

**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

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ
(підпис)

« ____ » _____ 2025 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 балки підйомного механізму

Виконав:

студент IV курсу, групи ЗС-11
Войтенко Олександр Сергійович

Керівник:

асистент, доктор філософії (PhD)
Лагодзінський Іван Миколайович

Консультант з розроблення стартап-проєкту:
доцент, к.е.н., Глущенко Ярослава Іванівна

Консультант з охорони праці:

Зав. каф., д.т.н., професор
Левченко Олег Григорович

Рецензент:

доцент, к.т.н., доцент,
Блощицин Михайло Сергійович

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

Студент _____

Київ – 2025 рік

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

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Войтенку Олександрю Сергійовичу

1. Тема проєкту «Технологія складання та зварювання балки підйомного механізму», керівник проєкту Лагодзінський Іван Миколайович, асистент, доктор філософії (PhD), затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р. № 1733-с

2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту Ескіз зварного виробу (додається). Матеріал виробу – сталь 15ХСНД. Забезпечення рівномірності зварних з'єднань та відсутності недопустимих дефектів. Серійна програма виготовлення виробу – 250 шт. Умови виготовлення – цехові, температура експлуатації – від -40 °С до +50 °С.

4. Зміст пояснювальної записки:

Виконати конструктивно-технологічний аналіз балки підйомного механізму. Обґрунтувати вибір методів 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 балки підйомного механізму. Адаптувати вибране устаткування для складання і зварювання балки підйомного механізму. Виконати компоновку установки для зварювання швів балки підйомного механізму. Призначити методи контролю якості зварних швів балки підйомного механізму. Спланувати розміщення засобів технологічного спорядження на виробничій площі. Скласти операційну карту процесу зварювання. Зробити загальні висновки до технологічного розділу дипломного проекту. Розрахувати економічний ефект від впровадження розробленої технології у виробництво. Розробити заходи з охорони праці безпеки та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

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

1. Складальний кресленик балки підйомного механізму (1 А1).
2. Схема технологічного процесу виготовлення балки підйомного механізму (1 А1).
3. Креслення складання до зварювання прямолінійних швів №1 та №2 (1 А1).
4. Креслення складання та зварювання прямолінійних швів №1 та №2 (1 А1).
5. Креслення складання та зварювання кільцевого шва №3 балки (1 А1).
6. План виробничої площі (1 А1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап проекту	Глущенко Я. І., доц.		
Охорона праці	Левченко О. Г., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Прим.
1	Аналіз літератури за темою проекту	до 30 квітня	
2	Детальна розробка і обґрунтування проектних рішень технологічної частини проекту	до 15 травня	
3	Розробка стартап проекту	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)

Войтенко О.С.

Керівник

(підпис)

Лагодзінський І.М.

РЕФЕРАТ

Дипломний проект представлено пояснювальною запискою на 123 сторінках, графічною частиною на 6 аркушах формату А1, літературних джерел – 41, містить 32 таблиці, 23 рисунки.

ЗВАРЮВАННЯ, БАЛКА ПІДЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ, ЗВАРЮВАЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ, СКЛАДАЛЬНА ОСНАСТКА, ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

У дипломному проекті розроблена технологія складання–зварювання балки підйомного механізму. Проаналізовано основний матеріал (хімічний склад, фізичні та механічні властивості, зварюваність та особливості зварювання). Представлено обґрунтування вибору методу зварювання.

Проведено підбір методу зварювання для кожного зварного з'єднання та розраховано режими зварювання (діаметр зварювального дроту, швидкість зварювання, швидкість подачі дроту, зварювальний струм, зварювальна напруга, витрата захисного газу).

Встановлено поетапні кроки виготовлення конструкції.

Обґрунтовано вибір складального та зварювального оснащення для виготовлення балки підйомного механізму, проведено компонування пристрою для складання–зварювання повздовжніх швів балки.

Проведено розробку економічної частини дипломного проекту у вигляді стартап проекту.

Наведено заходи та інженерні рішення для забезпечення охорони праці і техніки безпеки під час проведення зварювальних робіт.

Проведена розробка плану виробничої площі для зварювання балки підйомного механізму.

ABSTRACT

The diploma project is presented with an explanatory note on 123 pages, a graphic part on 6 sheets of A1 format, 41 literary sources, contains 32 tables, 23 drawings.

WELDING, LIFTING BEAM, WELDING EQUIPMENT, FIXTURES, WELDING MATERIALS, TECHNOLOGICAL PROCESS.

The diploma project considers the technology of assembly–welding of the lifting mechanism beam. The main material is analyzed (chemical composition, physical and mechanical properties, weldability and welding features). The justification for the choice of the welding method is presented.

The welding method is selected for each welded joint and the welding modes are calculated (welding wire diameter, welding speed, wire feed speed, welding current, welding voltage, shielding gas consumption).

The phased steps of the structure manufacturing are established.

The choice of assembly and welding equipment for the manufacture of the lifting mechanism beam is justified, the layout of the device for assembly–welding of the longitudinal seams of the beam is carried out.

The economic part of the diploma project is developed in the form of a startup project.

Measures and engineering solutions are presented to ensure labor protection and safety during welding work.

A plan of the production area for welding the lifting mechanism beam is developed.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 КОНСТРУКТОРСЬКО–ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ БАЛКИ ПІДЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ	10
1.1 Опис конструкції балки підйомного механізму та ТУ на виготовлення.....	11
1.2 Характеристика металу балки підйомного механізму	12
1.3 Оцінка опорності металу зварного з'єднання до утворення тріщин	14
1.4 Складальні одиниці балки підйомного механізму.....	16
1.5 Характеристика зварних з'єднань	16
1.6 Вибір типових методів зварювання.....	18
1.7 Вибір зварювальних матеріалів	20
1.8 Вибір швів для зварювання методом (121 Ф).....	22
1.9 Вибір швів для зварювання методом (135 УП).....	24
1.10 Розрахунок режимів зварювання методом (121 Ф).....	27
1.10.1 Розрахунок режиму зварювання стикових швів під шаром флюсу за площею наплавленого матеріалу:.....	27
1.10.2 Розрахунок режиму зварювання кільцевого шва під шаром флюсу за площею наплавленого матеріалу:.....	29
1.11 Розрахунок режимів зварювання методом (135 УП).....	30
1.11.1 Розрахунок режиму зварювання прямолінійних швів в CO ₂ по площі наплавленого матеріалу.....	30
1.11.2 Розрахунок режиму зварювання кільцевих швів в CO ₂ по площі наплавленого матеріалу.....	32
1.12 Опис технологічного процесу виготовлення балки підйомного механізму	34
1.12.1 Загальний опис виготовлення.....	34
1.12.2 Вибір конструктивних матеріалів	36
1.12.3 Призначення засобів обробки, виготовлення деталей та прийняття параметрів режимів обробки заготовок	36
1.12.4 Детальний опис операції складання та зварювання конструкції балки підйомного механізму.....	40
1.13 Обґрунтування необхідності розробки технологічної оснастки	41
1.14 Оцінка економічної ефективності варіантів технології.....	43

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>							
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Технологічний розділ</i>			Лит.	Арк.	Архувів		
Розроб.	Войтенко О.С.									6	124	
Перевір.	Лагодзінський І.М.							<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона</i>				
Н. кантр.	Лисак В.В.											
Затверд.	Квасницький В.В.											

1.14.1	Оцінка економічної ефективності технології зварювання прямолінійних швів №1 та №2.....	43
1.14.2	Оцінка економічної ефективності технології зварювання кільцевого шва №.....	48
2	РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО–ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ.....	53
2.1	Технічні вимоги щодо оснастки.....	53
2.2	Вибір технологічних баз та схем базування заготовок.....	54
2.3	Розробка принциповії схеми пристрою.....	55
2.4	Обґрунтування вибору конструктивних елементів оснастки.....	56
2.5	Розрахунок двохстійкового горизонтального кантувача з підйомними центрами КПЦ–400.....	58
2.5.1	Наближення перше.....	61
2.5.2	Наближення друге.....	63
2.6	Компонування складально–зварювального пристрою.....	67
2.7	Опис роботи складально–зварювального пристрою.....	67
3	КОМПУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ.....	69
3.1	Обґрунтування вибору основного технологічного устаткування.....	69
3.2	Обґрунтування необхідності вибору засобів технологічного спорядження (ЗТС) для механізації або автоматизації зварювання одного (або декількох) із зварних швів виробу.....	73
3.2.1	Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок силових характеристик консолі для утримання обраного обладнання з механізмом позиціювання та пересуванням обладнання ...	74
3.2.2	Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок потужності приводного електродвигуна для механізмів позиціювання та пересування обладнання.....	77
3.3	Опис зварювальної установки.....	84
4	ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАНУ ВИРОБНИЧОЇ ПЛОЩІ.....	86
4.1	Визначення типу виробництва.....	86
4.2	Визначення кількості обладнання.....	87
4.3	Розрахунок чисельності працюючих складально–зварювального цеху.....	88
4.4	Основні вимоги для планування цеху.....	89
4.5	Визначення запасу матеріалів.....	90
4.6	Визначення необхідних вантажо–підймальних засобів, проходів, проїздів.....	91
5	РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	92

5.1	Опис ідеї проекту	92
5.2	Технологічний аудит ідеї проекту	95
5.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	96
6	ОХОРОНА ПРАЦІ	102
6.1	Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)	103
6.2	Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці	104
6.2.1	Вимоги до технологічних процесів	104
6.2.2	Вимоги до виробничих приміщень	106
6.2.3	Вимоги до організації робочих місць.....	107
6.2.4	Вимоги до вентиляції.....	108
6.3	Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці.....	109
6.3.1	Електробезпека зварювальних робіт	109
6.3.2	Вимоги до зварювального обладнання	109
6.3.3	Правила експлуатації зварювального обладнання	110
6.3.4	Заходи для уникнення ураження електричним струмом	110
6.4	Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту	111
6.4.1	Захист органів дихання.....	111
6.4.2	Захист очей та обличчя.....	111
6.4.3	Захист рук	112
6.4.4	Додаткові заходи захисту	112
6.5	Пожежна безпека.....	112
6.5.1	Категорія приміщень за вибухопожежною небезпекою	112
6.5.2	Основні заходи пожежної безпеки	113
6.5.3	Контроль та перевірка систем пожежної безпеки	113
	ВИСНОВКИ	115
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	116
	ДОДАТКИ	123

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні, будівництві та інших галузях промисловості зварні конструкції відіграють ключову роль, забезпечуючи високу міцність, довговічність та економічну ефективність виробів. Завдяки зварюванню стало можливим створювати складні металеві конструкції з мінімальними витратами матеріалу, що сприяє їх широкому застосуванню в будівництві каркасних споруд, транспортному та енергетичному секторах, машинобудуванні та важкій промисловості. Одним із важливих елементів таких конструкцій є швелер – металевий профіль із відкритою формою перерізу, що використовується як несучий або опорний елемент у різних конструктивних рішеннях.

Балки відзначаються високою жорсткістю та стійкістю до вигину і скручування, що робить їх незамінними в умовах значних навантажень. Їх використання дозволяє створювати міцні, але водночас легкі конструкції, що важливо для економії матеріалів та зменшення загальної маси споруд. Однак для забезпечення якісного виготовлення таких балок необхідно правильно розробити технологічний процес, вибрати оптимальні методи зварювання, матеріали та обладнання, а також визначити контрольні заходи для гарантування високої якості зварних з'єднань.

Розробка технологічного процесу виготовлення балки є важливим інженерним завданням, яке потребує комплексного підходу. Необхідно врахувати конструктивні особливості виробу, визначити оптимальний порядок технологічних операцій, вибрати методи складання та зварювання, підібрати необхідну оснастку та зварювальне обладнання. Окрім цього, важливу роль відіграє контроль якості зварних швів, оскільки від нього залежить надійність та довговічність готового виробу.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 КОНСТРУКТОРСЬКО–ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ БАЛКИ ПІДЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ

Балка підйомного механізму – ключовий складник вантажопідйимального устаткування, котрий гарантує підтримку, передачу навантажень та переміщення вантажів у просторі. Вона виконує декілька вкрай важливих функцій у складі механізму, незалежно від того, чи то крани, козлові механізми або стаціонарні талі.

Основне призначення балки – це підтримувати та переміщувати вантаж. Саме на балку лягає навантаження від вантажопідйимального пристрою (лебідки, талі, тельфера), а також від самого вантажу. Балка підйимального механізму слугує направляючою основою, якою переміщається вантажозахоплювальний пристрій в горизонтальній площині. У цьому випадку балка виконує роль прольотної конструкції, по якій рухається візок з вантажем.

Балка також забезпечує розподіл навантаження на опори. Під час проектування підйимального механізму враховується не тільки вантажопідйомність, але й жорсткість та опір деформаціям балки. Вона повинна витримувати як вертикальні, так і горизонтальні навантаження, передаючи їх на опори або ходові колеса без перевантажень. Неоднорідний розподіл маси вантажу може спричинити вигини, деформації або перекося, тому геометричні характеристики балки (висота перерізу, товщина стінок, наявність діафрагм тощо) проектується відповідно до вимог ДСТУ та норм безпеки.

Балка підйимального механізму також є основою для монтажу допоміжного обладнання. До неї можуть кріпитися лебідки, напрямні ролики, електроприводи, обмежувачі ходу, датчики навантаження, ремонтні майданчики та інше технічне оснащення, котре необхідне для безпечної та надійної роботи крана.

З метою безпеки експлуатації на балці монтується обмежувачі руху візка, а також виконується технічне обслуговування всіх вузлів. Для цього передбачаються спеціальні ремонтні площадки або оглядові трапи, котрі дають змогу персоналу проводити огляд та регламентне обслуговування.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.1 Опис конструкції балки підйомного механізму та ТУ на виготовлення

Підйомні механізми, до складу яких входять балки, призначені переважно для вертикального підйому і горизонтального переміщення вантажів у межах виробничих, складських або монтажних майданчиків. Застосування таких механізмів характерне для обробних цехів, ділянок збирання великогабаритного обладнання, а також логістичних комплексів.

Балка підйомного механізму, про яку йдеться, відноситься до категорії несучих та направляючих елементів (рис. 1.1), саме на неї лягає основне зосереджене навантаження як від маси вантажу, так і від власної ваги підйомного пристрою (лебідки або талі), а також сил інерції, що виникають під час прискорення чи гальмування переміщення. Така балка забезпечує фіксовану траєкторію руху вантажозахватів та служить опорною поверхнею для пересувного обладнання.

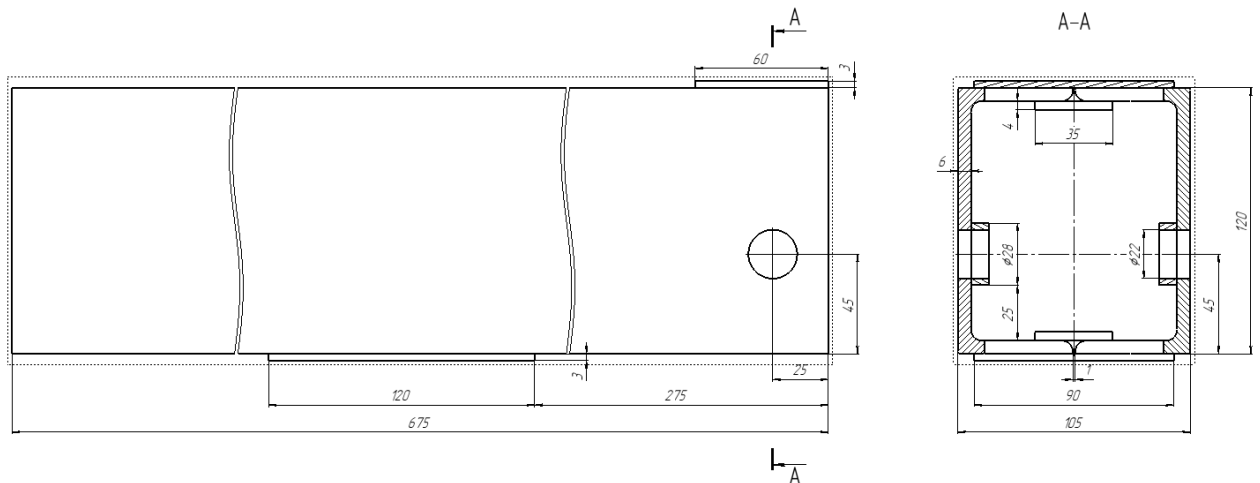


Рисунок 1.1 – Балка підйомного механізму

Балки підйомного механізму експлуатуються у закритих приміщеннях – у цехах або ангарах, що зменшує ризик корозійного ураження металу і дозволяє обмежити діапазон робочих температур у межах від $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. З огляду на внутрішньо цехові умови, конструкція балки не потребує спеціальних

					ЗС-11.03.00.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

атмосферостійких покриттів, але має мати захист від пилу і вологи, особливо в зонах зварних з'єднань.

З огляду на призначення балки – забезпечення підйому вантажу на певну висоту та його переміщення в горизонтальній площині – до конструкції ставляться підвищені вимоги щодо міцності, жорсткості та надійності. Балка повинна мати достатній запас міцності для сприйняття згинальних і крутильних навантажень, а також динамічних імпульсів, які виникають при пуску та гальмуванні. Виходячи з цього, її доцільно віднести до категорії відповідальних конструкцій.

Розроблювана балка підйомного механізму є середньогабаритною зварною конструкцією, що дозволяє її виготовлення із застосуванням промислових методів складання і зварювання.

Отже, розроблювана балка підйомного механізму являє собою середньогабаритну конструкцію, що свідчить про можливість застосування такого механоскладального зварювального обладнання, як: автоматичні установки для дугового зварювання, підйомні пристрої (крани, лебідки, домкрати, маніпулятори), фіксуючі пристрої (струбцини, пневмопритискачі).

1.2 Характеристика металу балки підйомного механізму

Балка підйомного механізму виготовляється переважно зі низьковуглецевих та низьколегованих сталей як 15ХСНД. Вміст хімічних елементів сталі за маркуванням наведений в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі у % матеріалу 15ХСНД [1]

Хімічний елемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu	N	As
%	0,12-0,18	0,4-0,7	0,4-0,7	0,6-0,9	0,3-0,6	до 0,04	до 0,035	0,2-0,4	до 0,008	до 0,08

15ХСНД відноситься до низьковуглецевої ($C < 0,025\%$), низьколегованої (так як сума вмісту легуючих елементів $< 5\%$). Також сталь не містить високоактивних хімічних елементів як Al, Ti та ін.

З огляду на наявність у складі таких легуючих компонентів, як хром, марганець і нікель, сталь марки 15ХСНД вирізняється покращеними показниками міцності та стійкістю до корозійних впливів. Це зумовлює її застосовність у умовах, де присутнє агресивне середовище. В результаті термомеханічної обробки, сталь цієї марки набуває статусу високоміцної. Водночас, зазначена обробка призводить до зменшення пластичності та ударної в'язкості. Це, своєю чергою, збільшує ризик виникнення крихких руйнувань у конструктивних елементах, зокрема, за умов низьких температур або динамічних навантажень [2].

Механічні властивості сталі 15ХСНД наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 15ХСНД [3]

Марка сталі	Товщина прокату, мм	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	a_n , $\text{кгм} \cdot \text{см}^{-2}$ при -40°C
15ХСНД	4-32	>490	≥ 345	≥ 21	$>4,0$

σ_B – межа міцності; σ_T – межа текучості; δ – відносне видовження;

Фізичні властивості матеріалу 15ХСНД наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Фізичні властивості матеріалу 15ХСНД [3]

Температура ($^\circ\text{C}$)	Модуль пружності (МПа)	Теплопровідність ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}$)	Питома теплова потужність ($\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}$)	Питомий електричний опір ($\text{Ом} \cdot \text{м}^{-1}$)
11	-	-	-	0,14
288	-	12,2	-	-
915	644	23,3	432	-

1.3 Оцінка опорності металу зварного з'єднання до утворення тріщин

Оцінимо зварюваність розрахунковим шляхом. Перевіримо схильність металу шва до утворення гарячих тріщин при найбільш несприятливих поєднаннях легуючих елементів та домішок [4].

$$HCS = \frac{C * (S + P + 0,004Si + 0,01Ni) * 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} =$$
$$= \frac{0,18 * (0,04 + 0,035 + 0,004 * 0,7 + 0,01 * 0,6) * 10^3}{3 * 0,4 + 0,6 + 0 + 0} = 8,38$$

Так як HCS=8,38 що більше чим 4, то метал схильний до утворення гарячих тріщин.

Перевіримо схильність основного металу до утворення холодних тріщин при найбільш несприятливому легуванні, тобто при максимальному вмісту легуючих елементів та домішок [4].

$$\text{Секв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} = 0,18 + \frac{0,7}{6} + \frac{0,9}{5} + \frac{0,6 + 0,4}{15} = 0,54$$

Таким чином, при вмісті в сталі 15ХСНД легуючих елементів та домішок по максимуму Секв = 0,54 тобто дещо вище допустимих значень (від 0,4 до 0,45), що свідчить про можливе утворення холодних тріщин. Але в реальних умовах таке поєднання елементів маловірогідне. Тим не менш в заводських умовах необхідно контролювати склад сталі по сертифікатах.

Ця сталь схильна до утворення гарячих тріщин, або схильна до відпускнуї крихкості другого роду. Крихкість другого роду найчастіше спостерігається в сталях, що містять підвищену кількість фосфору, марганцю, кремнію, хрому, або при одночасному введенні в сталь хрому і нікелю або марганцю. Вона виникає при повільному охолодженні після відпуску в інтервалі від 500 °С до 550 °С. Цей вид

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

крихкості можливо уникнути, якщо охолодження з температури відпустки проводять швидко, наприклад, у воді [2].

Запобігти виникненню гарячих тріщин можна також, попередньо підігрівши деталь перед процесом зварювання. Цей метод дозволяє зменшити швидкість охолодження металу безпосередньо в зоні шва. Як наслідок, знижуються внутрішні напруги, що значно зменшує ймовірність утворення тріщин. Стосовно низьколегованих сталей, важливо обрати оптимальну температуру підігріву. Ця температура визначається на основі вуглецевого еквівалента сталі. Розрахунок вуглецевого еквівалента виконується за формулою Сеферіана, враховуючи концентрацію основних легуючих елементів у сталі.

Формула для визначення вуглецевого еквіваленту, запропонована Д. Сеферіаном:

$$\begin{aligned} 360C_x &= 360C + 40(Mn + Cr) + 20Ni + 28Mo = \\ &= \frac{360 * 0,12 + 40(0,7 + 0,9) + 20 * 0,6}{360} = 0,331 \\ C_p &= 0,005 * S * C_x = 0,005 * 6 * 0,331 = 0,01 \end{aligned}$$

S – вибрав за саму товщу частину балки – 6 мм

$$C = C_x + C_p = 0,331 + 0,01 = 0,341$$

Температура підігрівання:

$$T = 350\sqrt{C - 0,25} = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$$

В цілому, низьколегована сталь, що містить невелику кількість домішок, демонструє добру зварюваність. Вона гарантує стабільність формування шва та не вимагає особливої підготовки або попереднього нагрівання.

						3С-11.03.00.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			15

1.4 Складальні одиниці балки підйомного механізму

Складальні одиниці готового виробу балки підйомного механізму:

1. Швелера (2 шт.), загальною масою 13,1 кг;
2. Верхній опорний лист (1 шт.), загальна маса 0,127 кг;
3. Нижній опорний лист (1 шт.), загальна маса 0,254 кг;
4. Втулка (2шт.), загальна маса 0,03 кг;

Декомпозицію на окремі вузли та під вузли не застосовуємо так як конструкція складається з 4 основних деталей, які з'єднуються та зварюються послідовно. Отже застосуємо послідовне складанням та зварюванням деталей.

Характеристику зварювального виробництва балки підйомного механізму можливо розділити на наступні підпункти:

- за технологічним процесом – конструкція виготовляється методом зварювання плавленням;
- за матеріалом – виробництво проводиться шляхом послідовного складання та зварювання конструкції, частини якої виготовленні з сталі 15ХСНД;
- технологія виготовлення балки відноситься до серійного виробництва.

1.5 Характеристика зварних з'єднань

У дипломному проекті наявні три зварювальні з'єднання: два стикові та одне таврове. Усі вони підпадають під вплив статичних навантажень, спричинених силою тяжіння, власною вагою балки та масою вантажу, який піднімає підйомний механізм. Особливу увагу потрібно зосередити на стикових з'єднаннях, оскільки вони відіграють ключову роль, гарантуючи жорсткість та цілісність конструкції, а також її спроможність витримувати тривалі навантаження без деформацій. Такі з'єднання доцільно кваліфікувати як критичні. За своєю формою стикові шви прямолінійні, що полегшує їх зварювання. Доступ до них відкритий з обох сторін, проте пріоритет надається зварюванню з зовнішнього боку балки, адже це

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

забезпечує комфортнішу позицію для зварювальника та покращує вентиляцію робочого простору, що критично для дотримання техніки безпеки та якості шва.

Не менш важливим є вибір оптимального режиму зварювання та суворе дотримання технологічної послідовності. Це дозволяє уникнути внутрішніх дефектів шва, зокрема, пори, підрізи чи непровари, що можуть суттєво вплинути на несучу здатність конструкції. Надійність з'єднань безпосередньо визначає загальну безпечність функціонування підйомного механізму.

Тавровий шов зазнаватиме динамічного навантаження. Доступ до нього обмежений з внутрішньої сторони полок швелера.

Відомість про зварні з'єднання наведені в табл. 1.4

Таблиця 1.4 – Конфігурація зварних швів.

№ з'єднання	Вид з'єднання	Товщина металу, мм	Протяжність шва, м	Кількість з'єднань	Конфігурація з'єднання	Доступність
1	Стикове	6	0,625	1	Прямолінійне	Необмежене
2	Стикове	6	0,575	1	Прямолінійне	Необмежене
3	Таврове	3...6	0,095	2	Кільцеве	Обмежене швелером.

Перший зварювальний шов аналогічний другому та відрізняється лише протяжністю шва. Тому подальші розрахунки виконую для них водночас. Також для них потрібно використовувати підкладку відповідних протяжності шва довжин, ширини в 35 мм, та висоти в 4 мм для жорсткості конструкції та уникнення проплаву.

короблення зварюваних елементів, що критично при зварюванні важливих конструкцій, таких як балки підйомного механізму.

Таким чином, для подальшого дослідження варто залишити найбільш ефективні методи зварювання, що відповідають властивостям сталі 15ХСНД і вимогам конструкції: ручне дугове зварювання (Е), зварювання в середовищі вуглекислого газу (УП), зварювання під флюсом (Ф), електрошлакове зварювання (Ш) та зварювання неплавким електродом в активних газах (АН). Ці методи гарантують необхідну якість шва, є технологічно обґрунтованими та доступними в умовах виробництва.

Оцінимо можливості їх застосування при зварюванні сталі товщиною 6 мм згідно з таблицею 1.6.

Таблиця 1.6 – Вибір методу зварювання за товщиною зварюваного металу

Кількість проходів	Діапазон товщин металу, зварюваного типовим методом зварювання, мм				
	Плавким електродом				Неплавким електродом
	Ручне дугове [Е]	В вуглекислому газі [УП]	Автоматичне під флюсом [Ф]	Електрошлакове [Ш]	
Один	1..4	0.8..8	2..20	16..500	2...3
Два	6	14	40	-	4..5
Багато	175	120	160	-	10

При такій товщині металу недоцільно використовувати низько ефективне зварювання неплавким електродом в активних газах (АН). Електрошлакове зварювання (Ш) недоцільно використовувати при малій товщині металу. З методів, які залишилися автоматичне під флюсом (Ф) – за один прохід, та в вуглекислому газі (УП) за один прохід, ручне дугове зварювання (Е) – за два прохода. Оцінка кількості проходів дає уявлення про продуктивність методів зварювання: чим менша кількість проходів, тим більша продуктивність.

Довжина з'єднань №1 – середня (0,625 м), для №2 – середня (0,575 м) тому ручне дугове зварювання (Е) зварювання не бажано використовувати для зварних

з'єднань №1, №2, тим паче на серійному виробництві. Для зварного з'єднання №3 протяжність шва якого складає 0,095 м, що відноситься за класифікацією довжин до коротких розміром швів (<300 мм. – для коротких), буде доречно застосувати напівавтоматичне зварювання, так як зважаючи на геометрію конструкції, застосування автоматизованого зварювання буде ускладнено.

З'єднання №1 та №2 пропонується зварювати в нижньому положенні. Їх можна виконати автоматизовано в вуглекислому газі (УП), та автоматизовано під флюсом (Ф).

З'єднання №3 пропонується зварювати в положенні РВ. Його можна виконати та механізовано в вуглекислому газі (УП), а також автоматично (УП та Ф).

В таблиці 1.7 наведені варіанти типових методів зварювання з вказанням їх пріоритетності.

Таблиця 1.7 – Типові методи з'єднання за номером з'єднання

Номер зварного з'єднання	Положення при зварюванні	Товщина, мм	Варіанти типових методів зварювання
1	РА	6	Автоматичне УП; Автоматичне Ф.
2	РА	6	Автоматичне УП; Автоматичне Ф.
3	РВ	3...6	Механізоване УП; Автоматичне Ф, УП.

1.7 Вибір зварювальних матеріалів

Оберемо зварювальні матеріали для зварювання під шаром флюсу 121 Ф.

Автоматичне зварювання під флюсом зварного з'єднання з листів товщиною 6 мм будемо виконувати за 1 проход. Враховуючи відповідальне призначення виробу, слід надати перевагу вибору флюсів з числа активних або малоактивних низькокремністих, марганцевих, які забезпечують більш високу пластичність та ударну в'язкість при низьких температурах.

Оберемо зварювальні матеріали для зварювання методом (135 УП) як для автоматичного так і напівавтоматичного методу зварювання Враховуючи відповідальне призначення виробу, необхідно вибрати зварювальний вуглекислий газ 1-го сорту, так як він має менший вміст вологи, чим харчова вуглекислота.

Потрібно прийняти до уваги що при зварюванні в CO₂ потрібно використовувати дріт з розкислювачами, так як кисень який буде виділятися в ході хімічних реакцій з металом буде негативно впливати на процес формування шва. Враховуючи раніше описане обираю дріт марки Св-08НГ2С.

1.8 Вибір швів для зварювання методом (121 Ф)

Отже, проаналізуємо зварні з'єднання №1-3 з використанням методу зварювання під шаром флюсу (121 Ф). З огляду на конструктивно-технологічний аналіз виробу визначено, що основним металом є низьколегована сталь 15ХСНД, товщиною від 3 мм до 6 мм. Цей матеріал демонструє відмінні зварювальні характеристики, що дозволяє ефективно використовувати автоматизовані способи зварювання. Зварювання передбачено для прямолінійних швів, які будуть виконуватися виключно у нижньому положенні, відповідно до ISO 6947 – РА. Саме зварювання у нижньому положенні є найзручнішим і технологічно стабільним.

З огляду на відносно невелику товщину металу та специфіку конструкції балки підйомного механізму, раціонально застосовувати односторонні шви. Це дозволяє зменшити об'єм зварювального металу, спростити процес і зменшити тепловий вплив на конструкцію. Окремо варто підкреслити, що підготовка кромки при зварюванні деталей такої товщини не потрібна. Завдяки обраному методу під флюсом (Ф), який характеризується високою потужністю, забезпечується глибоке проплавлення - до 20 мм, що є цілком достатнім для надійного з'єднання швелерів з уникненням такого явища при зварюванні як непроплав.

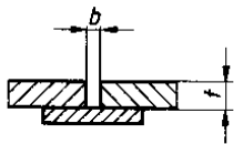

Виходячи з попереднього аналізу зварних швів, видно, що з'єднання №1 та №2 відрізняються лише протяжністю шва.

Розглядаємо вибір швів для стикових з'єднань №1 та № 2.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

За ДСТУ EN ISO 9692-2 для товщин від 3 мм до 6 мм знаходимо з числа односторонніх лише один метод з'єднання 1.2 для товщин менше 12 мм, наводжу в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Типи зварних з'єднань та підготовлення крайок [6]

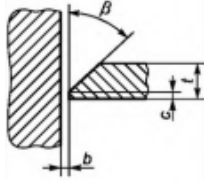
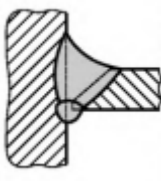
Тип з'єднання	Форма підготовки крайок	Підготовка крайки	Виконаний шов	Товщина з'єднання	Умовне позначення з'єднання
стикове	З скосом однієї крайки			$3 \leq t \leq 12$ мм	1.2

За цим самим ДСТУ значення зазору для цього з'єднання в $b \leq 0,5t$ мм, приймаємо зазор за 1 мм.

Для таврового з'єднання №3 знаходимо аналогічний шов з числа односторонніх.

За ДСТУ EN ISO 9692-2 для товщини за катетом – 3 мм знаходимо з числа односторонніх лише один метод з'єднання 2.4.9 для товщин менше 12 мм, наводжу в таблиці 1.11.

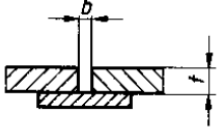

Таблиця 1.11 – Типи зварних з'єднань та підготовлення крайок [6]

Тип з'єднання	Форма підготовки крайок	Підготовка крайки	Виконаний шов	Товщина з'єднання	Умовне позначення з'єднання
Таврове	З скосом однієї крайки			$t \leq 12$ мм	2.4.9

За цим самим ДСТУ значення зазору для цього з'єднання від 0 мм до 4 мм, приймаємо за мінімальний зазор з дефектом топології за 0,2 мм.

Для стикових швів №1 та №2, за ДСТУ EN ISO 9692-2 в таблиці 1.12.

Таблиця 1.12 – Типи зварних з'єднань та підготовки крайок [6]

Тип з'єднання	Форма підготовки крайок	Підготовка крайки	Виконаний шов	Товщина з'єднання	Умовне позначення з'єднання
Стикове	З скосом однієї крайки			$3 \leq t \leq 12$ мм	1.2

1.9 Вибір швів для зварювання методом (135 УП)

Отже, проаналізуємо зварні з'єднання №1–3, виконані методом зварювання (135 УП та 121 Ф). В процесі конструктивно–технологічного дослідження виробу визначено, що головним матеріалом є низьколегована конструкційна сталь марки 15ХСНД, товщина якої змінюється в діапазоні від 3 мм до 6 мм. Ця сталь демонструє добру зварюваність, що сприяє ефективному застосуванню обраного методу за умов правильного налаштування режимів зварювання. Крім того, зазначена товщина металу дає змогу досягти необхідної міцності шва без потреби складної підготовки країв, що оптимізує виробничий процес.

Зварювання прямолінійних швів буде проводитись лише у нижньому положенні ISO 6947–РА. Зварювання в нижньому положенні є найбільш сприятливим, так як положення шва знаходиться у зручному для виконання зварювання положенні та є сприятливим для формування шва. Доцільно обрати шви з числа односторонніх, зважаючи на товщину металу та конструкцію балки підйомного механізму. Також слід зауважити, що розробка крайок при даній товщині металу не потрібна.

Розглядаємо вибір швів для стикових з'єднань №1 та № 2 в таблиці 1.13.

										Арк..
										24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>					

Таблиця 1.13 – Типи зварних з'єднань та підготовки крайок [7]





Номер з'єднання	Товщина матеріалу	Поперечний переріз	Зазор	Рекомендовані методи зварювання
Стикове	t- від 0,8мм до 6 мм		b- до 0,5t мм	3; 111; 13; 52.

Зазор між основним матеріалом приймаю за 1 мм.

За ДСТУ EN ISO 9692–1 для товщини 6 мм знаходимо 1 метод зварювання без скосу кромки і 1 з скосом однієї кромки. За характером ці методи поділяються на односторонні і двосторонні шви, а враховуючи послідовність монтажу та зварювання двосторонні шви нам не підходять. Також враховуючи довжину шва і затрати по часу на розробку кромки для 250 балок нам також не доцільно розробляти, як дві кромки, так і одну.

Залишаються односторонні: 4.1.3 – без скоса кромки і 1.9.1 – з скосом однієї кромки, наводимо їх в таблиці 1.14.

Таблиця 1.14 – Типи зварних з'єднань та підготовки крайок [6]

Тип з'єднання	Форма підготовки кромки	Підготовка кромки	Виконаний шов	Товщина з'єднання	Умове позначення з'єднання
Стикове	Без скоса кромки			≤8 мм	2.1
	З скосом однієї кромки			Від 0,5 мм до 40 мм	1.9.1

Варіант 4.1.3 виглядає економнішим, бо йому не потрібне зрізання одного краю, що значно зменшує витрати на підготовку з'єднання. Варіант 1.9.1 передбачає кут обробки країв 90°, що в умовах серійного виробництва і великої довжини швів тягне за собою значні витрати часу та ресурсів. Беручи до уваги

цехові умови, масштабність виготовлення та важливість спрощення підготовчих робіт, для способу зварювання УВ (у вуглекислому газі) оптимальним вибором є варіант 2.1.

Для таврового з'єднання №3 знаходимо аналогічний шов з числа односторонніх в ДСТУ EN ISO 9692-1, наводимо його в таблиці 1.15.

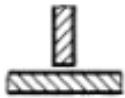



Таблиця 1.15 – Типи зварних з'єднань та підготовки крайок [6]

Номер з'єднання	Товщина матеріалу	Поперечний переріз	Зазор	Рекомендовані методи зварювання
Таврове	T - від 3 мм		b – до 2 мм	3; 111; 13; 141.

За ДСТУ EN ISO 9692-1 для товщини за катетом – 3 мм знаходимо 2 методи зварювання без скоса кромки, 2 з скосом однієї кромки і 1 з двома симетричними скосами кромки. За характером ці методи поділяються на односторонні і двосторонні шви, а враховуючи послідовність монтажу та зварювання двосторонні шви нам не підходять. До того ж, зважаючи на сумарну протяжність швів та масштаби серійного виробництва – тобто, виготовлення 250 балок для підйомного механізму – використання способів із підготовкою двох скосів кромки є економічно недоцільним. Така підготовка вимагає значних витрат часу та ресурсів на механічну обробку, що негативно позначиться на загальній продуктивності та рентабельності процесу. У зв'язку з цим, оптимальним варіантом буде застосування односторонніх швів без скосу або з скосом лише однієї кромки, що забезпечує технологічну простоту та оптимальний баланс між якістю і витратами.

Остаються односторонні: 4.1.3 – без скоса кромки і 1.9.1 – з скосом однієї кромки, наводимо їх в таблиці 1.16.

Таблиця 1.16 – Типи зварних з'єднань та підготовки крайок [6]

Тип з'єднання	Форма підготовки крайок	Підготовка крайки	Виконаний шов	Товщина з'єднання	Умовне позначення з'єднання
Таврове	Без скоса крайок			Від 0,8 до 40 мм	4.1.3
	З скосом однієї крайки			Від 3 до 60 мм	1.9.1

Варіант 4.1.3 потребує менше затрат на розробку крайок (без скосу однієї крайки). В 1.9.1 кут розробки крайок становить 40°. Враховуючи цехові умови, серійне виробництво, та довжину шва в 0,095 метрів створення скосу однієї крайки не буде створювати великі затрати, як і потребувати велику кількість часу.

Для УП обираю 4.1.3.

1.10 Розрахунок режимів зварювання методом (121 Ф)

1.10.1 Розрахунок режиму зварювання стикових швів під шаром флюсу за площею наплавленого матеріалу

Основний матеріал – сталь 15ХСНД товщиною в 6 мм. Автоматичне зварювання відбувається дротом Св-08НГ2С в нижньому положенні, раніше був вибраний тип з'єднання без скоса крайок 1.2, саме з'єднання стикове.

Площа наплавленого металу:

$$F = S * \left(b + \frac{S}{2} \right) = 6 * \left(1 + \frac{6}{2} \right) = 24 \text{ мм}^2.$$

Діаметр електродного дроту:

$$d = Kd * F = 0,04 \dots 0,173 * 24 = 0,96 \dots 4,15 \text{ мм.}$$

									Арк..
									27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗС-11.03.00.000 ПЗ				

Приймаю діаметр дроту за 3 мм.

Швидкість зварювання:

$$V_{+} = 100 * \frac{d}{F} = 100 * \frac{3}{24} = 12,5 \text{ мм} * \text{с}^{-1}.$$

Перевіряю чи підходить швидкість зварювання під діапазон швидкостей для автоматичного зварювання під флюсом від 4 мм*с⁻¹ до 16 мм*с⁻¹.

Швидкість подачі дроту:

$$V_p = \frac{4 * V * F}{3,14 * d^2} = \frac{3 * 12,5 * 24}{3,14 * 3^2} = 31,84 \text{ мм} * \text{с}^{-1}$$

Зварювальний струм:

$$I_{+} = d * \sqrt{(1450 * d * V_p + 145150) - 382} = \\ = 3 * \sqrt{(1450 * 3 * 31,84 + 145150) - 382} = 451,77 \text{ A}$$

Розрахунковий струм не має виходити за грані допусків:

$$190 * d = 570 \text{ A}$$

Напруга:

$$U = 22 * 0,02 * I = 22 + 0,02 * 451,77 = 31,03 \text{ B}$$

Виліт електродного дроту:

$$l = 10 * d \pm 2d = 10 * 3 \pm 2 * 3 = 30 \text{ мм} \pm 6 \text{ мм}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

1.10.2 Розрахунок режиму зварювання кільцевого шва під шаром флюсу за площею наплавленого матеріалу

Товщина основного матеріалу 3 мм.

Катет шва 3 мм.

Шов однопрохідний, 2.4.9.

Площа наплавленого металу:

$$F = 0,7 \sqrt{2 * k * g + \frac{1}{2K^2}} = 0,7 \sqrt{2 * 3 * 1 + 0,5 * 3^2} = 13,5 \text{ мм}^2$$

Діаметр електродного дроту:

$$d = K * F = 0,24 \dots 0,373 * 13,5^{0,625} = 0,2 \text{ мм} \dots 1,9 \text{ мм}$$

Приймаю діаметр дроту за 1,8 мм.

Швидкість зварювання:

$$V = 100 * \frac{d}{F} = 100 * \frac{1,8}{13,5} = 13,33 \text{ мм} * \text{с}^{-1}$$

Перевіряю чи підходить швидкість зварювання під діапазон швидкостей для автоматичного зварювання під флюсом від 4 мм*с⁻¹ до 16 мм*с⁻¹. Значення знаходиться в діапазоні.

Швидкість подачі дроту:

$$V_p = \frac{4 * V * F}{3,14 * d^2} = \frac{4 * 13,33 * 13,5}{3,14 * 1,8^2} = 13,32 \text{ мм} * \text{с}^{-1}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Зварювальний струм:

$$I = d * (\sqrt{1450 * d * Vp + 145150} - 382) =$$
$$= 1,8 * (\sqrt{1450 * 1,8 * 13,32 + 145150} - 382) = 762,68 \text{ A}$$

Розрахунковий струм не має виходити за грані допусків:

$$190 * d = 780 \text{ A}$$

Напруга:

$$U = 22 * 0,02 * I = 22 + 0,02 * 762,68 = 37,25 \text{ В}$$

Виліт електродного дроту:

$$l = 10 * d \pm 2d = 10 * 4 \pm 2 * 4 = 40 \text{ мм} \pm 8 \text{ мм}$$

1.11 Розрахунок режимів зварювання методом (135 УП)

1.11.1 Розрахунок режиму зварювання прямолінійних швів в CO₂ по площі наплавленого матеріалу

Основний матеріал – сталь 15ХСНД товщиною в 6 мм. Автоматичне зварювання відбувається дротом Св-08НГ2С в нижньому положенні, раніше був вибраний тип з'єднання без скоса кромки – 2.1, саме з'єднання стикове.

Зварний флюс – АН-60.

Зварний дріт – Св-08НГ2С.

Площа наплавленого металу:

$$S = 6 \text{ мм}; b = 1 \text{ мм}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа наплавленого металу на поверхню основного матеріалу:

$$F = S * (b + \frac{S}{2}) = 6 * (1 + \frac{6}{2}) = 24 \text{ мм}^2$$

Розраховую діаметр дроту:

$$K = 0,149 \dots 0,409$$

$$d = K * F = 0,149 \dots 0,409 * 38,35^{0,625} = 0,9 \text{ мм} \dots 2,48 \text{ мм}$$

Обираю товщину дроту в 1,6 мм. Площа наплавленого матеріалу буде регулюватися за допомогою швидкості зварювання.

Швидкість зварювання в «човник»:

$$V = \frac{15,9 * d^2 + 67,4 * d^{1,5}}{F} = \frac{15,9 * 1,62 + 67,4 * 1,6^{1,5}}{24} = 7,37 \text{ мм} * \text{с}^{-1}$$

Проведено контроль відповідності заданої швидкості зварювання рекомендованому інтервалу для автоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу, що становить 4 мм*с⁻¹ до 20 мм*с⁻¹. Встановлене значення вкладається в дозволений діапазон, відповідно, швидкість зварювання може вважатися відповідною для цього процесу.

Швидкість подачі дроту:

$$Vd = \frac{4 * V * F}{3,14 * d^2 * 0,9} = \frac{4 * 7,37 * 24}{3,14 * 1,62 * 0,9} = 97,79 \text{ мм} * \text{с}^{-1}$$

Розраховую зварний струм:

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$I = d * \sqrt{(1450 * d * Vd + 145150)} - 382 =$$

$$= 1,6 * \sqrt{(1450 * 1,6 * 97,79 + 145150)} - 382 = 364,69 \text{ A}$$

Розрахунковий струм не має виходити за грані допусків:

$$185 * d^{1,5} = 374,4 \text{ A}$$

Розраховую напругу при зварюванні:

$$U = 14 + 0,05 * I = 14 + 0,05 * 364,69 = 32,24 \text{ В}$$

Визначаю витрати вуглекислого газу:

$$q = 3,3 * 10^{-3} * I^{0,75} = 3,3 * 10^{-3} * 364,69^{0,75} = 0,28 \text{ л * с}^{-1} = 16,8 \text{ л * хв}^{-1}$$

1.11.2 Розрахунок режиму зварювання кільцевих швів в CO₂ по площі наплавленого матеріалу

Основний матеріал – сталь 15ХСНД товщиною в 3 мм. Автоматичне зварювання відбувається дротом Св-08НГ2С в нижньому положенні, раніше був вибраний тип з'єднання без скоса кромки 4.1.3, саме з'єднання таврове.

Таврове з'єднання, 4.1.3:

S=3 мм; b=0,2 мм; g=1 мм; k=3 мм.

Площа наплавленого металу на поверхню основного матеріалу:

$$F = 0,7\sqrt{2 * k * g + 0,5 * K^2} = 0,7\sqrt{2 * 3 * 1 + 0,5 * 3^2} = 13,5 \text{ мм}^2$$

Розраховую діаметр дроту:

					ЗС-11.03.00.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$K = \text{від } 0,149 \text{ до } 0,409$

$$d = K * F = 0,149 \dots 0,409 * 13,5^{0,625} = 0,75 \dots 1,98 \text{ мм}$$

Обираю товщину дроту в 1,6 мм. Площа шару, що утворився внаслідок наплавлення металу, коригуватиметься через зміни швидкості зварювання. Якщо швидкість збільшується, об'єм наплавленого металу стає меншим і навпаки.

Швидкість зварювання в «човник»:

$$V = \frac{15,9 * d^2 + 67,4 * d^{1,5}}{F} = \frac{15,9 * 1,6^2 + 67,4 * 1,6^{1,5}}{13,5} = 13,12 \text{ мм} * \text{с}^{-1}$$

Перевіряю чи підходить швидкість зварювання під діапазон швидкостей для автоматичного зварювання в вуглекислому газі від $4 \text{ мм} * \text{с}^{-1}$ до $20 \text{ мм} * \text{с}^{-1}$.

Швидкість подачі дроту:

$$Vd = \frac{4 * V * F}{3,14 * d^2 * 0,9} = \frac{4 * 13,12 * 13,5}{3,14 * 1,6^2 * 0,9} = 97,92 \text{ мм} * \text{с}^{-1}.$$

Розраховую зварний струм:

$$I = d * (\sqrt{1450 * d * Vd + 145150} - 382) = \\ = 1,6 * (\sqrt{1450 * 1,6 * 97,92 + 145150} - 382) = 365,57 \text{ А}$$

Розрахунковий струм не має виходити за грані допусків:

$$185 * d^{1,5} = 374,4 \text{ А}$$

Розраховую напругу при зварюванні:

$$U = 14 + 0,05 * I = 14 + 0,05 * 365,57 = 32,27 \text{ В}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Визначаю витрати вуглекислого газу:

$$q = 3,3 * 10^{-3} * I^{0,75} = 3,3 * 10^{-3} * 365,57^{0,75} = 0,275 \text{ л} * \text{с}^{-1} = 16,5 \text{ л} * \text{хв}^{-1}$$

1.12 Опис технологічного процесу виготовлення балки підйомного механізму

1.12.1 Загальний опис виготовлення

Загалом технічний процес виготовлення балки підйомного механізму може бути сформованим у вигляді 15 етапів. А саме: проектування, закупівля матеріалів, різання втулок та швелерів з підкладками на заготовки, свердління, обробка матеріалів, складання, зварювання кільцевого шва, обробка поверхні, контроль якості, складання зварювання, обробка поверхні, контроль якості, різання заготовки на окремі деталі, шліфування.

Першим етапом у виготовленні балки підйомного механізму є створення її проекту, відповідно до технічного завдання, наданого замовником.

Далі здійснюється закупівля всіх необхідних матеріалів: швелерів, листового прокату, круглих труб та допоміжних елементів, що використовуватимуться у процесі виробництва конструкції. Матеріали повинні мати сертифікати, що підтверджують їхню відповідність стандартам якості, а також бути підготовленими до подальшої обробки.

На етапі підготовки заготовок труби розрізаються на втулки необхідної довжини (наприклад, по 8 мм), а швелери та листи – на заготовки довжиною 4050 мм згідно з кресленнями. У кожному швелері просвердлюються по шість отворів діаметром 22 мм з певним міжосьовим кроком, що забезпечує правильне позиціонування втулок.

Складання конструкції відбувається на зварювальному столі: балку фіксують притискачами, щоб уникнути зміщень, втулки точно центрують з отворами в швелерах та з'єднують за допомогою циліндричних пальців, після чого

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

струбцинами закріплюють. Після точного позиціонування здійснюється зварювання таврових кільцевих швів методом 135 УП.

Фінальне складання відбувається у двостійковому горизонтальному кантувачі. І виконують зварювання двох прямолінійних швів. Для зручності та забезпечення симетрії зварювання балку повертають на 180°, після чого зварюють інший бік шва.

На завершальному етапі виконується механічна обробка швів (шліфування), повторний контроль якості зварних з'єднань, після чого конструкцію розрізають на окремі деталі.

Описуємо маршрутно-технологічній блок схемі операцій складання та зварювання балки (рис. 1.2).

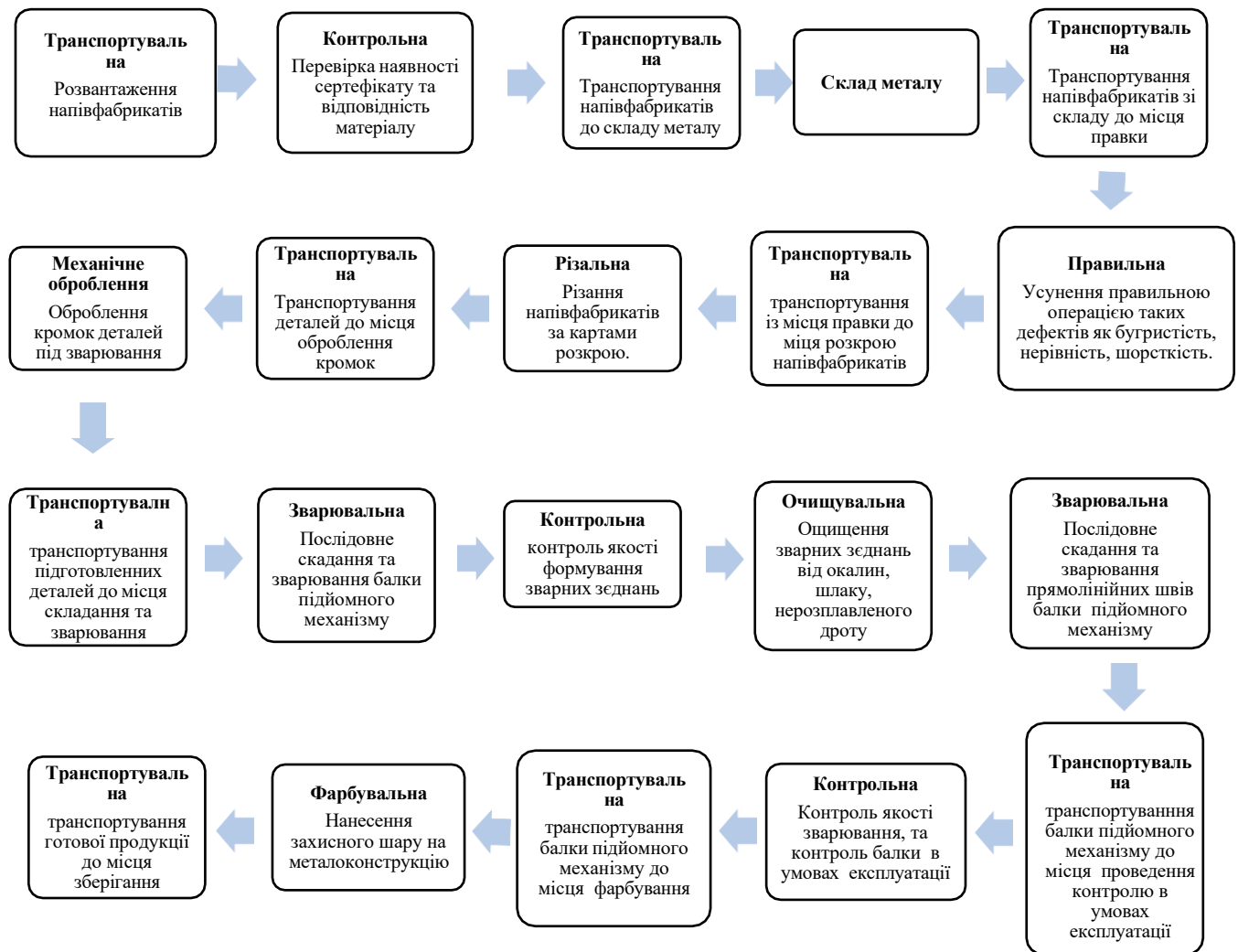


Рисунок 1.2 – Технологічна блок схема операцій виготовлення балки підйомного механізму

1.12.2 Вибір конструктивних матеріалів

Для виготовлення балки підйомного механізму на складі металу підприємства повинні зберігатися наступні напівфабрикати в такій кількості:

- швелера сумарною довжиною від 168750 мм (мінімальна довжина одного швелера – 4050 мм), параметрами – висота 120 мм, ширина 50 мм, товщина стінок 6 мм. Який постачається довжиною в 8200 мм від виробника MINVEST;
- підкладки для зварювання довжиною 168,75 м (мінімальна довжина однієї підкладки – 4050 мм), параметрами – ширина 35мм, товщина 4 мм. Який постачається довжиною в 4400 мм від виробника MINVEST;
- для виготовлення втулки – сталева трубка довжиною 4 м, з зовнішнім діаметром 28 мм, та внутрішнім 22мм;
- циліндричні пальці – 250 шт. з зовнішнім діаметром в 22 мм, та довжиною від 120 мм;
- розпірки підкладок – 250 шт. з зовнішнім діаметром в 20 мм, та довжиною в 100 мм.

1.12.3 Призначення засобів обробки, виготовлення деталей та прийняття параметрів режимів обробки заготовок

Отже для забезпечення між операційної транспортної операції, необхідно обрати такий вид транспортування, який забезпечить підйом та транспортування вантажу, масою всіх елементів понад 1 т., надійність фіксації напівфабрикатів та цілісність в ході транспортування. Для транспортних операцій обрано навантажувач типу 02–8FDF30 [10]; балка підйомного механізму з строповими ланцюгами марки 4СЛ G80 2,36 т. [11] та магнітним захоплювачем листового металу марки ТМ ABLE вантажопідємністю 2 т. [12]. Технічні характеристики навантажувача типу 02–8FDF30 наведені в таблиці 1.17.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 1.17 – Технічні характеристики вилкового навантажувача типу 02–8FDF30

Модель	Потужність двигун, кВт	Висота підйому (м)	Вантажопідйомність, кг	Вага, кг
02–8FDF30	41	3.3	3000	4620

В якості розділювального різання обрано метод плазмового різання на верстаті за типом управління (ЧПУ) марки MARLIN TYPHOON (рис. 1.3) [13]. Технологічні характеристики якого наведені в таблиці 1.18 та з наступними параметрами металообробки які наведені в таблиці 1.19.

Таблиця 1.18 – Характеристика плазморіза марки MARLIN TYPHOON [14]

Країна виробник	Чехія+Україна
Приводи по осях	Крокові, сервоприводи
Довжина оброблювального листа	12000 мм.
Ширина оброблювального листа	2000 мм.
Товщина оброблювального листа	До 50 мм.
Швидкість переміщень	До 10000 мм*хв ⁻¹



Рисунок 1.3 – Плазморіз марки MARLIN TYPHOON

Таблиця 1.19 – Технологічні параметри плазмового різання на верстаті за типом управління (ЧПУ) марки MARLIN TYPHOON

Сила струму	200 А
Швидкість різання в залежності від товщини (10 мм)	0,06 м*с ⁻¹
Швидкість різання в залежності від товщини (15 мм)	0,03 м*с ⁻¹

Для забезпечення складання та зварювання, попередньо обрані підйомно-поворотні зварювальні пристрої (зварювальні столи) [15], та обраний двохстійковий горизонтальний кантувач марки КПЦ-4000 (рис. 1.4) [16]. Технологічні характеристики якого наведені в таблиці 1.20.



Рисунок 1.4 – Двохстійковий горизонтальний кантувач марки КПЦ-4000

Таблиця 1.20 – Технологічні характеристики двохстійкового горизонтального кантувача марки КПЦ-4000

Макс. Вантажопідйомність, кг	Робочий вертикальний хід, мм	Висота осі обертання, мм	Швидкість підйому, м*хв ⁻¹	Швидкість обертання, м*хв ⁻¹	Маса, кг
4000	1000	750-1750	1,6	2	3450

Для забезпечення контролю якості формування шва, та забезпечення перевірки на наявність пор, тріщин (холодних, гарячих), подрізів, шлакових включень, невідповідність шва заданим геометричним розмірам, напливи, незаплавлені кратери, бугристість, пропалам, які в свою чергу знижують міцність та несучі властивості конструкції, обрано для внутрішнього контролю якості формування шва ультразвуковий дефектоскоп УД3701 (рис. 1.5) [17].



Рисунок 1.5 – Ультразвуковой дефектоскоп УД3701

Для зовнішнього контролю використано наступні інструменти: штангель циркуль, шаблон зварювальника УШС–2 (рис. 1.6) [18].



Рисунок 1.6 – Шаблон зварювальника УШС–2

Для забезпечення операції очищення обрано професійну щіткову машину TITAN PSM13120 (рис. 1.7) [19].

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

проводять контроль якості формування шва на наявність пор, тріщин (холодних, гарячих), підрізів, шлакових включень, невідповідність шва заданим геометричним розмірам, напливи, незаплавлені кратери, бугристість, пропали. Перераховані дефекти знижують міцність та несучі властивості конструкції.

Фінальне складання конструкції відбувається в двохстійковому горизонтальному кантувачеві на який кріплять швелер та затиснути його по зовнішнім торцям швелера. Покласти підкладки для зварювання, центрувати їх в доль шва та тимчасово зафіксувати струбцинами з двох сторін. Для усунення прогину підкладки між підкладками встановити циліндричні розпірки, з кроком 1350 мм, в зовнішні частини балки додатково встановити розпірки. Встановити внутрішні рейку з внутрішніх торців швелера, аналогічно з витримуванням зазору шва в 1 мм встановити інші 2 внутрішні рейки. На ці внутрішні рейки поставити другий швелер та зафіксувати його зовнішніми рейками. Зняти струбцини з підкладок та швелерів.

Провести зварювання першого прямолінійного шва. Після повернути ось кантувача на 180° і провести зварювання другого прямолінійного шва.

Наступні 2 етапи відповідні до попередніх етапів обробки та проведення контролю якості.

Після чого даний конструктив розрізають на готові деталі, також проводячи фінальні шліфування, фарбування. Наносять необхідне маркування, сертифікують та відправляють на склад готової продукції.

1.13 Обґрунтування необхідності розробки технологічної оснастки

Виготовлення балки підйомного механізму – ключовий етап у створенні вантажопідйомного обладнання, що широко застосовується в промисловості, будівництві, логістиці та на підприємствах машинобудування. Балка виступає несучим елементом, який відповідає за переміщення вантажів на певній висоті, сприяючи зменшенню фізичного навантаження на робітників та оптимізації роботи з великогабаритними деталями чи готовою продукцією.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						41
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

У сучасному виробництві розробка та виготовлення балки підйомного механізму потребує не лише міцності та надійності конструкції, але й дотримання найвищих стандартів точності. Тому технологічне оснащення для виробництва таких балок відіграє надзвичайно важливу роль.

По–перше, воно забезпечує високу якість готового виробу. Завдяки точному позиціонуванню заготовок, фіксації під час зварювальних та обробних операцій, технологічне оснащення дозволяє уникнути деформацій, перекосів та зменшити ймовірність появи дефектів у виробі.

По–друге, зростає продуктивність виробництва. Використання спеціалізованих пристроїв дозволяє автоматизувати окремі етапи процесу – зокрема, збирання, вирівнювання, закріплення та транспортування балки в межах цеху. Це значно скорочує час та дозволяє виконувати більший обсяг робіт у стислі терміни.

По–третє, розробка спеціалізованого технологічного оснащення сприяє розумному використанню ресурсів та підвищенню загальної продуктивності виробничого процесу. Завдяки точно спроектованим шаблонам, кондукторам, фіксаторам та пристроям, досягається висока точність при складанні виробу, особливо щодо дотримання відстаней, розташування отворів, симетрії та паралельності ключових елементів. Це дає змогу скоротити обсяг бракованої продукції, мінімізувати відходи та уникнути надмірного використання дорогих матеріалів.

Належне формування зварних швів, особливо в умовах серійного виробництва, також безпосередньо залежить від використання технологічного оснащення. Фіксуючі елементи та направляючі забезпечують стабільність геометрії з'єднань, точність позиціонування втулок, пальців, швелерів, а також гарантують однакове середовище для зварювання, що поліпшує якість швів та знижує кількість дефектів.

Окрім технологічних переваг, оснащення відіграє важливу роль у гарантуванні безпеки праці. Автоматизація окремих операцій, використання надійних фіксаторів, опорних платформ і кантувачів зменшує фізичне

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

навантаження на робітників, а також мінімізує ризики отримання травм під час підйомно–транспортних, зварювальних та монтажних робіт. Зменшення частки ручної праці у важкодоступних місцях значно покращує ергономічність робочого місця.

Відтак, процес виготовлення балки підйомного механізму потребує комплексного підходу до проектування та впровадження технологічного оснащення. Це дає змогу досягти не тільки високої надійності готового виробу, але й забезпечити стабільну якість при серійному виробництві, зменшити витрати на матеріали та працю, а також гарантувати високий рівень безпеки персоналу. Технологічна підготовка виробництва виступає основоположним етапом усього виробничого процесу, що безпосередньо впливає на кінцевий успіх реалізації проекту.

1.14 Оцінка економічної ефективності варіантів технології

1.14.1 Оцінка економічної ефективності технології зварювання прямолінійних швів №1 та №2

Для швів обчислення економічної ефективності зварювання рекомендується здійснювати одночасно. А саме визначення витрат на одиницю довжини шва, а саме на один погонний метр.

Розраховую собівартість одного метра шва для зварювання в CO₂:

$$tz = L * \frac{1}{V} = 1 * \frac{1}{26,53} = 0,038 \text{ г} = 136 \text{ с}$$

0,038 години потрібно витратити для зварювання одного метру шва.

Витрати на зварювальний дріт:

$$M_1 = Kp * (1 + \Psi) * p * \frac{n}{4} * d * Vd * t_1$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

де $K_p = 1,02$ – коефіцієнт витрати проволочки;

$\Psi = 0,1$ – коефіцієнт витрат на розбризкування;

$\rho = 0,0078 \text{ г} \cdot \text{мм}^{-3}$ – густина дроту.

$$M = 1,02 * (1 + 0,1) * 0,0078 * \frac{3,14}{4} * 1,6 * (97,79 * 136) = 146,2 \text{ г} = 0,1462 \text{ кг}$$

Середня ціна проволочки Св-08НГ2С діаметром 1,6 мм – 100 грн*кг⁻¹.

Значить витрати на дріт при зварюванні одного метру шва:

$$З_d = 100 * 0,1462 = 14,62 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Витрати на захисний газ:

$$Q = q * t_2 = 0,27 * 136 = 36,72 \text{ л.}$$

Один газовий балон, що коштує 500 грн, вміщує 40 літрів скрапленого газу. В процесі переходу в газоподібний стан, газ розширюється до об'єму приблизно 25000 літрів. Цей об'єм у газоподібному вигляді і застосовується під час зварювання.

В середньому ціна одного літра CO₂ в газоподібному стані – 0,02 грн*л⁻¹

Загальна ціна захисного газу:

$$З_g = 36,72 * 0,02 = 0,73 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Розрахунок витрат і затрат на технологічну електроенергію:

$$W = \frac{U * I * t_1}{K + P * x(T - tz)}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де U – напруга;

I – струм;

$K = 0,5$ – ккд джерела живлення;

P_x – потужність холостого ходу джерела живлення.

Час роботи джерела живлення:

$$T = \frac{tz}{K_u} = \frac{136}{0,35} = 388,57 \text{ с}$$

де $K_u = 0,35$ – коефіцієнт використання обладнання.

$$W = \frac{364,69 * 32,24 * 136}{0,5 + 425 * (388,57 - 136)} = 3305410,98 \text{ Дж} = 0,92 \text{ кВт} * \text{г}$$

Ціна 1 кВт електроенергії – 2,64 грн.

$$Z_e = 2,64 * 0,92 = 2,43 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Витрати на зварювальне обладнання

Витрати на зварювальне обладнання включає в себе окрім очевидної ціни на нього ще й витрати на його ремонт і амортизаційні відрахування.

$$Z_o = \frac{K_p + N_a}{\Phi} * \frac{tz}{K_u} * C_o$$

де $K_p = 0,175$ – коефіцієнт витрат на ремонт обладнання;

$N_a = 0,29$ – коефіцієнт амортизаційних відрахувань;

$\Phi = 1820$ годин – дійсний річний фонд роботи обладнання;

C_o – ціна обладнання.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_0 = \frac{Kp + Ha}{\Phi} * \frac{tz}{Ku} * Ц_0 = \frac{0,175 + 0,29}{1820} * \frac{0,151}{0,35} * 190000 = 20,94 \text{ грн} * \text{м}^{-1}.$$

Витрати на зарплату працівників:

$$Z_{\text{п}} = \frac{Kg * tz}{Ku * Чс}$$

де $Kg = 1,2$ – коефіцієнт доплат працівнику;

$Чс = 187,5$ грн, при заробітній платі в тридцять тисяч грн і восьмигодинним робочим графіком 5/2 – погодинна тарифна ставка працівника.

$$Z_{\text{п}} = \frac{Kg * tz}{Ku * Чс} = 1,2 * \frac{0,038}{0,35} * 187,5 = 24,42 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Ціна виготовлення 1 метра зварного шва:

$$Z_{\text{д}} + Z_{\text{г}} + Z_{\text{е}} + Z_0 + Z_{\text{п}} = 14,62 + 0,73 + 2,43 + 20,94 + 24,42 = 63,14 \text{ грн}$$

63,14 – гривень потрібно для того щоб зварити в захисному газі 1 метр шва.

Розраховую собівартість одного метра шва для автоматичного зварювання під шаром флюсу:

$$tz = L * \frac{n}{V} = 1 * \frac{1}{45} = 0,022 \text{ г} = 79,2 \text{ с}$$

0,022 години потрібно витратити для зварювання одного метру шва.

Витрати на зварювальний дріт:

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$M = Kp * (1 + \Psi) * p * \frac{n}{4} * d * V * t =$$

$$= 1,02 * (1 + 0,1) * 0,0078 * \frac{3,14}{4} * 3 * 31,84 * 79,2 = 51,97 \text{ г} =$$

$$= 0,052 \text{ кг}$$

Середня ціна проволоки Св-10НМА діаметром 3 мм – 120 грн*кг⁻¹. Значить витрати на дріт при зварюванні одного метру шва:

$$Зд = 120 * 0,052 = 6,24 \text{ грн} * \text{м}^{-1}.$$

Витрати на флюс:

$$Mf = 1,1 * M = 1,1 * 0,052 = 0,0572 \text{ кг}$$

Ціна 1 кг флюсу марки АН-60 = 28 грн.

Загальна ціна флюсу:

$$Зф = 0,0572 * 28 = 1,6 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Розрахунок витрат і затрат на технологічну електроенергію

Ціна 1 кВт електроенергії – 2,64 грн. Час роботи джерела живлення:

$$T = \frac{tz}{Ku} = \frac{79,2}{0,3} = 264 \text{ с}$$

$$W = \frac{U * I * t1}{K} + Px(T - tz) = \frac{451,77 * 31,03 * 79,2}{0,5} + 420 * (264 - 79,2) =$$

$$= 2298134,22 \text{ Дж} = 0,63 \text{ кВт} * \text{г}$$

$$Зе = 2,64 * 0,63 = 1,66 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Витрати на зварювальне обладнання

Витрати на зварювальне обладнання включає в себе окрім очевидної ціни на нього ще й витрати на його ремонт і амортизаційні відрахування.

$$Z_0 = \frac{Kp + Ha}{\Phi} * \frac{tz}{Ku} * Ц_0 = \frac{0,18 + 0,3}{1820} * \frac{0,026}{0,3} * 273000 = 6,24 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Витрати на зарплату працівників:

$$Z_p = Kg * \frac{tz}{Ku} * Чс = 1,2 * \frac{0,022}{0,35} * 187,5 = 14,14 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Ціна виготовлення зварного шва:

$$Z_d + Z_\phi + Z_e + Z_0 + Z_p = 6,24 + 1,6 + 1,66 + 6,24 + 14,14 = 29,88$$

29,88 – гривень потрібно для того щоб зварити під флюсом 1 метр шва.

Отже дешевша собівартість виготовлення одного метра зварного шва в зварюванні під флюсом.

1.14.2 Оцінка економічної ефективності технології зварювання кільцевого шва №3

Розраховую собівартість одного метра шва для зварювання в CO_2 :

$$tz = L * \frac{1}{V} = 1 * \frac{1}{13,12} = 0,076 \text{ г} = 273 \text{ с}$$

Витрати на зварювальний дріт:

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$M1 = Kp * (1 + \Psi) * p * \frac{n}{4} * d * Vd * tz$$

$$M = 1,02 * (1 + 0,1) * 0,0078 * \frac{3,14}{4} * 1,6 * (97,92 * 273) = 293,8 \text{ г} = 0,2938 \text{ кг}$$

Середня ціна проволочи Св-08НГ2С діаметром 1,6 мм – 100 грн*кг⁻¹. Значить витрати на дріт при зварюванні одного метру шва:

$$Зд = 100 * 0,2938 = 29,38 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Витрати на захисний газ:

$$Q = q * t_2 = 0,275 * 273 = 75,07 \text{ л}$$

В середньому ціна одного літра CO₂ – 0,02 грн*л⁻¹

Загальна ціна захисного газу:

$$Зг = 75,07 * 0,02 = 1,5 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Розрахунок витрат і затрат на технологічну електроенергію:

$$W = \frac{U * I * tz}{K + Px(T - tz)}$$

Час роботи джерела живлення:

$$T = \frac{tz}{Ku} = \frac{273}{0,35} = 780 \text{ с}$$

$$W = \frac{365,57 * 32,27 * 273}{0,5 + 425 * (780 - 273)} = 6656606,36 \text{ Дж} = 1,85 \text{ кВт} * \text{г.}$$

					ЗС-11.03.00.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Ціна 1 кВт електроенергії – 2,64 грн.

$$3e = 2,64 * 1,85 = 4,88 \text{ грн} * \text{м}^{-1}.$$

Витрати на зварювальне обладнання:

$$3o = \frac{Kp + Ha}{\Phi} * \frac{tz}{Ku} * Цo$$
$$3o = \frac{Kp + Ha}{\Phi} * \frac{tz}{Ku} * Цo = \frac{0,175 + 0,29}{1820} * \frac{0,076}{0,35} * 190000 = 10,54 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Витрати на зарплату працівників:

$$3п = \frac{Kg * tz}{Ku * Чс}$$
$$3п = \frac{Kg * tz}{Ku * Чс} = 1,2 * \frac{0,076}{0,35} * 187,5 = 48,86 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Ціна виготовлення 1 метра зварного шва:

$$Зд + Зг + Зе + Зо + Зп = 29,38 + 1,85 + 4,88 + 10,54 + 48,86 = 95,51 \text{ грн}$$

95,51 – гривень потрібно для того щоб зварити в захисному газі 1 метр шва.

Розраховую собівартість одного метра шва для зварювання під флюсом:

$$tz = L * \frac{n}{V} = 1 * \frac{1}{13,33} = 0,075 \text{ г} = 270 \text{ с}$$

0,022 години потрібно витратити для зварювання одного метру шва.

Витрати на зварювальний дріт:

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$M = Kp * (1 + \Psi) * p * \frac{n}{4} * d * V * t =$$

$$= 1,02 * (1 + 0,1) * 0,0078 * \frac{3,14}{4} * 3 * 13,33 * 270 = 74,17 \text{ г} = 0,074 \text{ кг}$$

Середня ціна проволочи Св-10НМА діаметром 1,8 мм – 110 грн*кг⁻¹. Значить витрати на дріт при зварюванні одного метру шва:

$$Зд = 110 * 0,074 = 8,14 \text{ грн} * \text{м}^{-1}.$$

Витрати на флюс:

$$Mf = 1,1 * M = 1,1 * 0,074 = 0,0814 \text{ кг}$$

Ціна 1 кг флюсу марки АН-60 = 28 грн.

Загальна ціна флюсу:

$$Зф = 0,0814 * 28 = 2,28 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Розрахунок витрат і затрат на технологічну електроенергію:

Час роботи джерела живлення:

$$T = \frac{tz}{Ku} = \frac{270}{0,3} = 900 \text{ с}$$

$$W = \frac{U * I * t1}{K} + Px(T - tz) =$$

$$= \frac{762,68 * 37,25 * 270}{0,5} + 420 * (900 - 270) = 15605908,2 \text{ Дж} = 4,33 \text{ кВт} * \text{г}$$

$$Зе = 2,64 * 4,33 = 11,43 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Витрати на зварювальне обладнання:

$$Z_o = \frac{Kp + Ha}{\Phi} * \frac{tz}{Ku} * Ц_o = \frac{0,18 + 0,3}{1820} * \frac{0,075}{0,3} * 273000 = 18 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Витрати на зарплату працівників:

$$Z_p = Kg * \frac{tz}{Ku} * Чс = 1,2 * \frac{0,075}{0,35} * 187,5 = 48,21 \text{ грн} * \text{м}^{-1}$$

Ціна виготовлення зварного шва:

$$Z_d + Z_f + Z_e + Z_o + Z_p = 8,14 + 2,28 + 11,43 + 18 + 48,21 = 88,06$$

88,06 – гривень потрібно для того щоб зварити під флюсом 1 метр шва.

Отже дешевша собівартість виготовлення одного метра зварного шва в зварюванні під флюсом, це обумовлено значно більшою продуктивністю.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

2 РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО–ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ

2.1 Технічні вимоги щодо оснастки

Складально–зварювальне оснащення мусить гарантувати:

- встановлення деталей у зварювальному вузлі без пригінювальних операцій;
- точність складання в межах допусків, вказаних у кресленнях;
- вільний доступ до місць прихватки та зварювання;
- найбільш вигідний порядок та послідовність збирання та виконання зварювальних швів;
- надійне закріплення зварювального виробу притискачами;
- можливість зварювання в нижньому положенні;
- зменшення зварювальних деформацій та напружень у вузлі;
- надійний захист базових та установочних елементів, силових елементів, корпусу оснастки від налипання зварювальних бризок;
- необхідну міцність та жорсткість елементів пристрою;
- виключення можливості заклинювання затискних механізмів під дією зварювальних деформацій;
- вільне знімання (витягування) зібраного чи звареного виробу з пристрою;
- ремонтпридатність (можливість заміни швидкозношуваних деталей та відновлення необхідної точності пристрою);
- технологічність пристрою;
- безпека експлуатації (наявність самогальмівних пристроїв тощо).

Отже, для складання та зварювання балки підйомного механізму потрібне таке складально–зварювальне оснащення, яке відповідатиме наступним технічним вимогам:

- оснащення має витримувати масу готового виробу з можливістю його кантування в усіх просторових положеннях;
- оснащення повинно бути достатньо потужним для обертання готового виробу навколо власної осі;

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

– оснащення мусить забезпечувати надійну фіксацію у кантувачі виробу “Балка підйомного механізму”, з можливістю обертати кантувач з виробом масою 94,3 кг на 360°;

– оснащення повинно забезпечувати надійне фіксування та притискання деталей конструкції одна до одної;

– оснащення мусить забезпечувати виконання автоматизованого зварювання довгих зварних швів (приблизно 4000 мм).

2.2 Вибір технологічних баз та схем базування заготовок

Отже схема базування конструкції для виконання зварювальних робіт, може бути виконана закріпленням та притисканням деталі швелер ((1 шт.), маса якої 39,3 кг., (ЗС11.13.03.000 поз.1) у опорно–притискне оснащення двохстійкового кантувача, що забезпечить схему базування опорних та притискних точок для конструкції.

Розглянемо в якості схеми базування шов №2. Отже, конструкція до виконання зварювання шва №2 вже являє собою жорстку конструкцію завдяки зварним швам №1, попереднє притискання та базування опорних точок деталей, які розміщуються на деталі швелер, можна знехтувати.

Тому було прийнято рішення, для виконання зварювання шва №2 використати опорно–притискне оснащення двохстійкового кантувача спеціально розроблене для кантування конструкції балки підйомного механізму.

Загальний екскіз позиціювання деталей для виконання зварювання шва №2 може виглядати наступним чином на (рис. 2.1).

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						54
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

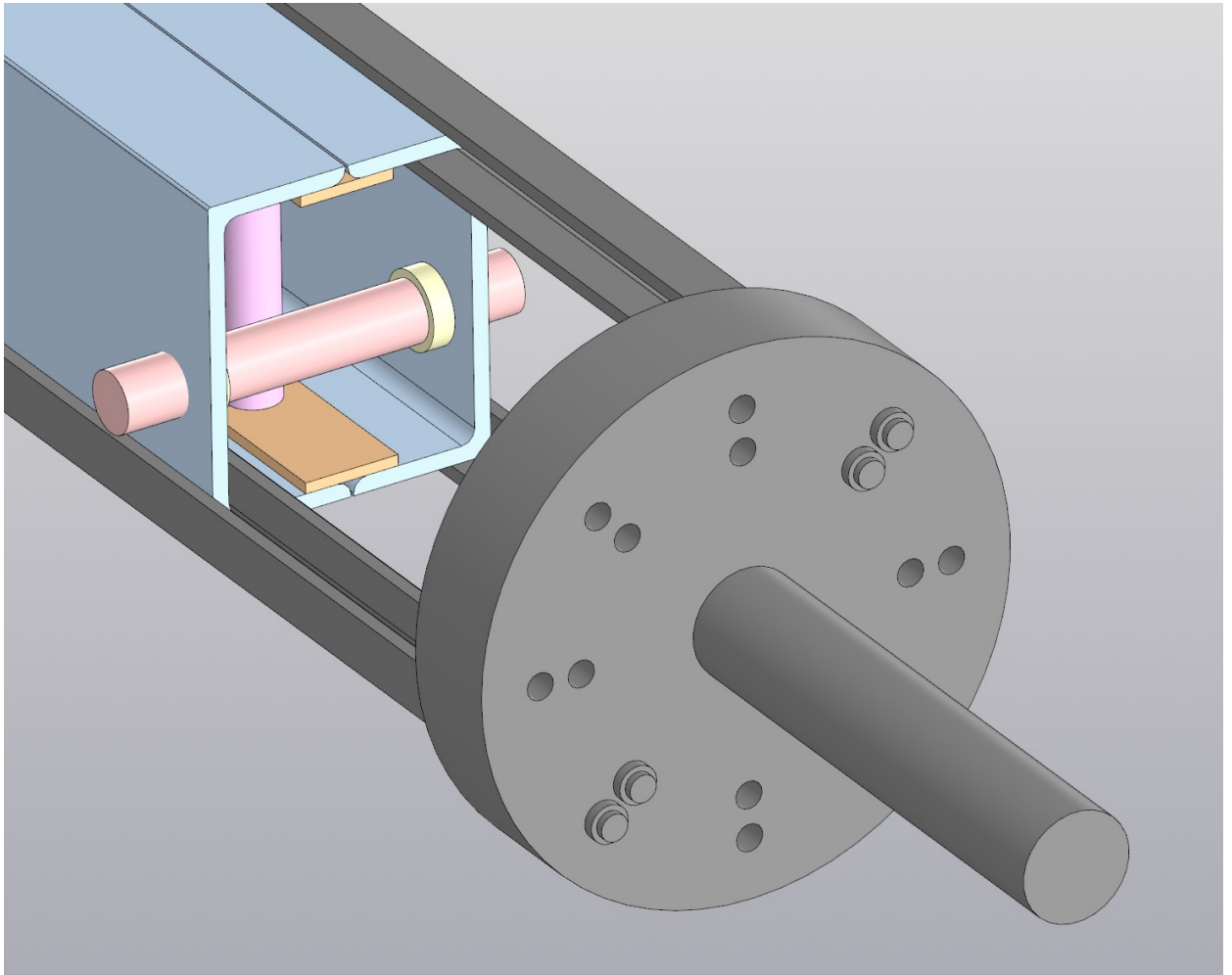


Рисунок 2.2 – Компонування оснащення для кантування балки підйомного механізму

2.4 Обґрунтування вибору конструктивних елементів оснастки

Отже виходячи зі схеми позиціювання (рис. 2.1), для її реалізації обрані вище наведені засоби притиску та фіксації:

- циліндричний палець задля усунення можливості проскальзування швелерів на рейках кантувача;
- розпірка підкладок потрібна задля усунення прогину підкладок, та їх додаткового зажиму;
- струбцини BESSEY SG60T20M (рис. 2.3), технологічні характеристики яких наведені в табл. 2.1.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗС-11.03.00.000 ПЗ

Арк..

56



Рисунок 2.3 – Струбцина BESSEY SG60T20M [20]

Таблиця 2.1 – Технологічні характеристики Струбцини BESSEY SG60T20M

a	600 мм.
b	200 мм
x	30мм * 15 мм
Затисне зусилля	До 8500 Н з моментом затяжки 40 Нм
Тип рукоятки	T – подібна

Струбцина є тимчасовим рішенням затиску залишкових підкладок при виготовленні балки підйомного механізму, але всеодно являється ключевим елементом для полегшення роботи працівника.

2.5 Розрахунок двохстійкового горизонтального кантувача з підйомними центрами КПЦ-400

Отже з попередніх розділів було обрано в якості засобу кантування балки підйомного механізму двохстійковий горизонтальний кантувач з підйомними центрами.

Визначимо мінімально необхідний двигун за потужністю та мінімально необхідний вал шпинделя.

В переважній більшості в таких кантувачах маршова швидкість (частота обертання) планшайби становить в межах $n =$ від $0.07 \text{ об} \cdot \text{с}^{-1}$ до $0.013 \text{ об} \cdot \text{с}^{-1}$, враховуючи габарити виробу.

Потужність приводного двигуна розраховується по діючим на нього зусиллям та моментам згідно з обраною швидкістю обертання.

Розрахункова схема кантувача зображена на рис. 2.4.

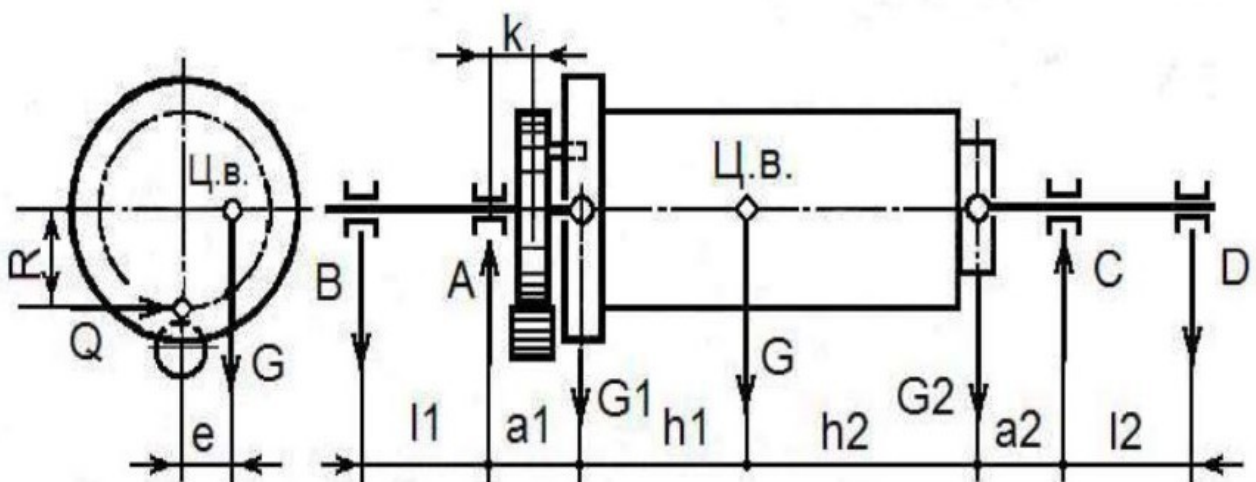


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема кантувача КПЦ-400

$$\eta_1 (0,95) \quad \eta_2 (0,75)$$

Тоді $\eta_{пр}$ буде:

$$\eta_{пр} = 0,95 * 0,75 = 0,712$$

Вважаючи той факт, що планшайби як передньої так і задньої бабки закріплені у шарнірних опорах, можемо розглядати балку як вільно обперту на шарнірах передньої та задньої бабок.

Звідси:

$$G_1 = G * \frac{h_2}{h_1 + h_2} = 926 * \frac{1,825}{1,855 + 1,825} = 459,22 \text{ Н}$$

Тоді G_2 буде:

$$G_2 = G * \frac{h_1}{h_1 + h_2} = 926 * \frac{1,855}{1,855 + 1,825} = 466,77 \text{ Н}$$

Розрахунки для передньої та задньої бабки будемо проводити окремо

Для передньої бабки значення максимального крутного моменту буде дорівнювати сумі вантажного моменту та моменту тертя. Зважаючи на те, що закріплення зубчастого вінця на планшайбі не впливає на шпindel, отримуємо:

Для передньої (приводної) бабки:

$$M_{kr_p} = M_{t_p}$$

Для задньої холостої бабки:

$$M_{kr_x} = M_{t_x}$$

$$M_{t_p1} = 0,5 \cdot f \cdot (A \cdot d_A + B \cdot d_B) \cdot 10^{-3}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$M_{t_{x1}} = 0,5 \cdot f \cdot (A \cdot d_C + B \cdot d_D) \cdot 10^{-3}$$

Визначити величину цих параметрів безпосереднім обчисленням не вдасться.
Застосуємо метод послідовних наближень.

2.5.1 Наближення перше

Колове зусилля, викликане крутним моментом в опорі А:

$$Q = \frac{M_{t_{p1}}}{R} = 0 \text{ Н}$$

Знайдемо повні зусилля у підшипниках:

$$\begin{aligned} A_1 &= \sqrt{\left[G \cdot \frac{h_2 \cdot (l_1 + a_1)}{l_1 \cdot (h_1 + h_2)} \right]^2 + \left(Q \cdot \frac{l_1 + k}{l_1} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left[926 \cdot \frac{1,825 \cdot (0,4 + 0,28)}{0,4 \cdot (1,855 + 1,825)} \right]^2 + \left(0 \cdot \frac{0,4 + 0,1}{0,4} \right)^2} = 780,68 \text{ Н} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_1 &= \sqrt{\left[G \cdot \frac{h_2 \cdot a_1}{l_1 \cdot (h_1 + h_2)} \right]^2 + \left(Q \cdot \frac{k}{l_1} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left[926 \cdot \frac{1,825 \cdot 0,28}{0,4 \cdot (1,855 + 1,825)} \right]^2 + \left(0 \cdot \frac{0,1}{0,4} \right)^2} = 321,46 \text{ Н} \end{aligned}$$

$$C_1 = \left[G \cdot \frac{h_1 \cdot (l_2 + a_2)}{l_2 \cdot (h_1 + h_2)} \right] = \left[926 \cdot \frac{1,855 \cdot (0,4 + 0,28)}{0,4 \cdot (1,855 + 1,825)} \right] = 793,51 \text{ Н}$$

$$D_1 = \left[G \cdot \frac{h_1 \cdot a_2}{l_2 \cdot (h_1 + h_2)} \right] = \left[926 \cdot \frac{1,855 \cdot 0,28}{0,4 \cdot (1,855 + 1,825)} \right] = 326,74$$

У небезпечному перерізі А наявні згинальні моменти, породжені силами G1 та Q.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Сукупний згинальний момент у перерізі А:

$$M_{zA1} = \sqrt{a_1^2 * \left(G * \frac{h_1}{h_1 + h_2}\right)^2 + Q^2 * k^2} =$$
$$= \sqrt{0,28^2 * \left(926 * \frac{1,855}{1,855 + 1,825}\right)^2 + 0^2 * 0,1^2} = 130,69 \text{ Н * м}$$

У небезпечному перерізі С, наявний згинальний момент від сили G2:

$$M_{zC1} = G * \frac{h_1 * a_2}{h_1 + h_2} = 926 * \frac{1,855 * 0,28}{1,855 + 1,825} = 130,7 \text{ Н * м}$$

Еквівалентні моменти, які виникають у критичних перетинах, зумовлені поєднанням згинальних і крутильних моментів:

$$M_{eA1} = \sqrt{M_{zA1}^2 + M_{t_{p1}}^2} = \sqrt{130,69^2 + 0^2} = 130,69 \text{ Н * м}$$

$$M_{eC1} = \sqrt{M_{zC1}^2 + M_{t_{x1}}^2} = \sqrt{130,7^2 + 0^2} = 130,7 \text{ Н * м}$$

У першому наближенні визначимо діаметри шпинделя в небезпечних перетинах. Для цього визначимо допустимі напруження на згин.

Виберемо для шпинделя сталь 35:

Межа текучості, МПа для сталі 35:

$$\sigma_T = 270 \text{ Мпа}$$

Приймемо коефіцієнт запасу:

$$n_T = 7$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Тоді:

$$\sigma_d = \frac{\sigma_T}{n_T} = \frac{270}{7} = 38,57 \text{ Мпа}$$

$$d_{A1} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{eA1}}{\pi * \sigma_d * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 130,69}{3,14 * 38,57 * 10^6}} = 0,0324 \text{ м}$$

$$d_{C1} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{eC1}}{\pi * \sigma_d * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 130,7}{3,14 * 38,57 * 10^6}} = 0,0325 \text{ м}$$

Припустимо, що найбільший з можливих діаметрів буде використано, і всі опори матимуть шпindel з ідентичним діаметром.

$$d_{A1} = 32,5 \text{ мм.}$$

$$d_{B1} = 32,5 \text{ мм.}$$

$$d_{C1} = 32,5 \text{ мм.}$$

$$d_{D1} = 32,5 \text{ мм.}$$

2.5.2 Наближення друге

Для визначення моменту опору, що виникає внаслідок тертя, вважатимемо, що всі точки опори реалізовані на підшипниках ковзання.

$$f = 0,1$$

$$\begin{aligned} M_{t_{p2}} &= 0,5 * f * (A_1 * d_{A1} + B_1 * d_{B1}) * 10^{-3} = \\ &= 0,5 * 0,1 * (780,68 * 32,5 + 321,46 * 32,5) * 10^{-3} = 1,79 \text{ Н * м} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{t_{x2}} &= 0,5 * f * (C_1 * d_{C1} + D_1 * d_{D1}) * 10^{-3} = \\ &= 0,5 * 0,1 * (793,51 * 32,5 + 326,74 * 32,5) * 10^{-3} = 1,82 \text{ Н * м} \end{aligned}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Колове зусилля, викликане крутним моментом в опорі А:

$$Q_2 = \frac{M_{t,p2}}{R} = \frac{1,79}{0,3} = 5,96 \text{ Н}$$

Повні зусилля в підшипниках:

$$\begin{aligned} A_2 &= \sqrt{\left[G * \frac{h_2 * (l_1 + a_1)}{l_1 * (h_1 + h_2)} \right]^2 + \left(Q_2 * \frac{l_1 + k}{l_1} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left[926 * \frac{1,825 * (0,4 + 0,28)}{0,4 * (1,855 + 1,825)} \right]^2 + \left(5,96 * \frac{0,4 + 0,1}{0,4} \right)^2} = 780,723 \text{ Н} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_1 &= \sqrt{\left[G * \frac{h_2 * a_1}{l_1 * (h_1 + h_2)} \right]^2 + \left(Q_2 * \frac{k}{l_1} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left[926 * \frac{1,825 * 0,28}{0,4 * (1,855 + 1,825)} \right]^2 + \left(5,96 * \frac{0,1}{0,4} \right)^2} = 321,461 \text{ Н} \end{aligned}$$

$$C_1 = \left[G * \frac{h_1 * (l_2 + a_2)}{l_2 * (h_1 + h_2)} \right] = \left[926 * \frac{1,855 * (0,4 + 0,28)}{0,4 * (1,855 + 1,825)} \right] = 793,51 \text{ Н}$$

$$D_1 = \left[G * \frac{h_1 * a_2}{l_2 * (h_1 + h_2)} \right] = \left[926 * \frac{1,855 * 0,28}{0,4 * (1,855 + 1,825)} \right] = 326,74$$

Сукупний згинальний момент у перерізі А:

$$\begin{aligned} M_{zA2} &= \sqrt{a_1^2 * \left(G * \frac{h_1}{h_1 + h_2} \right) + Q^2 * k^2} = \\ &= \sqrt{0,28^2 * \left(926 * \frac{1,855}{1,855 + 1,825} \right)^2 + 5,96^2 * 0,1^2} = 130,71 \text{ Н * м} \end{aligned}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗС-11.03.00.000 ПЗ

Арк..

64

Згинальний момент в перерізі С:

$$M_{zC2} = G * \frac{h_1 * a_2}{h_1 + h_2} = 926 * \frac{1,855 * 0,28}{1,855 + 1,825} = 130,7 \text{ Н * м}$$

Еквівалентні моменти в небезпечних перерізах:

$$M_{eA2} = \sqrt{M_{zA2}^2 + M_{t_{p2}}^2} = \sqrt{130,71^2 + 1,79^2} = 130,72 \text{ Н * м}$$

$$M_{eC2} = \sqrt{M_{zC2}^2 + M_{t_{x2}}^2} = \sqrt{130,7^2 + 1,82^2} = 130,71 \text{ Н * м}$$

Визначаємо діаметр валу у потенційно критичних перетинах, застосовуючи друге наближення:

$$d_{A2} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{eA2}}{\pi * \sigma_d * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 130,72}{3,14 * 38,57 * 10^6}} = 0,03251 \text{ м}$$

$$d_{C2} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{eC2}}{\pi * \sigma_d * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 130,71}{3,14 * 38,57 * 10^6}} = 0,03252 \text{ м}$$

Тоді діаметр шпинделя:

$$d_{A2} = 32,5 \text{ мм.}$$

$$d_{B2} = 32,5 \text{ мм.}$$

$$d_{C3} = 32,5 \text{ мм.}$$

$$d_{D4} = 32,5 \text{ мм.}$$

Так як значення діаметрів не змінилися то подалі розрахунки не потрібні.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Обираємо найближчий розмір до нормованих (12.5 мм, 15 мм, 20 мм, 25 мм, 30 мм, 40 мм, 50 мм, 75 мм, 100 мм), заокруглюючи у більший бік:

$$d_A = 40 \text{ мм.}$$

$$d_B = 40 \text{ мм.}$$

$$d_C = 40 \text{ мм.}$$

$$d_D = 40 \text{ мм.}$$

Для визначення сумарного крутного моменту привідного механізму, обчислюємо величини моментів тертя як у власне приводі, так і у холостих бабках. Беремо до уваги попередньо визначені параметри, зокрема, діаметри шпинделів.

$$\begin{aligned} M_{t_p} &= 0,5 * f * (A_2 * d_A + B_2 * d_B) * 10^{-3} = \\ &= 0,5 * 0,1 * (780,723 * 40 + 321,461 * 40) * 10^{-3} = 2,2 \text{ Н * м} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{t_x} &= 0,5 * f * (C_2 * d_C + D_2 * d_D) * 10^{-3} = \\ &= 0,5 * 0,1 * (793,51 * 40 + 326,74 * 40) * 10^{-3} = 2,24 \text{ Н * м} \end{aligned}$$

Загальний обертальний момент, який необхідно здолати приводу, буде дорівнювати сукупності моменту навантаження на планшайбі та моментів тертя у приводній та задній бабках:

$$M_{kr} = G * e + M_{t_p} + M_{t_x} = 926 * 0,21 + 2,2 + 2,24 = 198,9 \text{ Н * м}$$

Потужність двигуна, що приводить в рух, будемо визначати через частоту обертання планшайби на крейсерській швидкості:

$$n = 0,1 \text{ об * с}^{-1}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$N = \frac{M_{kr} * 2\pi n}{\eta_{пр}} = \frac{198,9 * 2 * 3,14 * 0,1}{0,712} = 175,43 \text{ Вт}$$

З ряду серійних двигунів обираємо електродвигун АІР56В2 (0,25 кВт)

Отже, досліджене устаткування відповідає технічним умовам і відзначається високою технологічністю та легкістю в експлуатації.

2.6 Компонування складально–зварювального пристрою

Отже, спершу, перед тим як зафіксувати конструкцію у кантувачах, її розташовують на підйомно–поворотних зварювальних пристроях (зварювальні столи). Далі конструкцію закріплюють у холостому кантувачі з особливим обладнанням, що переміщується рейками. Вона притискається до приводного кантувача, де її теж фіксують, а потім підіймають на потрібну висоту. Наступний етап – встановлення розпірок. Вони потрібні для того, щоб уникнути прогину підкладки під вагою самої конструкції. Після цього монтують другий швелер і вставляють циліндричні пальці.

2.7 Опис роботи складально–зварювального пристрою

Для захоплення та монтування зварної конструкції, яка знаходиться на підйомно–поворотних зварювальних пристроях (зварювальні столи), кантувачі зі спеціальним оснащенням опускають свої планшайби. Після цього холостий кантувач під’їжджає до конструкції та працівник ставить конструкцію на рейки кантувача та фіксує їх до головного кантувача. Наступним кроком, притисне оснащення кантувача притискає та фіксує швелер з внутрішньої сторони з необхідним зусиллям для надійної фіксації. Після ставляться підкладки для зварювання та тамчасово фіксує їх струбцинами, після чого вставляються розпірки, та монтуються внутрішні рейки другого швелера на який встановлюється другий швелер, у отвори для валів вставляються циліндричні пальці та фіксується швелер зовнішніми рейками. Знімаються струбцини з підкладок. Після чого конструкція

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кантується на 90° , після чого проводиться зварювання першого або другого зварного шва, після чого конструкція кантується на 180° і проводиться зварювання іншого шва.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

3 КОМПОНУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ

3.1 Обґрунтування вибору основного технологічного устаткування

Обґрунтування вибору головного технологічного (зварювального) обладнання може бути сформульоване з різноманітних чинників, котрі впливають на процес зварювання, на якість утворення з'єднання та на продуктивність роботи.

Щоб зварити балку підйомного механізму, обладнання для зварювання треба підбирати враховуючи тип зварювання, матеріали, що з'єднуються, та вимоги до якості з'єднань.

Тоді для виконання зварних з'єднань №1 та №2 балки підйомного механізму, обрано зварювання плавким електродом під шаром флюсу ISO 4063 - 121. А для виконання кільцевого шва №3 було обрано напівавтоматичне зварювання в CO₂ – ISO 4063 - 135.

При зварюванні балки підйомного механізму застосовується сталь 15ХСНД, що зараховується до групи сталей з легким зварюванням, з низьким вмістом вуглецю та малою кількістю легуючих компонентів, відповідно не вимагаючи дорогого зварювального обладнання. В ході аналізу на утворення гарячих тріщин було виявлено що сталь схильна до утворення гарячих тріщин і потребує підігріву до 105 °С, але в ході експериментів з цією сталлю на виробничій площадці було виявлено що цим фактором можливо знехтувати.

Відповідно до стандартів якості зварних з'єднань, конструкція переважно відноситься до ISO 5817 – С. Виробничий процес загалом потребує високої якості зварювання, у зв'язку з чим може знадобитися точніше, автоматизоване обладнання.

Установка для зварювання (ISO 4063 – 121, Ф) має мати можливість подачі дроту діаметром 3 мм, та швидкістю подачі дроту в 115 м*г⁻¹, з швидкістю зварювання в 45 м*г⁻¹. Під ці потреби підходить зварювальний підвісний автомат серії А-1416 призначений для автоматичного зварювання під шаром флюсу, ціною в 143 тисячі гривень.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, враховуючи згадані вище чинники, для виконання зварювання швів №1 та №2 під шаром флюсу була обрана зварювальна підвісна установка А1416 (рис. 3.1).

Технічні характеристики якої наведено в табл. 3.1.



Рисунок 3.1 – Підвісний зварювальний автомат для зварювання під шаром флюсу А1416

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики підвісного зварювального автомата для зварювання під шаром флюсу А1416 [21]

Швидкість зварювання, м*Г ⁻¹	Від 12 до 120
Напруга, В	60
Номинальний струм, А	Від 60 до 1000
Діаметр дроту, мм	Від 2 до 5
Швидкість подачі дроту, м*Г ⁻¹	Від 47 до 509
Об'єм флюсобункера, м ³	0,025

Тоді джерело живлення для зварювання (ISO 4063 – 121, Ф) зварного з'єднання №1 та №2 потрібен випрямляч з ампертражом більшим чим 380 ампер, і

вольтажом в 32 вольт, для цих характеристик підійде зварювальний випрямляч ВДУ-506 (рис. 3.2) ціною в 50 тисяч гривень, технічні характеристики якого записані в табл. 3.2.



Рисунок 3.2 – Зварювальний випрямляч ВДУ-506

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики зварювального випрямляча ВДУ-506 [22]

Номінальна напруга мережі живлення, В	380
Номінальна частота, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А, не менше	500
Номінальна робоча напруга, В, не менше	50
Межі регулювання зварювального струму, А	Від 50 до 500
Межі регулювання робочої напруги, В	Від 20 до 50
Первинна потужність, кВт, не більше	31
Напруга холостого ходу, В, не більше	80

Оберемо джерело живлення та зварювальне устаткування для виконання напівавтоматичного зварювання методом (ISO 4063 – 135, УП), зварного з'єднання №3.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Необхідні вихідні дані для вибору джерела з попередніх етапів розробки технології В результаті конструктивно–технологічного аналізу встановлено, що зварні з'єднання №3 виконуються у закритому приміщенні при помірному кліматі. Відповідно джерело зварювального струму повинно мати категорію У по кліматичному виконанні та групу 3 по категорії розміщення (у приміщеннях з природною вентиляцією). Для зварювання методом (ISO 4063 – 135, УП) необхідно вибрати джерело з жорсткою характеристикою ВАХ, при якій краща стабільність та якість зварювання

В зв'язку зі зварюванням в стаціонарних умовах, можна застосувати стаціонарне джерело струму з високим або середнім завантаженням (ПВ = 100 % або ПВ = 60 %). Оберемо однопостове джерело. Вибір за родом струму залежить від матеріалу та товщини, для зварювання методом (ISO 4063 - 135, УП) обрано постійний струм зворотної полярності. Звідси впливає, що ми можемо вибрати лише джерело постійного струму – випрямляч або перетворювач.

Для обрання конкретної марки випрямляча необхідно знати силу зварювального струму. Відповідно розрахунковим значенням сили зварювального струму при зварюванні в нижньому положенні однопрохідного типу шва складає $I = 365,57$ А. Тобто можна обрати джерело з номінальним струмом 370 А і більше. Обираємо найближчий по номінальному струму зварювальне обладнання зварювальний напівавтомат Jasic MIG-400P (N317) (рис. 3.3) технічні характеристики якого наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики напівавтомата Jasic MIG-400P (N317)[23]

Вид зварювання/різання	MMA MIG MAG
Додаткові режими	З пульсацією
Зварювальний струм MIG/MAG	Від 60 до 400
Напруга холостого ходу	70 В
Швидкість подачі дроту	Від 1 до 18 м*хв ⁻¹
Діаметр зварювального дроту	Від 0,8 до 1,6 мм

напруга. Крім того, розробка на цьому етапі передбачає створення обладнання для монтажу зварювального устаткування з функцією маніпулювання та переміщення у просторі для точного та якісного формування зварного з'єднання.

Для зварювання балки підйомного механізму необхідно обрати або розробити обладнання, яке гарантуватиме якісне формування зварних швів № 1 та №2 згідно з ISO 4063 – 121. Воно також має забезпечувати безперешкодне пересування зварювального устаткування на всіх ділянках зварних швів. Крім того, обладнання повинно бути спроектованим та забезпечувати достатню міцність та жорсткість, щоб уникнути заїдань, провисання та руйнування конструкції.

Також важливо, щоб устаткування забезпечувало автоматичний процес зварювання під шаром флюсу на всій довжині зварного з'єднання.

Отже, для реалізації зварювання буде використана колона консоль по якій буде переміщуватися підвісний зварювальний апарат A1416

3.2.1 Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок силових характеристик консолі для утримання обраного обладнання з механізмом позиціювання та пересуванням обладнання

Для переміщення зварювального устаткування в робочому місці буде застосовано колони з консоллю між ними. На цій консолі буде пересуватися зварювальний апарат по всій протяжності шва. Отже консоль повинна бути довжиною мінімум в 5 м та повинна витримувати вагу обладнання в $885 \text{ кг} = 8691 \text{ Н}$, свою вагу, та вагу каретки (приймаємо за $25 \text{ кг} = 245 \text{ Н}$). Загальне навантаження на консоль 8936 Н .

Отже максимальні навантаження на консоль повинні бути на середині консолі (2,5 м)

Приймаємо за основу консолі двутавр висотою – 200 мм, шириною полок 100 мм та товщиною стінок 12 мм, довжиною в 5000 мм (рис. 3.4)

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

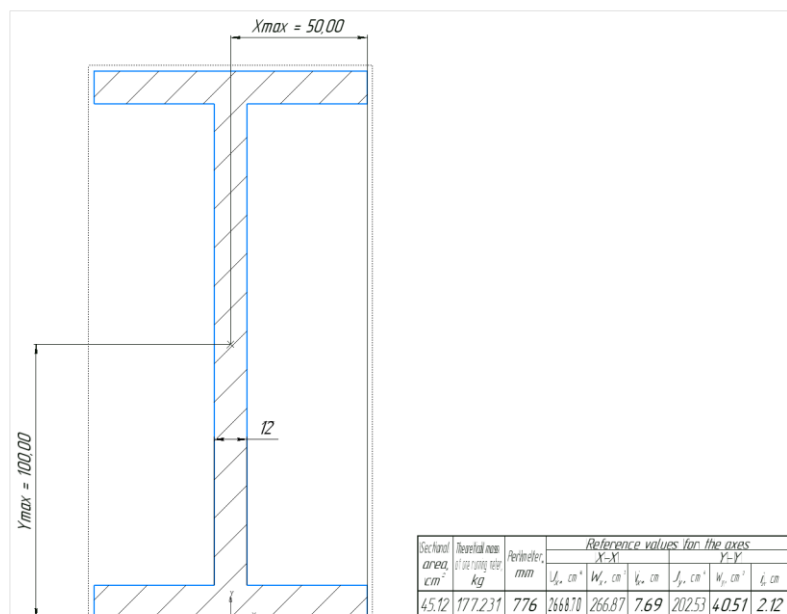


Рисунок 3.4 – Розрахунок МЦХ двутавра за площею поперечного перерізу

Розрахункова вага балки:

$$M_6 = 17,7 \text{ кг} = 173,8 \text{ Н}$$

Максимальний згинальний момент M , який діє за довжиною згинального елемента, визначаємо за формулою:

$$M = \frac{P * (L - a)}{L} * a = \frac{(8,936 + 0,1738) * (5 - 2,5)}{5} * 2,5 = 11,38 \text{ кН * м}$$

Максимальне значення поперечної сили Q_{\max} , яка діє за довжиною згинального елемента, визначається за:

$$Q = \frac{P * (L - a)}{L} = \frac{(8,936 + 0,1738) * (5 - 2,5)}{5} = 4,55 \text{ кН}$$

Площа поперечного перерізу балки:

$$A = 45,12 \text{ см}^2$$

Статичний момент інерції перерізу:

$$I_x = 2668 \text{ см}^4$$

Статичний момент опору перерізу балки:

$$W_x = 266 \text{ см}^3$$

Статичний момент півплощі перерізу балки:

$$S_x = 202 \text{ см}^3$$

Радіус інерції:

$$i_x = 7,6 \text{ см}$$

Виконаємо перевірку прийнятого перерізу балки на дію згинального моменту:

$$\frac{M * y_n}{W_x * R_y * y_c} = \frac{11380 * 1}{266 * 62 * 0,9} = 0,76 \leq 1$$

Умова виконується.

Виконаємо перевірку прийнятого перерізу балки на дію поперечної сили Q, що спрямована паралельно серединній площині:

$$\frac{Q * S_x * y_n}{I_x * t_x * R_s * y_c} = \frac{4,55 * 202 * 1}{2668 * 0,49 * 62 * 0,9} = 0,024 \leq 1$$

Умова виконується.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для того щоб застосувати формулу Мора, нам необхідно мати епюру згинальних моментів $M_{од}$ від одиничної сили.

Одиничну силу прикладаємо до точки, де визначаємо прогин.

Максимальний згинальний момент $M_{од}$ від одиничної сили визначаємо за формулою:

$$M_{од} = \frac{P_{од} * (L - a)}{L} * a = \frac{1 * (5 - 2,5)}{5} * 2,5 = 1,25 \text{ кН} * \text{м}$$

Маючи значення M та $M_{од}$, застосуємо формули Мора для визначення фактичного прогину балки у місці прикладення одиничної сили:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{3} * \frac{M * M_{од}}{E * I_x} * a + \frac{1}{3} * \frac{M * M_{од}}{E * I_x} * (L - a) = \\ &= \frac{1}{3} * \frac{11380 * 1250}{2,06 * 10^4 * 2668} * 2,5 + \frac{1}{3} * \frac{11380 * 1250}{2,06 * 10^4 * 2668} * (5 - 2,5) = \\ &= 0,23 \text{ см} = 2,3 \text{ мм} \end{aligned}$$

Отже максимальний прогин балки під вагою обладнання буде дорівнювати 2,3 мм (в межах допуску).

3.2.2 Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок потужності приводного електродвигуна для механізмів позиціювання та пересування обладнання

Для забезпечення пересування зварювальної автомати коло кантувача, переміщення обладнання з необхідною швидкістю вздовж шва, важливо розмістити її на каретку.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Маса всієї конструкції:

$$M = 90 \text{ кг} = 8936 \text{ Н}$$

Ширина рейкового шляху прийємо:

$$L = 1200 \text{ мм}$$

Відстань від рейки до центру ваги консолі:

$$L_1 = 1000 \text{ мм}$$

Колісна база ходових коліс, приймаємо за:

$$L_3 = 1800 \text{ мм}$$

Відстань до точки розташування каретки:

$$L_4 = 1000 \text{ мм}$$

Вертикальні реакції ходових коліс:

$$Q_1 = \frac{G * (L + L_1)}{L} = \frac{8936 * (1200 + 1000)}{1200} = 16382,66 \text{ Н}$$

$$Q_2 = \frac{G * L_1}{L} = \frac{8936 * 1000}{1200} = 7446,66 \text{ Н}$$

Реакція Q_1 розподілятиметься між ведучими колесами, враховуючи положення каретки.

$$Q_3 = \frac{Q_1 * (L_3 - L_4)}{L_3} = \frac{16382,66 * (1800 - 1000)}{1800} = 7281,18 \text{ Н}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

$$Q_4 = \frac{Q_1 * L_4}{L_3} = \frac{16382,66 * 1000}{1800} = 9101,47 \text{ Н}$$

Для подальших обчислень механізму пересування, потрібно визначитися з видом ходових коліс, що забезпечують специфіку контакту колеса з поверхнею рейки.

Обрано ходові колеса з циліндричним вінцем, схеми яких зображені на рис. 3.6.

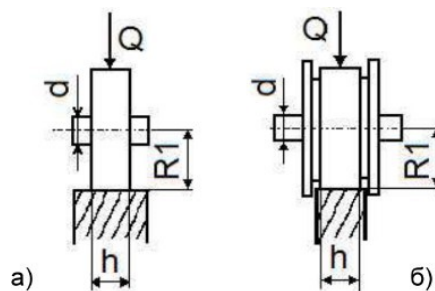


Рисунок 3.6 – Схеми ходових коліс візка де (а – холостих; б – приводних)

Візьмемо геометричні параметри коліс:

Радіус колеса:

$$R_1 = 150 \text{ мм}$$

Ширина контактної поверхні колеса з рейкою:

$$h = 80 \text{ мм}$$

З огляду на аналіз опорних реакцій на ведучих колесах Q_3 та Q_4 , встановимо, що розрахунок здійснюватимемо за максимальним значенням Q_4 .

Подальше значення $Q = Q_4$

Припустимо попередньо коефіцієнти:

– K_f – коефіцієнт, що враховує вплив тангенціальних сил тертя.
Вважатимемо $K_f = 1,1$;

– K_H – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження по ширині рейки. Для лінійного контакту приймемо: $K_H = 1,2$;

– P – найбільше навантаження на обід колеса. Для цього випадку: $P = Q_4$.

Приведений модуль пружності визначається залежно від матеріалу колеса E_1 та голівки рейки E_2 . Приймемо:

$$E_1 = 2,1 * 10^5 \text{ МПа}$$

$$E_2 = 1,9 * 10^5 \text{ МПа}$$

Тоді:

$$E = \frac{2 * E_1 * E_2}{E_1 + E_2} = \frac{2 * 2,1 * 10^5 * 1,9 * 10^5}{2,1 * 10^5 + 1,9 * 10^5} = 199500 \text{ МПа}$$

$$\sigma_d = 0,167 * 10^{-6} * K_f * \sqrt{\frac{P * E * K_H * 10^6}{R_1 * h * 10^{-6}}} =$$
$$= 0,167 * 10^{-6} * 1,1 * \sqrt{\frac{9101,47 * 199500 * 1,2 * 10^6}{150 * 80 * 10^{-6}}} = 78,28 \text{ МПа}$$

Контактні напруження не повинні перевищувати величину допустимих напружень. Приймемо: $H_B = 2400 \text{ МПа}$ та $\sigma_d = 0,2 * H_B = 0,2 * 2400 = 480$.

σ_d МПа більше за $\sigma_{дл}$.

Умова виконується.

Умовно, вісь колеса можна вважати як двоопорну балку, на яку діє сила посередині прольоту.

Відстанню між точками опори вала вільного колеса приймемо:

$$L_5 = 200 \text{ мм}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Тоді:

$$M_{z_x} = \frac{Q_2 * L_5}{4} * 10^{-3} = \frac{7446,66 * 200}{4} * 10^{-3} = 372,33 \text{ Н * м}$$

Діаметр валу холостого колеса визначаємо через значення згинального моменту, вказавши величину допустимих напружень на вигин.

$$\sigma_D = 80 \text{ МПа}$$

$$d_x = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{z_x}}{\pi * \sigma_D * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 372,33}{\pi * 80 * 10^6}} = 0,036 \text{ м}$$

Розрахунок валу ведучого колеса здійснимо, керуючись розрахунковою схемою (рис. 3.7):

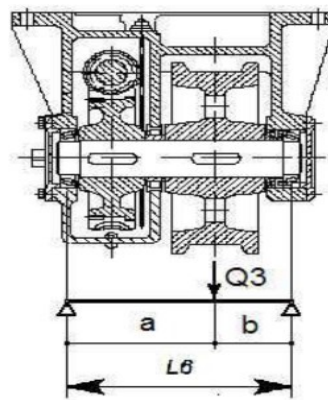


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема приводного колеса

Визначим геометричні параметри приводного колеса. Прийmemo що:

$$L_6 = 350 \text{ мм}$$

$$a = 240 \text{ мм}$$

$$b = 110 \text{ мм}$$

$$M_{z_{pr}} = Q_4 * \frac{a * b * 10^{-3}}{a + b} = 9101,47 * \frac{240 * 110 * 10^{-3}}{240 + 110} = 686,5 \text{ Н * м}$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Попередньо прийємо коефіцієнти тертя у підшипниках кочення:

- $f_p = 0,015$;
- μ_k – коефіцієнт тертя кочення колеса. Прийємо 0,3;
- k_p – коефіцієнт враховуючий тертя у ребордах колеса. Прийємо 2,5.

В першому наближенні знехтуємо крутним моментом.

$$M_{kp1} = 0$$

$$M_{ekv1} = \sqrt{M_{kp1}^2 + M_{z_{pr}}^2} = \sqrt{0^2 + 686,5^2} = 686,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Діаметр валу у першому наближенні:

$$d_{pr1} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{ekv1}}{\pi * \sigma_D * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 686,5}{\pi * 80 * 10^6}} = 0,044 \text{ м}$$

Припустимо, що діаметри осей, так само як і підшипники, що підтримують, будуть ідентичні для всіх коліс.

Загальне значення сили, яка протидіє руху візка, становитиме:

$$\begin{aligned} W_{T1} &= \left(Q_2 * \frac{d_{pr1} * f_p + 2 * \mu_k}{2 * R_1} \right) + K_p * (Q_3 + Q_4) * \frac{d_{pr1} * f_p + 2 * \mu_k}{2 * R_1} = \\ &= \left(7446,66 * \frac{0,029 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150} \right) + 2,5 * (7281,18 + 9101,47) * \\ &\quad * \frac{0,029 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150} = 96,87 \text{ Н} \end{aligned}$$

Тоді у другому наближенні, крутний момент дорівнюватиме:

$$M_{kp1} = W_{T1} * R_1 * 10^{-3} = 96,87 * 150 * 10^{-3} = 14,53 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

						3С-11.03.00.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			82

Еквівалентний момент:

$$M_{ekv2} = \sqrt{M_{kp1}^2 + M_{z_pr}^2} = \sqrt{14,53^2 + 686,5^2} = 686,65 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тоді діаметр валу в другому наближенні буде дорівнювати:

$$d_{pr2} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{ekv2}}{\pi * \sigma_D * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 686,65}{\pi * 80 * 10^6}} = 0,044 \text{ м}$$

Значення діаметру не змінилось, тому подальший розрахунок припиняємо
Обираємо найближчий розмір з округленням у більший бік:

$$d_B = 50 \text{ мм}$$

Визначаємо потрібне зусилля для руху візка в процесі прискорення (набору швидкості).

$$a = 0,01$$

$$\begin{aligned} W_{T2} &= \left(Q_2 * \frac{d_B * f_p + 2 * \mu_k}{2 * R_1} \right) + K_p * (Q_3 + Q_4) * \frac{d_B * f_p + 2 * \mu_k}{2 * R_1} = \\ &= \left(7446,66 * \frac{0,05 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150} \right) + 2,5 * (7281,18 + 9101,47) * \\ &* \frac{0,05 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150} = 17,75 \text{ Н} \end{aligned}$$

$$W_{zr} = W_{T2} + G * \frac{a}{9,8} = 17,75 + 8936 * \frac{0,01}{9,8} = 26,86 \text{ Н}$$

Виконаємо перевірку запасу зчеплення коліс з рейкою. Перевірку проведемо для сталого руху та під час розгону. Прийmemo:

$$Q_{min} = Q_3$$

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Ψ – коефіцієнт зачеплення колеса з рейкою. Прийmemo:

$$\Psi = 0,2$$

$$K_z = \frac{\Psi * Q_{min}}{W_{T2}} = \frac{0,2 * 7281,18}{17,75} = 82,04 > 2$$

$$K_{zr} = \frac{\Psi * Q_{min}}{W_{zr}} = \frac{0,2 * 7281,18}{26,86} = 54,21 > 2$$

Умови виконуються.

Потужність двигуна, що приводить в рух, обчислюємо за загальною силою опору переміщенню каретки:

$$N = \frac{W_{T2} * V}{\eta_{pr}} = \frac{17,75 * 0,3}{0,57} = 9,34 \text{ Вт}$$

Отже нам підходить двигун AIP56A4 (0,12 кВт)

3.3 Опис зварювальної установки

Зварювальна установка являє собою 2 консолі на яких знаходиться каретка яка має можливість перміщувати обладнання.

Отже загалом зварювальна установка працює наступним чином. Зварювальний апарат переміщується по напрямним коліям (2-ом консолям) за допомогою каретки до місця складання та зварювання конструкції балки підйомного механізму. Потім підвісний автомат для зварювання опускає сопло на потрібний виліт та координується соплом до початка місця зварювання. На блоці керування задаються необхідні режими зварювання після чого проводять процес зварювання. Після закінчення процесу зварювання, сопло підіймається,

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

конструкція кантується на 180^0 і проводиться зварювання другого шва аналогічно першому.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		85

4 ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАНУ ВИРОБНИЧОЇ ПЛОЩІ

4.1 Визначення типу виробництва

Отже, беручи до уваги розмаїття асортименту продукції, ступінь її конструктивної єдності, а також частоту виготовлення кожного окремого виробу, стає можливим віднести виробничий цех до одного з таких типів: одиничного, дрібносерійного, серійного, великосерійного або масового.

Цей поділ є ключовим для організації виробництва, зокрема, при виборі обладнання, визначенні рівня спеціалізації робочих місць, типі технологічної документації та ступені автоматизації праці. Наприклад, для одиничного або дрібносерійного виробництва підходить універсальне обладнання та гнучкі технологічні маршрути. Натомість серійне та масове виробництво вимагає високого рівня стандартизації, вузької спеціалізації робочих місць і застосування високопродуктивного спеціалізованого оснащення.

Таким чином, класифікація типу виробництва дозволяє раціонально планувати ресурси, покращувати виробничі процеси та досягати економічної вигоди від випуску продукції. Враховуючи запланований обсяг випуску продукції у розмірі $N = 250$ штук, та масу одного комплекту, що становить 13,8 кг, загальна маса річного випуску зварних виробів становитиме: $2500 * 13,8 = 34500$ кг. Відповідно замовлення, виготовлення балки підйомного механізму буде здійснюватися в умовах серійного виробництва.

Для забезпечення безперервності виробничого процесу активно використовуються спеціальні пристрої для автоматизованої подачі листового, сортового та профільного прокату. Це дає змогу мінімізувати ручну працю та скоротити допоміжний час на підготовчо-завершальні операції. Значну роль у логістиці відіграє внутрішній транспорт: використовуються як підвісні системи транспортування, так і підлоговий механізований транспорт для переміщення матеріалів та напівфабрикатів між ділянками.

Отже, серійне виробництво відрізняється високим ступенем організації, можливістю стандартизації процесів та оптимізацією витрат на одиницю продукції.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

4.2 Визначення кількості обладнання

Загальна кількість устаткування складально-зварювального цеху подана у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Загальна кількість обладнання складально зварювального цеху

Назва обладнання	Графічне зображення	кількість
Плазморізна установка MARLIN TYPHOON		1
Кантувач КПЦ – 4000		1
Установка для зварювання під шаром флюсу		1
Зварювальний мобільний пост для механізованого зварювання		1
Мостова кран балка		1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗС-11.03.00.000 ПЗ

Арк..

87

4.3 Розрахунок чисельності працюючих складально–зварювального цеху

До виробничого персоналу зараховують робітників, котрі безпосередньо здійснюють технологічні дії з виготовлення виробів (зварювальники, складальники, різьбярі по металу, верстатники, ґрунтівники, маляри та інші робітники).

Допоміжний персонал виконує функції з забезпечення функціонування технологічного процесу. З метою спрощення розрахунків, чисельність допоміжних робітників приймемо в межах від 20% до 30% від кількості виробничих робітників.

Інші категорії співробітників:

- інженерно–технічні працівники;
- молодший обслуговуючий персонал;
- службовці;
- працівники сектору технічного контролю.

Для спрощених підрахунків їх співвідношення до загальної кількості працюючих візьмемо згідно табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Кількість працівників на робочій зміні

Операція	А	В	С	Д	Е
Марка обладнання	Плазморізна установка MARLIN TYRHOON	Мостова кран балка, Навантажувач 02- 8FDF30	Кантувач КППЦ – 4000	Установка для зварювання під шаром флюсу А1416	Зварювальний мобільний пост для механізованого зварювання
Категорія основних робітників	Оператор плазморізу	Транспортувальник	Оператор кантувача	Оператор зварювальної установки	Зварник механізованого зварювання
Кількість основних робітників	1	1	1	1	1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						88

Продовження таблиці 4.2

Операція	Кількість працівників
Інженерно технічні працівники	1
Кількість допоміжних робітників	2
Контролери – ВТК	1

На робочій зміні для роботи цеху потрібно 9 осіб

4.4 Основні вимоги для планування цеху

Колони одного ряду об'єднуються між собою підкроквяними фермами, на які, своєю чергою, спираються кроквяні ферми. Відстань між осями колон двох сусідніх рядів визначає ширину прольоту цеху, що суворо нормалізована і найчастіше дорівнює 18, 24, 30 або 36 метрів. Крок колон зазвичай становить 12 метрів (рідше 6 метрів). Мінімальна ширина проходів та проїздів визначається за табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Мінімальна ширина проходів та проїздів [24]

Визначальна відстань	Допустимі межі значень, м
Від колон, або стін будівлі до бічної сторони обладнання	1 - 3
Від колон, або стін будівлі до тильної сторони обладнання	1 - 2,5
Від колон, або стін будівлі до фронту обладнання	1 - 2,5
Між фронтом і тильною стороною обладнання	1 - 2
Між тильною і бічною сторонами обладнання	1 - 2
Між тильними сторонами обладнання	1
Між бічними сторонами обладнання	1 - 1,4
Між обладнанням розташованим фронтом одне до одного	1 - 2
Від фронту обладнання до складського місця	1 - 1,6
Між складськими місцями	1 - 1,4
Між тильною стороною обладнання і складським місцем	1
Між бічною стороною обладнання і складським місцем	1 - 1,2

При технологічному перебігу переміщення вантажів критично важливо унеможливити взаємно спрямовані або такі, що перетинаються, операції з вантажопотоками, на кришталт збирання та зварювання.

4.5 Визначення запасу матеріалів

Величина запасу зберігання металу Q визначається нормою запасу зберігання і темпом виробництва за формулою:

$$Q = Nx \cdot q = 6 * 0,182 = 1,092$$

де N – норма запасу зберігання металу, год;

q – темп виробництва, т*год⁻¹.

Запланована швидкість виробництва:

$$v = 5 \text{ годин} * \text{год}^{-1}.$$

Маса одного комплекту зварного виробу:

$$m_k = 13,8 \text{ кг.}$$

Темп виробництва визначається за формулою:

$$q = 0,001 * m_k * v = 0,001 * 13,8 * 5 = 0,069 \text{ т} * \text{год}^{-1}$$

Беремо за основу норматив запасу для складу металу, проміжного складу й складу готових виробів, розраховуючи на 3 зміни з завантаженістю 1т*м⁻¹. З урахуванням робочого часу у зміні 8 годин,

Обчислюємо необхідну площу для складування металу, напівфабрикатів і готових виробів кожне з корисною площею:

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{\Pi} = 0,069 * 5 * \frac{3}{1} = 1,66 \text{ м}^2$$

З урахуванням додаткової площі, що становить 50%, одержимо 2,5 м² загальної площі для кожного з трьох складів.

Як бачимо, площа для складського зберігання напівфабрикатів, проміжного складу й готової продукції є надзвичайно малою та не відповідає реальності. Для подальших розрахунків орієнтуватимемося на геометричні параметри напівфабрикатів, які надходять на виробництво, для визначення площі складу напівфабрикатів, для проміжного складу металу візьмемо найбільші габарити найбільших деталей та для складу готової продукції візьмемо габарити готового зварного виробу:

- площа для зберігання напівфабрикатів – 20 м²;
- площа проміжного складу – 10 м²;
- площа для готової продукції – 20 м².

4.6 Визначення необхідних вантажо–підймальних засобів, проходів, проїздів

Зважаючи на масу конструкції, що перевищує 90 кг, для транспортування на кантувач та з нього слід додатково застосовувати мостову кран–балку.

Для забезпечення переміщення металевих виробів, піддонів з деталями, вузлами та готовою продукцією, необхідно обладнати ділянку мостовим краном (4СЛ G80 2,36 т. 18 м) [11].

Крім того, для виконання транспортних операцій планується один проїзд.

Слід також врахувати, що в умовах одноповерхової будівлі з наявним мостовим краном загального призначення, необхідно передбачити мінімальну висоту до низу перекриття – 8,4 м та, відповідно до цього значення, висоту до позначки основи рейки підкранового шляху – 6,15 м.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

Отже, для започаткування стартап-проекту, слід ретельно проаналізувати сутність запропонованої ідеї, потенційні сфери застосування, ключові переваги, які отримає споживач продукту, а також унікальність розроблюваного стартапу, що стосується виробництва балки підйомного механізму, порівняно з існуючими аналогами.

Перші три аспекти детально розглянемо та проаналізуємо, використовуючи таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення дешевої та довговічної технології виготовлення балки підйомного механізму	1. Будівельний сектор	1. Резистентність до агресивних середовищ, здатність витримувати високі статичні навантаження. Низька ціна виготовлення
	2. Машинобудівельна промисловість	2. Зменшення витрат на робочу силу, точне позиціонування вантажу, швидке обслуговування, тривалий час служби балки
	3. Енергетичний сектор	3. Можливо використовувати балку як стропило, або стійок в наземних сонячних системах (Bifacial систем) з підвищеною стійкістю до навантажень та більшим кроком стійок, використання в сонячних системах з зміною кута та високою точністю

Визначимо перелік ключових техніко-економічних показників, а також властивостей і характеристик, які притаманні цій ідеї.

1. Економічність – Виготовлення зварювальної конструкції відбувається із використанням передового обладнання. Це дає змогу забезпечити надійні зварні з'єднання, що сприяє зменшенню витрат на електроенергію та матеріали для зварювання. Результат – зниження собівартості продукту в порівнянні з аналогічними рішеннями. У свою чергу, вартість обслуговування, експлуатації та

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Войтенко О.С.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Глуценко Я.І.</i>				92	124
<i>Н. контр.</i>		<i>Лисак В.В.</i>			<i>Розроблення стартап проекту</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Квасницький В.В.</i>					
					<i>КПІ ім. Ізгоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е.О. Патона</i>		

ремонту залишається на низькому рівні, не збільшуючи фінансове навантаження на споживача.

2. Надійність – Гарантується високою якістю зварних з'єднань, що досягається завдяки сучасному обладнанню та механізованим засобам, які забезпечують якісне формування зварного шва.

3. Енергоефективність – Зварювальне виробництво ведеться на сучасному устаткуванні, що сприяє значному скороченню споживання електроенергії у порівнянні з альтернативними рішеннями.

4. Точність обробки – Відхилення від заданих розмірів суттєво мінімізовано завдяки застосуванню плазмового різання напівфабрикатів на складові деталі.

5. Обсяг виробництва – Завдяки добре розробленій технологічній карті виготовлення балки підйомного механізму, а також використанню передового зварювального обладнання та засобів механізації й автоматизації, продуктивність виготовлення балки значно збільшилася.

Перейдемо до визначення попереднього кола конкурентів, що спеціалізуються на виробництві балок підйомного механізму або їхніх аналогів:

Київський завод ПТО (Україна) – один зі українських лідерів у виробництві підйомного обладнання.

ТОВ «УЕМК» (Україна) – компанія, що спеціалізується на виготовленні компонентів мостобудівного обладнання.

Mazzella Companies (США) – американський виробник підйомного обладнання, балок, алюмінієвих та сталевих прогонів.

Розгляньмо та зіставимо можливі техніко–економічні переваги нашої ідеї з тим, що пропонують конкуренти. Сформуємо перелік техніко–економічних властивостей та визначимо їх сильні, слабкі й нейтральні риси, використовуючи таблицю 5.2.

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 – Сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту

№, п/п	техніко–економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Київський завод ПТО	ТОВ «УЕМК»	Mazzella Companies			
1	Висока корозійна стійкість	S	S	W	W			+
2	Низька ціна виготовлення	W	N	N	S			+
3	Якість зварного шва	S	S	S	S		+	
4	Швидкість процесу	S	S	N	W			+
5	Створення функціональної поверхні	W	S	W	W	+		
6	Стійкість до статичних навантажень	N	S	W	N		+	
7	Стійкість до гнучких навантажень	N	W	S	N		+	
8	Гнучкість використання	N	W	N	S		+	
9	Точність виготовлення	N	S	W	S		+	
10	Вимоги до складності обладнання	W	S	N	S			+

Примітка: S (сильні) – показники, що мають кращі значення, ніж у конкурентів; N (нейтральні) – показники, що мають аналогічні значення; W (слабкі) – показники, що мають гірші значення.

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних рис і властивостей концепції майбутнього товару слугує основою для оцінки його конкурентоздатності. Зробивши порівняльний аналіз, можна дійти висновку, що технологія складання–зварювання балки, що розробляється має суттєві переваги перед наведеними аналогами в високій корозестійкості, швидкості процесу, відповідно і низькій ціні, попри дешеве та доступне всім обладнання.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах технологічного та економічного аналізу технології розробки балки підйомного механізму, для зменшення витрат при виробництві, доцільно використовувати перевірене часом обладнання, що буде значно дешевше при закупівлі. А саме підвісний автомат для зварювання під шаром флюсу, двостійковий горизонтальний кантувач, та зварювальний випрамляч.

Ця технологія виготовлення металевих конструкцій використовується відповідає сучасним рівню розвитку галузі матеріалознавства та зварювання, та лише потребує розрахунків на оптимальний зварювальний струм і вольтаж для зварювання, що була розрахована в попередніх пунктах.

Дана технологія не має обмежень за патентами, та за наявності коштів на устаткування та матеріали можлива в використуванні автору проекту за табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Опис ідеї проекту	Технологія реалізації ідеї проекту	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення дешевої та довговічної технології виготовлення балки підйомного механізму	Зварювання під шаром флюсу з обертанням деталі в кантувачеві	Застосовуються наявні та дешеві методи зварювання та його устаткування	Розробку можна вважати патентно чистою
2		Складання та фіксування деталей конструкції за допомогою універсальних засобів складання	Наявна	Розробку можна вважати патентно чистою
3		Використання механізованого оснащення для кантування конструкції у найбільш ефективне для зварювання положення.	Наявна	Розробку можна вважати патентно чистою
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Розробка технології зварювання балки підйомного механізму.				

Отже на основі технологічного аудиту можна зробити висновок, проект може бути реалізованим та підлягати реалізації з використанням наявних і доступних технологій зварювання, складання, маніпулювання.

За наявності фінансування практична реалізація є питанням часу. Ця ідея може бути втілена з технічного погляду, та використовує сучасні методи зварювання металевих конструкцій.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту

Здійснимо аналіз попиту та відобразимо результати в таблиці 5.4, з оглядом на показники:

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап–проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	200–250 млн грн*рік ⁻¹ (сукупний ринок зварювального обладнання, серійне та масове виробництво металевих деталей)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Технічні регламенти, сертифікація швів, витрати на устаткування
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ EN ISO 15614-1, технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Сертифікація швів за технічними умовами галузі
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15–20% для машинобудівних підприємств, та 8–12% для енергетичного сектору. Що працюють з серійним та масовим виробництвом.

На даний момент ринок зварних конструкцій демонструє стійкий інтерес від будівельних та машинобудівних компаній. В той же час, число учасників на ринку невелике, що відкриває можливості для ідеї закріпитися. Основними перешкодами є сертифікація товарів та дотримання стандартів.

Додаткова цільова аудиторія ідеї – виробники вантажопідіймального устаткування, ті, хто зводить мости, а також займається спорудженням конструкцій

у промисловому секторі. Їм потрібні балки підйомного механізму, які слугуватимуть довго, витримуватимуть знос та перепади температур та жорсткі корозостійкі властивості, що зумовлює сталий попит.

Визначимо потенційні клієнтські сегменти, їхні ключові особливості та складемо попередній перелік вимог до продукту для кожного з сегментів у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Дешеве виробництво балки підйомного механізму	Малі виробничі цехи Машинобудівна промисловість (підйомні механізми, компонування валів) Енергетичний сектор	Часта проблема в потребі заміни деталей. Знос отворів валу.	Надійність шва та його довговічність. Низька ціна, висока продуктивність виготовлення. Індивідувальне виробництво
2	Забезпечення корозестійкості, міцності при статичному навантаженні та роботи з вібраційними навантаженнями	Машинобудівна промисловість (робота з мастилами) Будівельний сектор (робота з сумішшю бетону, повітрям. Використання в якості обрешітки чи стропил)	Дешеві варіанти корозостійких балок не відповідають стандартам по навантаженню, та стійкості до агресивних середовищ	Висока міцність конструкції, низька ціна. Резистентність до агресивних середовищ.
3	Швидкий та зручний монтаж, або заміна деталі	Інсталювальники, монтажні підрозділи	Складність монтажу, або заміни виведених з придатності деталей	Простота конструкції, низька вага та габарити деталі

Таблиця 5.5 дозволяє визначити ключові групи ймовірних клієнтів стартапу та виокремити їхні очікування від продукції. Перша група охоплює малі виробничі майстерні та компанії машинобудівної галузі, що застосовують підйомні

механізми, системи компонування валів та інші вузли, де суттєве значення має часта заміна деталей внаслідок зносу. До цієї ж категорії можна зарахувати енергетичний сектор, зокрема підприємства, які виготовляють та встановлюють системи регулювання кута нахилу сонячних панелей. Для цієї аудиторії ключовим чинником є надійність шва, тривалість служби деталі, а також низька вартість та можливість індивідуального виготовлення на замовлення. Вони часто стикаються з необхідністю термінової заміни зношених деталей, тому очікують високої продуктивності та легкості виготовлення.

Друга група клієнтів – це представники машинобудівної промисловості, які працюють із мастильними середовищами, а також підприємства будівельного сектора, де важлива стійкість деталей до агресивних впливів – бетону, пилу, вологи, перепадів температур. У цьому випадку основна потреба – забезпечення стійкості до корозії та міцності конструкції в умовах як статичного, так і динамічного (вібраційного) навантаження. Клієнти цієї категорії сподіваються від продукту на стабільну роботу в умовах підвищеного зносу, витривалість, відповідність стандартам безпеки, а також високу опірність деформаціям та навантаженням. Вони часто зустрічаються з проблемою невідповідності пропозицій на ринку умовам їх експлуатації, тому обирають продукцію, здатну витримувати тривале агресивне середовище без втрати функціональності.

Третя група потенційних клієнтів представлена монтажними організаціями, інсталяторами та фахівцями, які працюють з готовими вузлами, для яких важливими є не тільки функціональність, а й зручність встановлення чи заміни. Тут основною перевагою стає простота конструкції, невелика вага виробу та компактність, що дає можливість ефективно працювати в обмежених умовах, часто без використання важкого інструменту. Важливою характеристикою для них є можливість швидкої заміни елементів без демонтажу значної частини системи, тому легкість та ергономічність – ключові критерії вибору.

Таким чином стартап–проект має широкий спектр потенційних клієнтів. Спільними для всіх є висока якість, міцність і надійність швів, однак у різних сегментах акцент робиться або на стійкості до корозії, або на можливості масового виготовлення за низькою ціною, або на зручності в монтажі. Відповідно, продукт повинен мати адаптивні параметри, які можна підлаштувати під індивідуальні потреби замовника, що створює додаткову конкурентну перевагу на ринку.

На базі SWOT–матриці обираємо SO–стратегію, основна ідея якої полягає в максималізації сильних сторін та ринкових можливостей (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 – SWOT аналіз стартап–проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Простота реалізації та низька ціна зварювального обладнання.</p> <p>Доступність технологій.</p> <p>Висока продуктивність автоматизованих систем, низька ціна виробництва деталі.</p> <p>Корозестійкість матеріалу.</p> <p>Висока якість формування шва.</p> <p>Висока міцність при статичних та вібраційних навантаженнях.</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Потреба в підігріві швелерів перед зварюванням.</p> <p>Нерентабельність одиничного та малосерійного виробництва.</p> <p>Потреба в сертифікації зварювальних швів.</p>
<p>Можливості:</p> <p>Постійний попит в заміні зношених деталей.</p> <p>Попит в машинобудівному виробництві.</p> <p>Делокалізація виробництва.</p>	<p>Загрози:</p> <p>Наявність прямих конкурентів на внутрішньому ринку.</p> <p>Жорсткі стандарти якості та сертифікацій.</p>

Обрана технологія ґрунтується на зварюванні під шаром флюсу та зварювання в CO₂, використовуючи просте та доступне обладнання (кантувач, зварювальний підвісний автомат, напівавтомат зварювальний, випрямляч, та ін.). Це обладнання не вимагає значних капіталовкладень, але забезпечує високу якість шва, значну продуктивність і низьку собівартість виробів. Це вказує на технічну реалістичність проекту та можливість його запуску в найближчій перспективі з мінімальним стартовим фінансуванням. Ці технології захищені від патентних

обмежень, тобто не обтяжені діючими охоронними документами та може вільно впроваджуватись.

В ході технічного аналізу було розроблено та економічно оцінено продуктивність та ціну зварювання 1 погонного метру шва (див. п.1.10, 1.11 та 1.14). Порівняно з аналогами продуктивність виробництва знаходиться на межі максимально доступного на даний момент написання дипломного проекту. А ціна виготовлення менша ніж у конкурентів близько на 28%, якщо уникнути стандартну маржу при виготовленні металоконструкцій в 120% буде свідчити про зменшення ціни від 10% до 12%. Це все досяглося завдяки збільшенню продуктивності процесу, та використанням автоматизованих систем на межі максимальної швидкості зварювання.

Корозестійкість досягається завдяки основному матеріалу що використовується, а саме 15ХСНД що являється низьколегованою сталлю. Простими словами є нержавійкою.

Для виробництва металевих конструкцій, у тому числі створення балки підйомного механізму, властива стабільна потреба в заміні зношених складових. Внаслідок інтенсивної експлуатації вантажопідйомного устаткування відбувається природне зношування деталей, зокрема балок, що зазнають великих навантажень. Це вимагає систематичного технічного обслуговування та оновлення конструкцій з метою гарантування безпеки та ефективності роботи. Виготовлення нових балок підйомного механізму з використанням сучасних технологій та матеріалів дає змогу збільшити надійність системи та подовжити термін її служби.

В свою чергу ціна та доступність обладнання дозволяє створювати децентралізовані цехи в різних містах, що дозволяє мінімізувати витрати на логістику деталей в майбутньому.

Ринок зварних металевих конструкцій відзначається стабільністю та тенденцією до зростання. Але з точки зору загроз на ринкового середовища, проєкт

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

демонструє такі загрози, особливо в секторах будівництва, енергетики та машинобудування, так як конкуренція на внутрішньому ринку присутня, кількість основних гравців обмежена, що створює простір для нових учасників, але показує монополістичне положення наявних виробників.

Варто врахувати й об'єктивні бар'єри, які можуть виникнути. Серед них – необхідність сертифікації зварних швів згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 15614–1 та галузевими технічними умовами, що потребує додаткових витрат часу та фінансів. Також слід враховувати, що одиничне або дрібносерійне виробництво з використанням цієї технології може бути малорентабельним, тому проєкт доцільно орієнтувати на середні або великі партії продукції, виробництво якої можливе на підприємствах із відповідною інфраструктурою.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						101
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – ключовий елемент кожного виробничого циклу, особливо коли йдеться про зварювання та монтаж складних об'єктів, зокрема, балок підйомного механізму. Процес зварювання пов'язаний з численними ризиками, що здатні спричинити тяжкі ушкодження або професійні захворювання. До таких належать вплив електричного струму, теплового випромінювання, електромагнітних полів, токсичних сполук, а також фізичних факторів, як–от шум, вібрація і механічні травми.

Мета цього розділу полягає у реалізації комплексного підходу до дослідження та впровадження заходів з охорони праці під час складання та зварювання балки підйомного механізму. Основні завдання цього розділу включають.

Визначення та оцінка небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що притаманні процесу зварювання та монтажу.

Встановлення нормативних вимог безпеки та гігієни праці, що підлягають неухильному дотриманню.

Розробка технічних рішень для гарантування безпеки праці на всіх етапах технологічного процесу.

Запобігання виникненню пожеж та вибухів на виробництві.

Завдяки системному підходу до охорони праці, який передбачає аналіз шкідливих факторів, впровадження інженерних рішень та дотримання нормативних вимог, існує можливість значно зменшити ризики виробничих травм та створити безпечні умови праці для кожного працівника.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Охорона праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Войтенко О.С.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Левченко О.Г.</i>					102	124
<i>Н. контр.</i>		<i>Лисак В.В.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е.О. Патона</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Квасницький В.В.</i>						

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)

Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ) під час складання та зварювання балки підйомного механізму дозволяє прогнозувати та гарантувати безпеку здоров'я працівників та їх благополуччя.

Тож розглянемо та окреслимо ключові шкідливі та небезпечні фактори, їх джерела, параметри, а також зіставимо їх із нормативними вимогами.

У процесі складання та зварювання конструкції балки підйомного механізму, на робітника доволі інтенсивно впливають такі шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

До хімічних факторів відносяться шкідливі хімічні речовини (ШР) у будь-якому агрегатному стані, що можуть потрапляти в організм і розчинятися у біологічних рідинах.

Вплив шкідливих речовин (хімічний фактор) – працівник, за технологічним процесом задіяний на етапах зварювання конструкції, зазнає шкідливого впливу газів та аерозолів, які утворюються під час складання та зварювання балки підйомного механізму механізованим зварюванням плавким дротом в середовищі захисних газів (CO_2) та використанням зварювання під шаром флюсу, що, у свою чергу, спричиняє додаткову запиленість приміщення внаслідок засмокування флюсу з місця зварювання у бункер та його подавання до місця зварювання. Гранично допустима концентрація згідно гігієнічних регламентів [25]. Для зварювальних аерозолів залежить від їх складу, для оксида заліза – $6 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$, для марганцю – $0,2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ (4 клас безпеки), для хрому – $0,01 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ (2 клас безпеки). До фізичних загроз під час виготовлення балки підйомного механізму належать - ризик механічних ушкоджень, опіки, шум, вібрація, статична електрика, підвищена напруга, можливість замикання електричного кола через тіло людини, іонізуюче та електромагнітне середовище, ультрафіолетове (УФ) та інфрачервоне (ІЧ) випромінювання, а також мікроклімат. Окремо враховуємо світлові фактори, як-от недостатнє освітлення та надмірна яскравість.

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними джерелами зазначених небезпечних виробничих факторів під час виготовлення балки підйомного механізму є:

- етап правлення напівфабрикатів. На цьому етапі можливе виникнення підвищеного шуму та вібрації. Гранично допустимий рівень, згідно з [26], шуму на робочому місці становить 85 дБ;
- етап розкрою напівфабрикатів на деталі з використанням плазмового різання металу. На цьому етапі присутні небезпечні фактори: шум, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, опіки, розбрикування розплавленого металу;
- етап зварювальних робіт, що поєднує в собі всі вищезазначені небезпечні фактори. Важливо також забезпечити належний мікроклімат, який характеризується температурою, вологістю та швидкістю руху повітря в робочій зоні. Згідно з [27], оптимальні параметри мікроклімату для холодного періоду року: температура від 18 °С до 22 °С, відносна вологість від 40 % до 60 %, швидкість руху повітря від 0,1 м*с⁻¹ до 0,3 м*с⁻¹;
- етап перевірки зварювальних швів дефектоскопом, що спричиняє підвищений вплив ультразвукового випромінювання на працівника. Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці.

6.2 Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці

6.2.1 Вимоги до технологічних процесів

Отже, давайте проаналізуємо вимоги до майбутніх зварювальних технологій, які застосовуються для виконання складально–зварювальних операцій конструкції балки підйомного механізму:

Механізоване дугове зварювання в захисних газах. Місцевими повітроприймачами необхідно вилучати повітря:– під час дугового зварювання в інертних газах та сумішах газів, а також під час автоматичного зварювання в СО₂ – не менше ніж 150 м³*год⁻¹.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

Експлуатація балонів, ємностей із стисненим та зрідженим газом, рамп повинна відбуватися згідно з вимогами ДНАОП 0.00-1.07-94 [28].

Балони високого тиску необхідно розташовувати на відстані не менше 5 м від зварювального пальника та на 1 м від нагрівальних приладів. За наявності нагрівальних приладів із захисними екранами для балонів, дистанція від балона до екрана має бути щонайменше 0,1 м.

Дугове зварювання під флюсом

Дугове зварювання під флюсом на стаціонарних установках вимагає системи автоматичної подачі флюсу до зварювальної ванни, пристрою для висмоктування флюсу з накопичувачем та фільтрувальної системи.

Під час дугового зварювання під флюсом із використанням напівавтоматів або автоматів, необхідно застосовувати переносні або пересувні пристрої для висмоктування флюсу. Ручне видалення флюсу дозволено тільки у випадках, коли використання флюсовідсмоктувачів неможливе. У системах збору та подачі флюсу, повітря, що видаляється в приміщення або назовні, мусить бути очищене від пилу. При засипанні флюсу в бункери потрібно вжити заходів, аби уникнути забруднення повітря у робочій зоні.

Для безпечного пересування автоматів рейковими коліями потрібно контролювати їхню надійність та правильність закріплення на виробач чи стендах, а також міцність кріплення зворотних та бокових роликів ходового механізму. Під час видалення шлаку працівник зобов'язаний використовувати необхідні засоби індивідуального захисту згідно з ДСТУ 7239:2011 [29].

Плазмове зварювання, різання та напилення металів повинні виконуватися відповідно до вимог НПАОП 28.5-1.02-07 [30]. Для цього виділяють окремі приміщення або ізольовані сектори цеху. Допоміжні процеси для плазмової обробки (механічна обробка, очищення, підготовка порошків тощо) слід виконувати поза основними зонами, де застосовується плазмова технологія.

Пристрої локальної витяжної вентиляції треба інтегрувати з технологічним обладнанням. Ручну плазмову обробку необхідно здійснювати в укритті типу витяжної шафи, внутрішні поверхні якої мусять мати звукопоглинальне покриття.

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Установки високочастотної низькотемпературної плазми підлягають екрануванню.

Балони із стисненими газами треба розміщувати поза зоною плазмової обробки, передбачивши подальше транспортування газу до газорозподільного щита.

У приміщеннях, де зберігається водень, обов'язково необхідно обладнати припливно–витяжну вентиляцію з кратністю повітрообміну щонайменше 10 разів на годину. Концентрацію водню в повітрі приміщення потрібно контролювати автоматичними газоаналізаторами.

Задля уникнення ураження електричним струмом, на додаток до загальних заходів електробезпеки, необхідно контролювати функціонування кнопових пристроїв дистанційного увімкнення та вимкнення установки з метою запобігання випадковому запуску обладнання, а також блокуючих пристроїв, що забезпечують автоматичне відключення електроживлення при припиненні подачі охолоджуючої води, та блокування захисного кожуха, що закриває струмопідвідні елементи осцилятора, з відключенням електроживлення при його зніманні.

Усі операції з плазмової обробки мають виконувати щонайменше двоє працівників.

6.2.2 Вимоги до виробничих приміщень

Для забезпечення ефективного та безпечного процесу складання та зварювання балки підйомного механізму, необхідно дотримуватись наступних вимог до виробничих приміщень.

Відстань між установками повинна бути не менше 1 метра. Те ж саме стосується відстані від установок до стін, колон та інших споруд. Ширина проїздів та проходів повинна відповідати чинним будівельним нормам та нормам технологічного проектування заготівельно–зварювальних цехів ДБН В.2.2-28:2010 [31]. Згідно з цим нормативним документом, загальноприйнятою шириною для

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

проходів по периметру робочого місця, стенда, стола повинна бути не менш 1 метра.

Робочі місця для дугового зварювання повинні бути обладнані захисними стаціонарними або переносними світлонепроникними огорожами з матеріалів, які не піддаються термічному впливу. Висота цих огорож повинна бути не менше 2,5 метрів для забезпечення надійного захисту. Стаціонарні робочі місця для зварювання металоконструкцій масою понад 15 кг слід обладнати вантажопідйомними пристроями.

Підлога має бути виготовлена з матеріалів, що не горять і мають низьку теплопровідність. Вона повинна мати рівну, не ковзку поверхню.

Виробничі приміщення для зварювання балки підйомного механізму повинні бути обладнані загальнообмінною припливно–витяжною вентиляцією, яка забезпечує приплив свіжого повітря з вулиці та витяжку відпрацьованого повітря. Витяжна система має відповідати вимогам нормативного документа, а саме ДБН В.2.5-67:2013 [32].

Освітлення цеху, ділянок та робочих місць, де виконуються роботи з дугового зварювання, має відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 [33]. При дуговому зварюванні всередині замкнених і важкодоступних просторів освітлення слід здійснювати за допомогою зовнішніх джерел світла спрямованої дії або місцевого освітлення з напругою не більше 12 В, забезпечуючи освітленість робочої зони не менше 30 лк.

6.2.3 Вимоги до організації робочих місць

Організація та облаштування робочих місць для зварювання мають відповідати вимогам нормативних документів, зокрема НПАОП 28.5-1.02-07 [34]. Основні вимоги включають.

Стаціонарні робочі місця для працюючих в сидячому положенні повинні бути укомплектовані робочими кріслами з регульованими параметрами. Сидіння і спинка крісла повинні бути виконані з негорючих матеріалів, які легко

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

очищуються, з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Постійні робочі місця, які живляться електричною енергією від багатопостових джерел, повинні бути обладнані щитками з сигнальною лампою, що показує зварнику на наявність або відсутність напруги у зварювальному ланцюгу.

Кабіни на два і більше постів, а також робочі місця на поточно–конвеєрних лініях повинні бути розділеними захисними ширмами, що захищають зварників від випромінювання дуги, бризок розплавленого металу та забезпечують достатній простір кожному працюючому. На нестационарних робочих місцях електродугового зварювання рекомендується застосування мобільного захисного екрана.

Обладнання має розташовуватися таким чином, щоб забезпечити безпечні проходи. Ширина проходів повинна складати:

- між стіною будинку та обладнанням – не менш 0,5 м;
- між стаціонарними джерелами живлення – не менш 0,8 м;
- між стаціонарним та багатопостовими джерелами живлення зварювання під шаром флюсу, а також рухомими механізмами та деталями, що переміщуються – не менш 1,5 м;
- між обладнанням та місцями складування – не менш 1,0 м.

6.2.4 Вимоги до вентиляції

Вимоги до вентиляції у виробничих приміщеннях, де проводяться зварювальні роботи, визначаються таким чином.

Застосування загальнообмінної вентиляції передбачається як додатковий захід, коли місцеве видалення забруднень виявляється недостатнім. Її слід використовувати спільно з місцевими вентиляційними системами, які призначені для ліквідації шкідливих речовин, що не захоплюються локальними витяжними пристроями.

Ефективність захоплення шкідливих речовин місцевими витяжними системами: для витяжних шаф – не більше 90%, для інших витяжних пристроїв –

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

не більше 75%. Залишок шкідливих речовин має ліквідуватися загальнообмінною вентиляцією.

Приміщення, де зберігається водень, повинні бути обладнані приточно-витяжною вентиляцією з кратністю повітрообміну, що дорівнює або перевищує 10. Крім того, необхідно постійно контролювати концентрацію водню в повітрі за допомогою автоматичних газоаналізаторів.

При плазмовій обробці потрібно використовувати витяжні шафи з внутрішнім покриттям, що поглинає звук. Місцева вентиляція повинна бути автоматично синхронізована з роботою технологічного обладнання.

У холодну пору року повітря у приміщенні повинне підігріватись до температури не менше +18°C для забезпечення комфортних умов праці.

6.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

6.3.1 Електробезпека зварювальних робіт

Основні причини ураження персоналу електричним струмом містять:

- дотик до струмопровідних частин, що перебувають під напругою у робочому стані;
- дотик до струмопровідних частин, які випадково опинились під напругою;
- контакт з неструмопровідними частинами, що стали під напругою внаслідок пошкодження ізоляції;
- поразка електричною дугою та напругою кроку.

6.3.2 Вимоги до зварювального обладнання

Електричне обладнання, яке використовується для зварювання, має відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.32-01[35] та ДНАОП 0.00-1.21-98 [36].

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

Корпус будь-якої електрозварювальної установки необхідно заземлювати. Захисне заземлення та занулення здійснюється відповідно до ПУЕ–2017.

6.3.3 Правила експлуатації зварювального обладнання

Окремі елементи зварювального кола, а також відрізки зварювальних кабелів при збільшенні довжини повинні з'єднуватися роз'ємними з'єднувальними муфтами. Заборонено з'єднувати зварювальні кола скручуваннями з оголеним кабелем.

Струмopідвідні кабелі зварювального кола повинні бути ізолювані по всій довжині та захищені від механічних ушкоджень.

Зворотнім проводом, що з'єднує зварювальні вироби з джерелом зварювального струму, можуть слугувати гнучкі, а також металеві шини потрібного перетину, зварювальні плити і сама зварювана конструкція.

Використовувати як зворотній провід мережу заземлення, металеві будівельні конструкції будівлі, комунікації та не зварювальне обладнання заборонено.

6.3.4 Заходи для уникнення ураження електричним струмом

Під час зварювальних робіт критично важливо використовувати ізоляційні матеріали для захисту робочих поверхонь. Наприклад, гумові килимки чи інші діелектричні настили суттєво знижують ймовірність ураження електричним струмом, якщо відбудеться випадковий контакт з провідними елементами. Оператор має бути одягнений у спеціальний захисний одяг, який гарантує необхідний рівень електроізоляції. До нього входять діелектричні рукавиці, взуття та комбінезон, виготовлений з вогнестійкої тканини.

Перед початком кожної робочої зміни потрібно ретельно перевіряти зварювальне обладнання. Особливу увагу слід приділяти стану ізоляції проводів, переконавшись у відсутності оголених струмопровідних частин, надійності з'єднань, цілісності кабелів живлення, та вживати заходів для запобігання коротким

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

замиканням. Ці перевірки повинні проводитися відповідально, з обов'язковою фіксацією результатів у відповідному журналі технічного огляду.

Категорично не дозволяється проводити будь-які ремонтні роботи зварювальних машин, зокрема контактного зварювання, або їх складових, коли на них подано напругу. Такі дії становлять серйозну загрозу життю та здоров'ю персоналу.

Суворе дотримання цих вимог та правил техніки безпеки дозволяє значно зменшити ризик травмування працівників, запобігти нещасним випадкам та забезпечити безпечне робоче середовище під час зварювальних операцій.

6.4 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту

Працівники, залучені до робіт з дугового та електрошлакового зварювання, зобов'язані мати засоби індивідуального захисту відповідно до галузевих стандартів. Це залежить від характеру впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, а також з урахуванням вимог ДСТУ 7239:2011.

6.4.1 Захист органів дихання

Вироби та призначення засобів індивідуального захисту органів дихання повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 133:2005 [37].

6.4.2 Захист очей та обличчя

При зварюванні відкритою дугою, щоб убезпечити очі та обличчя від випромінювання дуги, розбризкування розплавленого металу та іскор, необхідно використовувати щитки відповідно до ДСТУ EN 175-2001 [38] зі світлофільтрами за ДСТУ EN 169-2001 [39].

Світлофільтри класифікуються на 19 класів і підбираються відповідно до типу зварювання та сили зварювального струму. Клас світлофільтра визначається

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівнем захисту від оптичного випромінювання зварювальної дуги та варіюється від 1,2 до 16.

При виконанні робіт з дугового зварювання під флюсом, електрошлакового зварювання, а також при огляді та зачищенні зварних швів необхідно використовувати спеціальні прозорі окуляри.

6.4.3 Захист рук

Для захисту рук необхідно використовувати рукавиці згідно з ДСТУ EN 420-2017 [40].

6.4.4 Додаткові заходи захисту

Працівники зобов'язані використовувати спецодяг та взуття, котрі гарантують безпеку від температурних і механічних загроз.

Для захисту від шуму можуть бути використані засоби захисту слуху, як навушники або беруші.

6.5 Пожежна безпека

Пожежна безпека під час зварювальних робіт – надзвичайно важлива складова, адже ці процеси супроводжуються високими температурами, іскрами та виділенням легкозаймистих газів. Згідно з методичними порадами, вимоги пожежної безпеки передбачають.

6.5.1 Категорія приміщень за вибухопожежною небезпекою

Приміщення, де проводяться зварювальні операції, згідно з вимогами щодо вибухопожежної безпеки, відносяться до категорії Г. Це передбачає, що в цих приміщеннях відбувається обробка негорючих речовин та матеріалів у гарячому,

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розжареному або розплавленому станах. Ці процеси обробки супроводжуються виділенням променевого тепла, іскор та полум'я, а також застосуванням горючих газів, рідин або твердих речовин, які спалюються або утилізуються як паливо.

6.5.2 Основні заходи пожежної безпеки

Уникнення спалахів ізоляції: Гарантується найвищим струменевим захистом. Запобігання виникненню горючого середовища: досягається завдяки надійній герметизації обладнання, обмеженню використання та зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин.

Пожежна сигналізація: застосування систем пожежної сигналізації з датчиками (на кшталт ІДФ-І, ДПД та інших) для оперативного виявлення пожежі.

Вогнегасники: у приміщеннях необхідно встановити вогнегасники класу пожежі В (ОХП-10, ОХВП-10, ОВП-7, ОХ-7, ОП-10А) та класу пожежі Е (вогнегасники типу УО, ОП-10А). Вибір типу та кількості вогнегасників виконується згідно з НАПБ Б.03.002-2007 [41].

Специфічні заходи безпеки для зварювальних робіт

Електростатична іскробезпека: під час організації технологічного процесу враховуються усі вимоги електростатичної іскробезпеки.

Аварійне зливання та втручання: передбачається аварійне зливання пожежонебезпечних рідин та втручання горючих газів з апаратури для уникнення небезпечних ситуацій.

Вогнестійкість конструкцій: мінімально допустиме обмеження вогнестійкості конструкцій становить 2,5 години, максимально допустиме обмеження розповсюдження вогню для внутрішніх стін – 25 см.

6.5.3 Контроль та перевірка систем пожежної безпеки

Регулярні інспекції: пожежні системи безпеки потребують періодичного тестування на функціональність та відповідність нормам.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підготовка кадрів: працівники мають бути навчені коректному використанню засобів пожежогасіння, а також володіти знаннями щодо порядку дій у випадку виникнення пожежі.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		114

ВИСНОВКИ

Результатом виконання дипломного проекту було розроблено повноцінну технологічну концепцію виготовлення зварної конструкції – балки підйомного механізму. На основі аналізу конструктивних особливостей виробу, умов експлуатації та технологічних вимог, обґрунтовано вибір методу зварювання, технологічного обладнання та засобів складально–зварювального спорядження

Здійснено всебічний конструктивно–технологічний розбір виробу, аргументовано вибір методів зварювання залежно від хімічного складу сталі, товщини металу, розташування швів та факторів доступності. Зокрема, взято до уваги специфіку зварювання низьколегованої сталі 15ХСНД, що демонструє задовільну зварюваність за умови дотримання технологічної дисципліни, включно з попереднім підігрівом та коректним підбором зварювальних матеріалів.

Увагу зосереджено на підборі зварювальних дротів (Св-08НГ2С, Св-10НМА), флюсу АН-60, а також обґрунтовано раціональність використання автоматичного зварювання під флюсом для протяжних стикових швів і зварювання в середовищі CO₂ для таврових з'єднань з обмеженим доступом. Всі розрахунки режимів зварювання виконано з урахуванням чинних стандартів. Визначено параметри сили струму, напруги, швидкості подачі дроту та витрати газу та флюсу, що дозволяє забезпечити стабільність процесу та якість з'єднань.

Розглянуто технологічну послідовність складання та зварювання, спроектовано компонування робочого місця, враховуючи особливості геометрії деталей і потребу в фіксації елементів. Окремо проаналізовано зручність доступу зварювального обладнання до вузлів з'єднання, що безпосередньо впливає на якість шва. Усі технічні рішення мають інженерне обґрунтування та враховують потенційні труднощі, які можуть виникнути під час серійного виробництва конструкції.

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. ДСТУ EN ISO 9692-1 - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://uscc.ua/uploads/page/iUPes/normativnye%20dokumenty/dstu/vigotovlennya-mk-mizhnarodna-gilka-standarty/79-dstu-en-iso-9692-1-2014-zvaryuvannya-ta-spor-dnen-procesi.pdf> (дата звернення 21.05.2025) – Назва з екрана.
9. Технічні характеристики випрямляча зварювального ВДУ-506 - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://www.et.ua/products/describe/vdu506.html> (дата звернення 21.05.2025) – Назва з екрана.
10. Вилковий навантажувач Toyota 02-8FDF30 2007 р. 9556,8 м/г., № 3606 506 - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : https://pack-trade.com/uk/nproduct/vilochnyy_pogruzchik_toyota_02_8fdf30_2007_g_9556_8_m_ch_3606_ar3rd/ (дата звернення: 21.05.2025) – Назва з екрана.
11. Строп ланцюговий 4СЛ G80 2,36 т. - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://takelag-system.com.ua/stropy-ua/stropy-lantsyugovi-klas-g80/stropy-lantsyugovi-4sl-g80/4sl-g80-2,36t> – (дата звернення: 21.05.2025) – Назва з екрана.
12. Захоплювач магнітний ТМ ABLE . - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://takelag-system.com.ua/zakhoplyuvachi-ta-traversy/magnitni-zakhoplyuvachi/zakhoplyuvach-magnitnyy-able> – (дата звернення: 21.05.2025) – Назва з екрана.
13. Листопрарна машина Bendmak BPSM 20/18 Робоча довжина 2000 мм Товщина металу 18 мм . - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://svartech.com.ua/ua/p1183680545-listopravilnaya-mashina-bendmak.html> (дата звернення: 21.05.2025) – Назва з екрана.
14. Машина плазмової порізки металу MARLIN TYPHOON - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://marlincnc.com.ua/uk/chpu-mashini-plazmovoyi-ta-gazo-plazmovoyi-rizki-metalu/3-mashina-plazmovoyi-porizki-metalu-marlin-typhoon.html> (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.
15. Підйомно-поворотні зварювальні пристрої (зварювальні столи) - [Електронний ресурс]. / Режим доступу :

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		117

<https://kverb.uaprom.net/ua/p1206991983-reguliruemuj-vysote-svarochnyj.html>

(дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.

16. Зварювальні кантувачі з підйомними центрами - [Електронний ресурс]. / Режим доступу :

https://www.tvagonm.com.ua/catalog/mekhanicheskoe_svarochnoe_oborudovani_e/Headstock_and_tailstock_positioners/ (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.

17. Ультразвуковий дефектоскоп УД3701 - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : priborov/ultrazvukovoj-defektoskop-ud3701.html (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.

18. Шаблон зварювальника УШС-2 <http://standart-m.com.ua/izmeritelnyj-instrument/shablony-svarcshika/shablon-svarcshika-ushs-2?mova=uk> (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.

19. Професійна щіткова машина ТІТАН PSM13120 - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : https://prom.ua/ua/p736500331-professionalnaya-schyotochnaya-mashina.html?utm_source=google_pmax&utm_medium=cpc&utm_content=pmax&utm_campaign=Pmax_cpa_shlifovalnye_mashiny&gad_source=1&gclid=CjwKCAiArfauBhApEiwAeoB7qF3Eg5C9uv5j9b3pfCSF3rreugNTLe3xBLK8X4JKv1If8vONBpbLxoCmYQAvD_BwE (дата звернення: 19.05.2025) – Назва з екрана.

20. Струбцина BESSEY SG60T20M - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : https://rozetka.com.ua/ua/387050442/p387050442/?gad_source=1&gad_campaignid=20077525632&gclid=CjwKCAjwgb_CBhBMEiwA0p3oOODaRzZ9Tn1Laj4eZlcmzPUVX51cr0QR3BOq6kOMNScHdXw1CDuaThoCCiQAvD_BwE (дата звернення 21.05.2025) – Назва з екрана.

21. Автомат для автоматичного зварювання під шаром флюсу та в вугликислому газі А-1416- [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://kzeso.com/ru/catalog/electric-welding-equipment/machines-for-arc->

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		118

28. ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила пристроїв та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском. - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v2744811-12#Text> (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.
29. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0082-13#Text> (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.
30. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів. - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0066-08#Text> (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.
31. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0570738-10> (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.
32. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152 (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.
33. ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. Зміна № 2 - [Електронний ресурс]. / Режим доступу : https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3019121337860883504/2023-01-19/0e05953c-7bab-4137-a2b7-36d067d019b8.pdf (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.
34. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів. / Режим доступу : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=47119 (дата звернення: 22.05.2025) – Назва з екрана.

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[Електронний ресурс]. / Режим доступу :
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48704 (дата
звернення 22.05.2025) – Назва з екрана.

					<i>ЗС-1103.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		122

ДОДАТКИ

					<i>ЗС-11.03.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		123