quad (3.11)$$

де $З_n$ – витрати на налаштування обладнання, грн;

$K_{обл}$ – вартість обладнання, грн.

$$З_n = K_{обл} \cdot 5\% = 5\,569\,459,20 \cdot 5\% = 278\,472,96 \text{ грн.}$$

Загальні капітальні інвестиції ($K_{заг}$) розраховуються за формулою 4.2:

$$K_{заг} = K_{обл} + З_m + З_n, \quad (3.12)$$

$$K_{заг} = K_{обл} + З_m + З_n = 5\,569\,459,20 + 389\,862,14 + 278\,472,96 = 6\,237\,794,30 \text{ грн.}$$

						Арк.
						53
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на закупівлю матеріалів:

- маса готового корпусу вагонетки становить близько 500 кг. З урахуванням коефіцієнта використання металу (відходи при розкрої та механічній обробці) приймаємо $K_{\text{від}} = 1,1$.

Необхідна маса металопрокату на 1 виріб:

$$M_{\text{мет1}} = 500 \cdot 1,1 = 550 \text{ кг.}$$

Середня ринкова вартість листового прокату сталі S355J2W в Україні наразі становить близько 45 000 грн за тонну (45 грн/кг).

Витрати на основний матеріал для 1 виробу (формула 4.3):

$$З_{\text{мет}} = M_{\text{мет}} \cdot Ц_{\text{мет}}, \quad (3.13)$$

де $M_{\text{мет}}$ – маса металу, кг;

$Ц_{\text{мет}}$ – ціна металу, грн.

$$З_{\text{мет}} = M_{\text{мет}} \cdot Ц_{\text{мет}} = 550 \cdot 45 = 24\,750,00 \text{ грн.}$$

Далі розрахуємо витрати на зварювальні матеріали та електроенергію на весь виріб. Сумарна довжина зварних швів на 1 корпус вагонетки:

$$\text{шов №1: } 2 \cdot 790 \text{ мм} + 2 \cdot 1410 = 4400 \text{ мм} = 4,4 \text{ м};$$

$$\text{шов №2: } 4418 \text{ мм} = 4,418 \text{ м};$$

$$\text{шов №3: } 2 \cdot 0,157 \text{ мм} = 0,314 \text{ м};$$

$$\text{загальна довжина швів (L}_{\text{заг}}\text{): } 9,132 \text{ м.}$$

Згідно з розрахунками в п. 3.2, сумарні витрати на 1 метр шва становлять 22,74 грн (з них: дріт — 15,48 грн, газ — 5,54 грн, електроенергія — 1,72 грн).

Загальні витрати на процес зварювання 1 виробу:

$$З_{\text{зв}} = L_{\text{заг}} \cdot 22,74 = 9,132 \cdot 22,74 = 207,66 \text{ грн.}$$

Повні матеріальні витрати на 1 виріб ($M_{\text{заг}}$):

$$M_{\text{заг}} = З_{\text{мет}} + З_{\text{зв}}, \quad (3.14)$$

де $M_{\text{заг}}$ – витрати на зварювання, грн;

$З_{\text{мет}}$ – витрати на метал, грн;

$З_{\text{зв}}$ – витрати на зварювання, грн.

$$M_{\text{заг}} = З_{\text{мет}} + З_{\text{зв}} = 24\,750,00 + 207,66 = 24\,957,66 \text{ грн.}$$

						Арк.
						54
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Затрати на обслуговування обладнання:

- річні витрати на технічне обслуговування, заміну зношуваних деталей, калібрування робота та поточний ремонт зазвичай приймаються на рівні 5% від початкової вартості обладнання:

$$З_{\text{обсл.річ}} = K_{\text{обл}} \cdot 5\% = 5\,569\,459,20 \cdot 5\% = 278\,472,96 \text{ грн/рік.}$$

Оскільки річна програма виготовлення становить 100 виробів, витрати на обслуговування, що закладаються у собівартість 1 виробу:

$$З_{\text{обсл.од}} = 278\,472,96 \cdot 100 = 2\,784,73 \text{ грн/шт.}$$

Розрахунок фонду оплати праці оператора заготівельної дільниці:

для виконання операцій з розкрою металу на гільйотинних ножицях та формування на вальцях передбачається 1 робітник (оператор заготівельної дільниці). Середня заробітна плата такого фахівця становить близько 25 000 грн [26]. З урахуванням податків (ЄСВ, ПДФО, військовий збір), витрати підприємства на цього працівника становитимуть близько 36 000 грн на місяць.

Річний фонд оплати праці оператора заготівельної дільниці:

$$\text{ФОП}_{\text{річ}} = 36\,000 \cdot 12 = 432\,000,00 \text{ грн/рік.}$$

Зарплата оператора, що відноситься на 1 виріб (при річній програмі 100 шт.):

$$З_{\text{зп.оп.заг}} = 432\,000,00 \div 100 = 4\,320,00 \text{ грн/шт.}$$

Розрахунок фонду оплати праці оператора зі зварювання:

для обслуговування роботизованого зварювального комплексу та виконання складальних операцій необхідний 1 кваліфікований оператор-налагоджувальник.

Середня заробітна плата оператора роботизованих комплексів (ЧПК) в Україні становить близько 30 000 грн [26]. З урахуванням повного податкового навантаження на підприємство (ЄСВ 22%, ПДФО 18%, військовий збір 1,5%), витрати на оплату праці одного працівника (брутто) складуть приблизно 43 000 грн на місяць.

						Арк.
						55
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Річний фонд оплати праці (ФОП):

$$\text{ФОП}_{\text{річ}} = 43\,000 \cdot 12 = 516\,000,00 \text{ грн/рік.}$$

Зарплата оператора, що відноситься на 1 виріб (при річній програмі 100 шт.):

$$Z_{\text{зп.оп.зв}} = 516\,000,00 \div 100 = 5\,160,00 \text{ грн/шт}$$

Тепер підсумуємо витрати на зарплату обох робітників (оператора роботизованого комплексу з попереднього розрахунку та оператора заготівельної дільниці) за формулою 4.3:

$$Z_{\text{зп.сума}} = Z_{\text{зп.оп.заг}} \cdot Z_{\text{зп.оп.зв}}, \quad (3.15)$$

де $Z_{\text{зп.сума}}$ – витрати на зарплатню операторам, грн;

$Z_{\text{зп.оп.заг}}$ – витрати на зарплатню оператору заготівельної дільниці, грн;

$Z_{\text{зп.оп.зв}}$ – витрати на зарплатню оператору зварювальної дільниці, грн.

$$Z_{\text{зп.сума}} = Z_{\text{зп.оп.заг}} \cdot Z_{\text{зп.оп.зв}} = 5160,00 + 4320,00 = 9480,00 \text{ грн/шт.}$$

Розрахунок повної виробничої собівартості:

для розрахунку фінальної собівартості врахуємо також амортизацію основних засобів. Приймаємо середній термін корисної експлуатації комплексу — 10 років (лінійний метод нарахування).

Річна сума амортизації:

$$A_{\text{річ}} = K_{\text{заг}} \cdot 10 = 6\,237\,794,30 \cdot 10 = 623\,779,43 \text{ грн/рік.}$$

Амортизаційні витрати на 1 виріб:

$$A_{\text{од}} = 623\,779,43 \cdot 100 = 6\,237,79 \text{ грн/шт.}$$

Повна виробнича собівартість 1 корпусу шахтної вагонетки $C_{\text{од}}$:

$$C_{\text{од}} = M_{\text{заг}} + Z_{\text{зп.од}} + Z_{\text{обсл.од}} + A_{\text{од}},$$

$$C_{\text{од}} = 24\,985,86 + 9\,480,00 + 2\,784,73 + 6\,237,79 = 43\,488,38 \text{ грн.}$$

Для оцінки фінансової ефективності впровадження розробленого проєкту (роботизованого комплексу та заготівельного обладнання) проведемо розрахунок терміну окупності капітальних інвестицій.

Оскільки в попередніх розділах було визначено повну собівартість виробництва, для розрахунку окупності необхідно врахувати ринкову вартість

						Арк.
						56
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

готового виробу (корпусу шахтної вагонетки) та діючу ставку податку на прибуток підприємств в Україні (18%).

Візьмемо для базового розрахунку середню ринкову ціну аналогічного корпусу шахтної вагонетки на рівні 80 000 грн.

Розрахунок фінансових результатів та терміну окупності:

річний дохід від реалізації продукції ($D_{річ}$):

$$D_{річ} = C_{опт} \cdot 100 = 80\,000 \cdot 100 = 8\,000\,000,00 \text{ грн/рік.}$$

Повна собівартість річної програми ($C_{річ}$):

$$C_{річ} = C_{од} \cdot N = 43\,488,38 \cdot 100 = 4\,348\,838,00 \text{ грн/рік.}$$

Балансовий (валовий) прибуток підприємства ($P_{бал}$):

$$P_{бал} = D_{річ} - C_{річ} = 8\,000\,000,00 - 4\,348\,838,00 = 3\,651\,162,00 \text{ грн/рік.}$$

Податок на прибуток (18% згідно з Податковим кодексом України):

$$P_{под} = P_{бал} \cdot 18\% = 3\,651\,162,00 \cdot 18 = 657\,209,16 \text{ грн/рік.}$$

Чистий прибуток підприємства ($P_{чист}$):

$$P_{чист} = P_{бал} - P_{под} = 3\,651\,162,00 - 657\,209,16 = 2\,993\,952,84 \text{ грн/рік.}$$

Річний грошовий потік, що повертає інвестиції:

Він складається з чистого прибутку та амортизаційних відрахувань (оскільки амортизація є внутрішнім джерелом фінансування і залишається на підприємстві):

$$ГП_{річ} = P_{чист} + A_{річ} = 2\,993\,952,84 + 623\,779,43 = 3\,617\,732,27 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності капітальних вкладень ($T_{ок}$):

$$T_{ок} = K_{заг} \div ГП_{річ} = 6\,237\,794,30 \div 3\,617\,732,27 = 1,72 \text{ року.}$$

						Арк.
						57
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗДІЛУ

Проведено техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність впровадження розробленої технології складання та зварювання корпусу шахтної вагонетки. Розрахована повна виробнича собівартість одного виробу становить близько 43,4 тис. грн. За умови реалізації річної програми у 100 виробів та ринковій відпускній ціні 80 000 грн, проєкт генерує достатній чистий прибуток для того, щоб повністю окупити початкові капітальні інвестиції у розмірі понад 6 млн грн всього за 1,72 року.

Крім того, розроблений стартап-проєкт демонструє стійкі конкурентні переваги на ринку гірничого машинобудування. Автоматизація зварювальних процесів не лише підвищує економічну ефективність підприємства, але й формує надійний фундамент для масштабування бізнесу та залучення інвестицій.

						Арк.
						58
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розробка технології виготовлення корпусу шахтної вагонетки зі сталі S355J2W передбачає впровадження сучасного механізованого та автоматизованого обладнання, зокрема 6-осьового зварювального робота MR10W-1440-D з системою витяжної вентиляції XFUME ROBO, двостоякового обертача EVS-DWP-U, джерела живлення Lincoln Electric Power MIG 260, а також заготівельного устаткування (гільйотинних ножиць та вальців). Впровадження автоматизації суттєво знижує частку важкої ручної праці та виводить оператора із зони безпосереднього впливу зварювальної дуги.

Проте експлуатація такого комплексу створює нові виклики для охорони праці. Необхідно враховувати ризики, пов'язані з роботою рухомих частин маніпулятора, високими електричними потужностями, використанням захисних газів під тиском та наявністю шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Основною метою цього розділу є комплексний аналіз умов праці на робочих місцях, ідентифікація потенційних небезпек та розробка організаційно-технічних заходів, спрямованих на створення безпечного і здорового виробничого середовища відповідно до чинних державних санітарних норм (ДСН), державних будівельних норм (ДБН) та нормативно-правових актів з охорони праці (НПАОП).

						Арк.
						59
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Згідно з гігієнічною класифікацією [27] , під час складання та зварювання шахтної вагонетки на працівників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

фізичні фактори:

- рухомі частини обладнання та вироби: маніпулятор зварювального робота MR10W-1440-D, що переміщується з високою швидкістю по 6 осях; двостояковий обертач EVS-DWP-U з масою виробу до 500 кг; валки формувальної машини Bendmak; переміщення металопрокату кран-балкою. Небезпечними факторами при використанні промислових роботів є непередбачені рухи виконавчих органів, помилкові дії оператора або вхід людини в робочу зону робота під час автоматичного режиму;
- випромінювання оптичного діапазону: інтенсивне ультрафіолетове (УФ), видиме та інфрачервоне (ІЧ) випромінювання зварювальної дуги; лазерне випромінювання під час роботи комплексу ARAMIS LTC-85 (лазери високої потужності). Через відсутність захисту можливі пошкодження органів зору (електрофтальмія, катаракта) та опіки шкіри;
- підвищений рівень шуму: аеродинамічний шум від витяжної вентиляції та механічний шум від роботизованого комплексу й заготівельного обладнання;
- електричний струм: небезпека ураження під час експлуатації джерела Lincoln Electric Power MIG 260 та шаф керування. Бризки розплавленого металу та підвищена температура поверхонь зварних швів.

						Арк.
						60
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хімічні фактори:

- при зварюванні дротом G3Si1 у суміші газів (Ar + CO₂) в повітря виділяються тверді складові зварювального аерозолі (оксиди заліза, марганцю, кремнію). Гранично допустима концентрація (ГДК) марганцю у повітрі робочої зони становить 0,2 мг/м³;
- токсичні гази: у процесі зварювання MAG виділяється оксид вуглецю (CO), озон, а також можливе накопичення вуглекислого газу (CO₂) та аргону (Ar) в зоні дихання при порушенні вентиляції;
- аерозолі при лазерному різанні: процес термічного розкрою металу супроводжується виділенням дрібнодисперсного пилу та оксидів металів.

психофізіологічні фактори:

- монотонність праці оператора робота та зорове напруження під час візуально-вимірювального контролю.

						Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

4.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Відповідно до вимог ДСТУ 2456-94 [27], безпека праці забезпечується раціональною організацією технологічного процесу та робочих місць. Технологічні та конструкторські заходи: впровадження роботизованого зварювання дозволяє вивести оператора з безпосередньої зони дихання зварювальних аерозолів та опромінення. Застосування жорсткої складальної оснастки та кантувача запобігає травматизму під час позиціонування виробу.

Санітарно-технічні заходи [28], [29]:

- захист від оптичного випромінювання: робоча зона робота огорожується захисними екранами з ПВХ, які поглинають УФ та ІЧ випромінювання;
- вентиляція: для видалення аерозолів застосовується місцева високовакуумна система xFUME ROBO, інтегрована у зварювальний пальник робота;
- електробезпека: металеві корпуси обладнання надійно заземлюються;
- захист від шуму: обладнання встановлюється на віброізоляційні опори, працівники забезпечуються ЗІЗ органів слуху. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): Оператори комплексу забезпечуються спецодягом з негорючих матеріалів, захисним взуттям, рукавицями.

Для захисту зору застосовується зварювальна маска зі світлофільтром, який відповідає ДСТУ EN 169-2001 [28].

Екологічні заходи [30]: викиди в атмосферу попередньо очищуються за допомогою касетних фільтрів системи вентиляції. Утилізація металевих відходів та шлаку проводиться в спеціально відведених контейнерах.

						Арк.
						62
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Вимоги до технологічних процесів та обладнання

Впровадження роботизованого зварювання дозволяє вивести оператора з безпосередньої зони дихання зварювальних аерозолів та опромінення. Застосування жорсткої складальної оснастки та двостоякового кантувача EVS-DWP-U запобігає травматизму під час позиціонування важкого виробу (до 500 кг).

- лазерне різання: відповідно до вимог НПАОП 28.52-1.31-13 [31], застосовується лазерна установка ARAMIS закритого типу або обладнана спеціальними захисними екранами, що перешкоджають потраплянню лазерного випромінювання на робочі місця. Пульт керування розміщується поза зоною прямого відбиття променя. Забороняється відключати блокування дверцят під час роботи лазера.
- вальцювання: вальці Bendmak обладнані кнопкою аварійної зупинки та педальним керуванням, що дозволяє оператору тримати безпечну дистанцію від рухомих валків.
- газове господарство: експлуатація балонів із захисною сумішшю M21 (82% Ar + 18% CO₂) здійснюється згідно з ДНАОП 0.00-1.07-94 [32]. Балони встановлюються на відстані не ближче 5 м від зварювального пальника та надійно кріпляться ланцюгами до стіни або стійки для запобігання падінню.

4.4 Вимоги до виробничих приміщень та робочих місць

Відповідно до ДБН В.2.2-28:2010 [33], виробниче приміщення має один проліт (16 м x 22 м) з проходами шириною 3 метри, що забезпечує зручне та безпечне переміщення персоналу і кран-балки.

- мікроклімат: параметри мікроклімату підтримуються згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [34]. Температура повітря, що подається вентиляцією в холодну пору року, повинна бути не нижче +20 °C;

						Арк.
						63
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- освітлення: згідно з ДБН В.2.5-28-2018 [35], передбачено природне та штучне освітлення. Для зони візуального контролю швів встановлюються додаткові світильники місцевого освітлення;
- шум та вібрація: рівні шуму відповідають ДСН 3.3.6.037-99 [36]. Зварювальний комплекс, витяжна установка XFUME ROBO та вальці встановлюються на віброізоляційні опори.

4.5 Захист від оптичного та теплового випромінювання

Інтенсивність випромінювання в оптичному діапазоні на постійних робочих місцях не повинна перевищувати допустимих величин (наприклад, 10 Вт/м² для УФ діапазону 0,32-0,4 мкм) [37].

- зварювальна дільниця: зона роботи зварювального робота огорожується стаціонарними захисними екранами зі спеціального напівпрозорого ПВХ-матеріалу (світлофільтруючі штори), який поглинає небезпечне УФ та ІЧ випромінювання дуги, але дозволяє контролювати процес;
- оператори-налагоджувальники під час програмування або спостереження за тестовим зварюванням зобов'язані використовувати зварювальні маски зі світлофільтрами відповідного ступеня захисту згідно з ДСТУ EN 169-2001 [28].

4.6 Електробезпека

Електробезпека є критичним аспектом, оскільки джерело Lincoln Electric Power MIG 260 живиться від мережі 380 В. Електротехнічні вироби повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 [38] та ДНАОП 0.00-1.32-01 [39].

- заземлення: корпуси джерела живлення, контролера робота, обертача, лазерного верстата та кран-балки підлягають обов'язковому захисному заземленню згідно з ПУЕ-2017 [40]. Кожна одиниця

						Арк.
						64
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання має окремий провід, приєднаний до цехової магістралі заземлення;

- напруга холостого ходу: для джерела Lincoln Electric Power MIG 260 (постійний струм), максимальне значення номінальної напруги холостого ходу в середовищі без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом не повинно перевищувати 113 В (середнє значення);
- блокування: шафи керування роботом та лазером оснащені кінцевими вимикачами (блокуваннями), які автоматично знімають напругу при відкриванні дверцят.

4.7 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

Усі працівники (оператор зварювального комплексу, оператор заготівельної дільниці) забезпечуються ЗІЗ згідно з ДСТУ 7239:2011 [41]:

- спецодяг: костюми з вогнестійких матеріалів (спилок, брезент) для захисту від іскор та тепловіддачі металу; захисне взуття з металевим носком.
- захист очей та обличчя: для оператора робота — захисні окуляри для роботи в цеху (захист від пилу та відблисків) та зварювальні щитки (ДСТУ EN 175-2001) при необхідності ручного прихоплення. Для оператора лазера — спеціальні окуляри, що блокують довжину хвилі лазера.
- захист рук: рукавиці згідно з ДСТУ EN 420-2017 [42] (краги для роботи з гарячим металом та деталями після різання).
- захист органів дихання: у разі технічного обслуговування вентиляції або очищення лазерного столу використовуються респіратори (ДСТУ EN 133:2005) [43].

						Арк.
						65
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.8 Екологічні заходи

- викиди в атмосферу від зони зварювання та лазерного розкрою попередньо очищуються за допомогою касетних фільтрів тонкого очищення, вбудованих у витяжні системи, до концентрацій, що не перевищують допустимих рівнів;
- утилізація металевих відходів (обрізки сталі S355J2W), залишків зварювального дроту G3Si1 та пилу з фільтрів здійснюється централізовано; відходи сортуються у спеціально марковані металеві контейнери для подальшої переробки.

						Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

4.9 Розрахунок інженерного рішення

Виконаємо розрахунок продуктивності місцевої витяжної вентиляції для роботизованого поста [44]. Об'єм повітря L_m , що необхідно видалити, визначаємо за швидкістю всмоктування (формула 3.16):

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0, \quad (3.15)$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору, м^2 ;

V_0 – швидкість всмоктування повітря, м/с .

Для механізованого зварювання в активних газах необхідна швидкість руху повітря в зоні зварювання V_x не повинна перевищувати $0,5 \text{ м/с}$, щоб не порушувати газовий захист. Приймаємо діаметр круглого отвору всмоктувального сопла (без екрану) $d = 0,03 \text{ м}$. Відстань від центру отвору до зони зварювання $x = 0,04 \text{ м}$.

Швидкість всмоктування V_0 розраховуємо за формулою 3.16 для круглого отвору без екрана:

$$V_0 = 16 \cdot V_x \cdot \left(\frac{x}{d}\right)^2 \quad (3.16)$$

$$V_0 = 16 \cdot V_x \cdot \left(\frac{x}{d}\right)^2 = 16 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{0,04}{0,03}\right)^2 = 14,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Площа перерізу отвору розраховується за формулою 3.17.

$$F_0 = \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right) \quad (3.17)$$

$$F_0 = \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right) = \left(\frac{3,14 \cdot 0,03^2}{4}\right) = 0,00070 \text{ м}^2.$$

Тоді продуктивність місцевого відсмоктувача за формулою 3.15:

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0 = 3600 \cdot 0,00070 \cdot 14,2 = 201,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Відповідно до ДСТУ 2456-94 [27], для дугового зварювання в суміші газів $\text{CO}_2 + \text{Ar}1$ місцевими пристроями необхідно видаляти не менше $150 \text{ м}^3/\text{год}$ [45]. Розраховане значення $L_m = 201,6 \text{ м}^3/\text{год}$ задовольняє цю вимогу та забезпечує ефективне вловлювання аерозолі.

4.10 Пожежна безпека

Приміщення цеху, де виконується роботизоване зварювання корпусу вагонетки, за вибухопожежною небезпекою належить до категорії Г [46]. Ступінь вогнестійкості будівлі – І. Клас можливої пожежі пов'язаний з аваріями електроустановок (Клас Е) та загорянням твердих горючих матеріалів (Клас А). Можливі джерела запалювання: іскри, бризки розплавленого металу, коротке замикання в електромережі, нагріті поверхні виробу. Заходи пожежної профілактики [47], [48]:

- заборонено зберігання легкозаймистих рідин поблизу зварювального робота;
- балони з сумішшю надійно закріплюються на відстані не менше 5 м від зварювальної дуги та 1 м від опалювальних приладів;
- електрообладнання захищено апаратами максимального струмового захисту. Засоби пожежогасіння та сигналізація: робоча зона обладнується пожежними щитами. Номенклатура первинних засобів: вуглекислотні вогнегасники для гасіння електрообладнання, порошкові, ящик з піском, лопата, азбестове покривало. Для своєчасного виявлення пожежі передбачено автоматичну пожежну сигналізацію з димовими сповіщувачами. У разі виникнення пожежі персонал зобов'язаний натиснути кнопку аварійної зупинки, знеструмити обладнання, викликати пожежну охорону (101) та приступити до гасіння первинними засобами згідно з планом ліквідації аварій.

4.11 Засоби пожежогасіння та сигналізація

Для автоматичного виявлення пожеж у приміщенні встановлена автоматична пожежна сигналізація з димовими та тепловими сповіщувачами. Цех укомплектований протипожежними щитами. Для гасіння електроустановок (Клас пожежі Е) під напругою передбачені вуглекислотні

						Арк.
						68
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вогнегасники (ВВК/ОУ) та порошкові вогнегасники (ВП/ОП), а також ящики з сухим піском та азбестові покривала. Використання води чи пінних вогнегасників для гасіння обладнання під напругою категорично заборонено.

У разі виникнення пожежі персонал зобов'язаний:

- негайно натиснути кнопку аварійної зупинки («Грибок») на панелі керування роботом чи лазером.
- повністю знеструмити обладнання цеху ввідним рубильником.
- сповістити пожежну охорону за номером 101 та керівництво цеху.
- приступити до гасіння полум'я наявними первинними засобами згідно з планом ліквідації аварій, не наражаючи власне життя на небезпеку.

						Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ ОХОРОНА ПРАЦІ

Запроєктована технологія складання та зварювання промислової вагонетки, завдяки використанню роботизованого маніпулятора та спеціалізованої оснастки, усуває необхідність постійного перебування людини в безпосередній зоні дії шкідливих факторів дуги (випромінювання, аерозолі). Передбачені заходи з вентиляції, освітлення, електро та пожежної безпеки повністю задовольняють вимоги чинного законодавства України з охорони праці та забезпечують безпечне і високопродуктивне виробниче середовище. Створення таких умов праці мінімізує виробничий травматизм, виключає розвиток професійних захворювань і сприяє високій якості випуску готової продукції.

						Арк.
						70
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту було комплексно досліджено та обґрунтовано технологію складання та зварювання корпусу шахтної вагонетки, виготовленої з конструкційної сталі S355J2W. Робота охопила повний технологічний цикл: від аналізу матеріалу та зварних з'єднань до економічного обґрунтування виробництва і розробки заходів з охорони праці.

На початковому етапі було виконано конструктивно-технологічний аналіз виробу. Встановлено, що використання сталі S355J2W є технічно виправданим рішенням завдяки її механічній міцності, стійкості до абразивного зношування та стабільній роботі при перепадах температур експлуатації. Проаналізовано схильність матеріалу до утворення гарячих і холодних тріщин. Розрахунки та комп'ютерне моделювання в середовищі Simufact Welding показали, що сталь має високу стійкість до ХТ та ГТ, що дозволяє застосовувати її без попереднього підігріву.

Детально розглянуто типи зварних з'єднань (кутові та напусткові), що використовуються в конструкції вагонетки. Для кожного з'єднання визначено оптимальне положення при зварюванні (нижнє РВ) та розраховано режими зварювання (катети швів, зварювальний струм, швидкість подачі дроту та напруга дуги). Це дозволило систематизувати дані та гарантувати надійність конструкції під впливом динамічних навантажень.

Було обґрунтовано вибір способу зварювання механізоване (роботизоване) зварювання плавким електродом в активному газі (135/MAG), яке виявилось найбільш раціональним для автоматизації серійного виробництва (100 шт./рік). Вибір зварювальних матеріалів ґрунтується на мінімізації ризиків утворення дефектів: обрано дріт G3Si1 з низьким вмістом сірки та фосфору, а також захисну газову суміш 82% Ar + 18% CO₂, що забезпечує стабільну дугу, зменшення розбризкування та якісне формування шва.

						Арк.
						71
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблена технологічна послідовність передбачає застосування спеціалізованої складальної оснастки та високотехнологічного обладнання: 6-осьового зварювального робота MR10W-1440-D і двостоякового горизонтального обертача EVS-DWP-U. Проведено інженерний розрахунок навантаження на обертач та змодельовано процес зварювання, що підтвердило зниження зварювальних деформацій на 74% завдяки використанню оснастки.

З економічної точки зору встановлено, що впровадження автоматизованої технології дозволяє суттєво скоротити витрати на ручну працю. Розрахована собівартість одного виробу становить близько 43,4 тис. грн, а термін окупності капітальних інвестицій складає 1,72 року. Проведений SWOT-аналіз у рамках стартап-проекту підтвердив високий комерційний потенціал розробленої технології для гірничодобувної промисловості.

Сучасні технологічні тенденції машинобудування вимагають від підприємств переходу від важкої ручної праці до автоматизованих рішень. Впровадження роботизованих комплексів гарантує не лише стабільну якість, яка не залежить від людського фактора, але й забезпечує необхідну гнучкість виробництва. Здатність швидко перепрограмувати обладнання під нову номенклатуру виробів є стратегічною необхідністю та ключем до успішної конкуренції на ринку.

Важливу увагу приділено питанням охорони праці. Використання робота виводить людину з безпосередньої зони шкідливого впливу дуги, а локальна система вентиляції xFUME ROBO гарантує ефективне видалення зварювального аерозолю. Запропоновано комплексні заходи з електробезпеки, пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях.

Таким чином, дипломний проєкт є завершеним комплексним технологічним рішенням, що містить обґрунтовані інженерні розрахунки, моделювання виробу та деталей, та є економічно доцільним для впровадження у виробництво.

						Арк.
						72
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вагонетки шахтні [Електронний ресурс] // Енергоекспорт. — Електрон. дані. — Режим доступу: <https://energoexport.com.ua/product/vagonetki-shahtnye> (дата звернення: 22.05.2026). — Назва з екрана.
2. Марочник металів та сплавів [Електронний ресурс] // Splav-kharkov. — Електрон. дані. — Режим доступу: <https://www.splav-kharkov.com/en/index.php> (дата звернення: 22.05.2026). — Назва з екрана.
3. Сливінський О. А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів : навч. посіб. / О. А. Сливінський. — Київ : НТУУ «КПІ», 2010. — 260 с.
4. Simufact Welding : software for welding simulation [Електронний ресурс] / Hexagon Manufacturing Intelligence. — Електрон. дані. — Режим доступу: https://www.cadence.com/en_US/home/tools/msc-software/simufact-welding.html (дата звернення: 27.05.2026). — Назва з екрана.
5. Технологія та устаткування зварювання плавленням. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» / Укладачі: Бойко В.П., Котик В.Т., Корінець І.П. — Київ: 2012. 58с.
6. ДСТУ EN ISO 14175:2014. Welding consumables — Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes. — [Чинний від 2016-01-01]. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. — 13 с.
7. ДСТУ EN ISO 14341:2022. Зварювальні матеріали. Дротяні електроди та наплавлений метал для дугового зварювання в захисних газах нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 14341:2020, IDT; ISO 14341:2020, IDT). — На заміну ДСТУ EN ISO 14341:2014 ; чинний від 2023-12-31. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. — 34 с.

						Арк.
						73
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Зварювальний дріт ESAB [Електронний ресурс] // Prom.ua. — Електрон. дані. — Режим доступу: <https://prom.ua/p1661335974-cvarochnaya-provoloka-esab.html> (дата звернення: 27.05.2026). — Назва з екрана.
9. ДСТУ 8803:2018. Прокат товстолистовий з вуглецевої сталі звичайної якості. Технічні умови. — [Чинний від 2019-01-01]. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. — 12 с.
10. ISO 9692-1:2013. Welding and allied processes — Types of joint preparation — Part 1: Manual metal arc welding, gas-shielded metal arc welding, gas welding, TIG welding and beam welding of steels. — [Чинний від 2013-10-01]. — Женева : ISO, 2013. — 21 с.
11. ДСТУ EN ISO 6947:2022. Зварювання та споріднені процеси. Позиції зварювання (EN ISO 6947:2019, IDT; ISO 6947:2019, IDT). — Чинний від 2023-12-31. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. — 24 с.
12. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Технологія та обладнання зварювання плавленням» : для студентів спеціальності «Обладнання та технологія зварювального виробництва» усіх форм навчання / уклад. І. Ф. Корінець. — Київ : КП, 1988. — 76 с.
13. Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням (EN ISO 17637:2016, IDT; ISO 17637:2016, IDT). — [Чинний від 2019-01-01]. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. — 15 с.
14. Верстат лазерного різання LTC-85 [Електронний ресурс] // Aramis. — Режим доступу: <https://aramis.ua/product/verstat-lazernogo-rizannya-ltc-85/> (дата звернення: 02.06.2026). — Назва з екрана.
15. Потужні трьохвалкові вальці Bendmak CYL-ST 200-30/6.0 [Електронний ресурс] // Prom.ua. — Електрон. дані. — Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p1183676901-moschnye-tryohvalkovyye-valtsy.html> (дата звернення: 23.03.2026). — Назва з екрана.
16. Комплект витяжки xFUME® ROBO [Електронний ресурс] // ABICOR BINZEL Україна : [офіційний сайт]. — Електрон. дані. — Режим

- доступу: <https://www.binzel-abicor.com/UA/ukr/products/extraction-technology/xfume-robo-extraction-kit/> (дата звернення: 31.05.2026). — Назва з екрана.
17. Welding robot MR10W-1440-D [Електронний ресурс] // TraceParts. — Електрон. дані. — Режим доступу: <https://www.traceparts.com/en/product/wuhu-mooka-robot-technology-welding-robot-mr10w1440d> (дата звернення: 23.05.2026). — Назва з екрана.
18. Power Wave® R450 Robotic Power Source (K3520-1) [Електронний ресурс] // Lincoln Electric. — Електрон. дані. — Режим доступу: <https://www.lincolnelectric.com/en/Products/k3520-1> (дата звернення: 24.05.2026). — Назва з екрана.
19. U-type Two-axis Welding Positioner [Електронний ресурс] // EVS Robot. — Електрон. дані. — Режим доступу: <https://www.evsrobot.com/ru/u-type-two-aixs-welding-positioner> (дата звернення: 25.05.2026). — Назва з екрана.
20. Виробництво зварних конструкцій-3. Засоби механізації зварювального виробництва : методичні вказівки до практичних занять з кредитного модулю навчальної дисципліни «Виробництво зварних конструкцій», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» / уклад. В. В. Лисак. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 110 с.
21. Кран-балка 3т опорна [Електронний ресурс] // Тріумф-В. — Електрон. дані. — Режим доступу: <https://triumf-v.com.ua/kran-balki/kran-balka-3t-opornaya.html> (дата звернення: 25.05.2026). — Назва з екрана.
22. ДСТУ EN ISO 5817:2022. Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT; ISO 5817:2014, IDT). — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. — 40 с.

23. Мікс-1 (82% аргону + 18% вуглекислоти) [Електронний ресурс] // ЛКВ.
— Електрон. дані. — Режим доступу: <https://lkv.com.ua/product/miks-1-82-argona-18-uglekisloty/> (дата звернення: 28.05.2026). — Назва з екрана.
24. Послуги та тарифи [Електронний ресурс] // ДТЕК Київські регіональні електромережі. — Електрон. дані. — Режим доступу: <https://www.dtek-krem.com.ua/ua/services-tariffs> (дата звернення: 28.05.2026). — Назва з екрана.
25. Козик В. В., Ємельянов О. Ю., Загорецька О. Я. Економіка підприємства: підручник. Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2025, 278 с.
26. Сайт пошуку роботи в Україні [Електронний ресурс] // Work.ua. — Електрон. дані. — Режим доступу: <https://www.work.ua/> (дата звернення: 28.05.2026). — Назва з екрана.
27. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки : ДСТУ 2456-94. — [Чинний від 1996-01-01]. — Київ : Держстандарт України, 1995. — 38 с.
28. Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри під час виконання зварювання та споріднених процесів. Вимоги до пропускання та рекомендації щодо використання : ДСТУ EN 169-2001. — [Чинний від 2002-07-01]. — Київ : Держстандарт України, 2002. — 14 с.
29. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : ДСН 3.3.6.037-99. — [Чинні від 1999-12-01]. — Київ : МОЗ України, 1999. — 29 с.
30. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони : затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 14.07.2020 № 1596. — Київ : МОЗ України, 2020.
31. НПАОП 28.52-1.31-13. Правила охорони праці під час зварювання металів : затверджено наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 14.12.2012 № 1421. — Київ : Вісник Охорони праці, 2013. — 46 с.

						Арк.
						76
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 32.ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила пристрою і безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском (із змінами і доповненнями). — Київ : Праця, 1994. — 118 с.
- 33.ДБН В.2.2-28:2010. Будинки і споруди. Виробничі будинки. [Чинний від 2011-06-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 38 с.
- 34.ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинні від 1999-12-01]. Київ : МОЗ України, 1999. 13 с.
- 35.ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. — [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний від 2019-03-01]. — Київ : Мінрегіон України, 2018. — 114 с.
- 36.Левченко О.Г. Гігієна праці та виробнича санітарія у зварювальному виробництві. Навчальний посібник для студентів зварювальних спеціальностей. — К.: Основа, 2004. — 98 с.
- 37.Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри під час виконання зварювання та споріднених процесів (EN 169:1992, IDT) : ДСТУ EN 169-2001. — Київ : Держстандарт України, 2002. — 14 с.
- 38.НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (за старим кодуванням — ДНАОП 0.00-1.21-98). — Київ : Охорона праці, 1998. — 384 с.
- 39.НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (за старим кодуванням — ДНАОП 0.00-1.32-01). — Київ : Мінекоресурсів України, 2001. — 120 с.
- 40.ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. — [Чинні від 2017-07-21]. — Київ : Форт, 2017. — 760 с.
- 41.ССБТ. Загальні вимоги до засобів індивідуального захисту : ДСТУ 7239:2011. — [Чинний від 2012-07-01]. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2012. — 24 с.
- 42.Захисні рукавички. Загальні вимоги та методи випробування (EN 420:2003+A1:2009, IDT) : ДСТУ EN 420:2017. — [На заміну ДСТУ EN

						Арк.
						77
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 420:2014 ; чинний від 2018-02-01]. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. — 18 с.
43. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація (EN 133:2001, IDT) : ДСТУ EN 133:2005. — [Чинний від 2007-01-01]. — Київ : Держспоживстандарт України, 2006. — 12 с.
44. Опалення, вентиляція та кондиціонування : ДБН В.2.5-67:2013. — [На заміну СНиП 2.04.05-91 ; чинний від 2014-01-01]. — Київ : Мінрегіон України, 2013. — 141 с.
45. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки : ДСТУ 2456-94. — [Чинний від 1996-01-01]. — Київ : Держстандарт України, 1995. — 38 с.
46. Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : НАПБ Б.03.002-2007. — [На заміну ОНТП 24-86 ; чинний від 2007-11-01]. — Київ : Мінсвітла України, 2007. — 25 с.
47. Правила пожежної безпеки в Україні : НАПБ А.01.001-2014 / затверджено наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417. — [Чинні від 2015-04-10]. — Київ : МВС України, 2015. — 160 с.
48. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI (із змінами та доповненнями). — Київ : Відомості Верховної Ради України, 2013.

ДОДАТКИ

						Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Формат		Зона	Поз.	Позначення		Найменування		Кільк.	При- мітка
						<u>Документація</u>			
A1				ЗВ21.04.02.000СК		Складальний кресленик		1	
						<u>Складанні одиниці</u>			
		25				Бокова розпірка		2	
						<u>Деталі</u>			
		1				Кантувач приводний		1	
		6				Вал поворотної рами		1	
		13				Шайба		1	
		15				План шайба		1	
		16				Фланець планшайби		1	
		18				Планка		2	
		26				Розпірка корпус		1	
		33				Вал кантувача		2	
		34				Рама двостоякового кантувача		1	
		35				Фланець кантувача 1		2	
		36				Фланець кантувача 2		2	
		37				Планшайба кантувача		2	
		39				Кантувач ведений		1	
		40				Тримач корпусу вагонетки		2	
		46				Струбцина 1		12	
		47				Планка для струбцини		6	
						ЗВ21.04.02.000 СК			
				Змін	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	
				Розробив		Крайній В.О		02.06.	
				Перев.		Смирнов І.В			
				Нач.від.					
				Н.контр		Лисак В.В			
				Затв.		Квасницький В.В			
</									

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	При- мітка
		51		Корпус цанги	2	
		52		Шайба для корпусу цанги	2	
		53		Розтискний винт	2	
		55		Шайба бокової кришки	2	
		56		Гвинт для корпусу бокової розпірки	2	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		2		BS 292: Деталь 1 - 7012 - 60 x 95 x 18	4	
		3		ANSI/B93.98M - 65x85x10-Тип 6	4	
		4		ISO 4014 - M5 x 25	18	
		5		AS 2317 - M20	4	
		7		ISO 10642 - M20 x 60	8	
		8		ISO 7090 - 20 - 140 HV	14	
		9		ISO 4161 - M20	8	
		10		ANSI B18.2.3.7M - M20x2,5 x 240	12	
		11		IFI 542 - 20, CCW(1)	6	
		12		ANSI B18.2.4.5M - M20 x 2.5	12	
		14		ISO 4379 - C 60 x 70 x 40	1	
		17		Screw GB 2673-86 - M16 x 25	6	
		19		ISO 10642 - M16 x 50	9	
		20		ISO 7090 - 16 - 140 HV	21	
		21		ISO 4035 - M16	5	
		38		ISO 4014 - M20 x 80	32	
		44		ASME/ANSI B18.3.5M - M3x6(1)	1	
		45		ASME/ANSI B18.3.5M - M3x6(2)	3	
		48		ISO 4034 - M16	4	
		49		ISO 4017 - M16 x 30	12	
		54		ISO 4034 - M6	2	
		58		DIN 933 - M12 x 10	24	
Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	3B21.04.02.000СК	
Змін	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Арк.	
					2	

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	При- мітка
		16		Фланець планшайди	1	
		18		Планка	2	
		26		Розпірка корпус	1	
		27		Стійка для робота	1	
		28		Зварювальний робот MR10W-1440-	1	
		33		Вал кантувача	2	
		34		Рама двостоякового кантувача	1	
		35		Фланець кантувача 1	2	
		36		Фланець кантувача 2	2	
		37		Планшайда кантувача	2	
		39		Кантувач ведений	1	
		40		Тримач корпусу вагонетки	2	
		41		Кріплення вентиляції до пальника	2	
		42		Насадка до витяжки	1	
		43		Кріплення вентиляції до пальника	1	
		46		Струбцина 1	12	
		47		Планка для струбцини	6	
		51		Корпус цанги	2	
		52		Шайба для корпусу цанги	2	
		53		Розтискний винт	2	
		55		Шайба бокової кришки	2	
		56		Гвинт для корпусу бокової розпірки	2	
		57		Гвинт для бокової розпірки	2	
Інв. № подл.						
Підп. і дата						
Зам. інв. №						
Інв. № дубл.						
Підп. і дата						
Змін	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	ЗВ21.04.03.000	
					2	

[illegible]

[illegible]