

**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 зварювання балону високого тиску»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ЗВ–11

Недашківський Олександр Олександрович

(підпис)

Керівник: доцент, к.т.н.,

Попіль Юрій Станіславович

(підпис)

Консультант з стартап–проєкту:

доцент, к.е.н., Глуценко Ярослава Іванівна

(підпис)

Консультант з охорони праці:

зав. каф., професор, д.т.н.,

Левченко Олег Григорович

(підпис)

Рецензент: доцент, к.т.н.,

Блощин Михайло Сергійович

(підпис)

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

Студент

(підпис)

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
(підпис)

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Недашківському Олександр Олександровичу

1. Тема проєкту «**Технологія складання та зварювання балону високого тиску**», керівник проєкту Попіль Юрій Станіславович, доцент, кандидат технічних наук затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р. № 1732–с»

2. Термін подання студентом проєкту 09 червня 2025 р.

3. **Вихідні дані до роботи:** Ескіз зварного виробу (додається). Матеріал виробу – Сталь 09Г2С за ДСТУ 8541:2015. Забезпечення рівномірності зварних з'єднань та відсутності недопустимих дефектів. Річна програма виготовлення виробу –550 шт. Умови виготовлення – цехові , температура експлуатації від –25 до +50 °С.

4. Перелік завдань, які потрібно зробити (зміст пояснювальної записки):

Виконати аналіз конструкції та технології виготовлення балона високого тиску. Обґрунтувати вибір способу зварювання, матеріалів і швів за нормативами. Розрахувати режими зварювання, витрати матеріалів і параметри процесу. Вибрати та адаптувати обладнання, розробити послідовність складання й компонування установки. Визначити методи контролю якості, розміщення оснащення. Надати висновки, оцінити економічний ефект і заходи з охорони праці та НС.

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

1. Загальний кресленик виробу (1 А1). 2. Схема технологічного процесу виготовлення (1 А1). 3. Кресленик для складання балону з днищем (1 А1). 4. Кресленик для складання обичайки (1 А1). 5. Кресленик для зварювання балона з днищем (1 А1). 6. Кресленик зварювальної головки (1 А1). 7. План виробничої площі (1 А1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проєкту	Глушенко Я.І., доц.		
Охорона праці	Левченко О.Г., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Прим.
1	Аналіз літератури за темою проєкту	до 30 квітня	
2	Детальне розроблення і обґрунтування проєктних рішень технологічної частини проєкту	до 20 травня	
3	Розроблення економічної частини проєкту	до 25 травня	
4	Розроблення інженерних рішень з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	до 25 травня	
5	Оформлення графічного матеріалу	до 30 травня	
6	Оформлення пояснювальної записки і підготовки доповіді на захист	до 10 червня	

Студент _____
(підпис)
Керівник _____
(підпис)

Олександр НЕДАШКІВСЬКИЙ
Юрій ПОПІЛЬ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту: 113 сторінки, 19 рисунки, 19 таблиці, 28 джерела інформації, 5 додатки, 7 аркушів графічного матеріалу.

БАЛОН ВИСОКОГО ТИСКУ, АВТОМАТИЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ, СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНА ОСНАСТКА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ОСНАЩЕННЯ, ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ, УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТІВ, СТАРТАП–ПРОЄКТ, НИЗЬКОЛЕГОВАНА КОНСТРУКЦІЙНА СТАЛЬ.

У межах проекту розроблено вдосконалений технологічний процес виготовлення зварного балона високого тиску з високою надійністю та безпекою. Використано автоматизоване дугове зварювання в середовищі $\text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$, що забезпечує стабільну дугу та якісне формування шва.

У роботі обґрунтовано вибір зварювального устаткування, що відповідає вимогам сучасного виробництва за надійністю, енергоефективністю та рівнем автоматизації. Розроблено спеціальну складально-зварювальну оснастку для точного позиціонування деталей і зменшення деформацій під час зварювання.

Оптимізація зварювальних режимів забезпечила якісне проплавлення матеріалу, зниження теплових навантажень і мінімізацію дефектів у швах. Запроваджені інженерні рішення зменшують залежність результатів від кваліфікації персоналу, підвищують автоматизацію та стабільність якості серійного виробництва.

Розрахунки напружено-деформованого стану, а також експериментальні дослідження підтверджують працездатність і ефективність запропонованої технології. Розроблений процес відповідає чинним стандартам та нормативні документам у сфері зварювального виробництва, а також створює передумови для впровадження інновацій у виготовленні ємностей, призначених для роботи під високим тиском.

ABSTRACT

The explanatory report of the diploma project contains 113 pages, 19 figures, 19 tables, 28 information sources, 5 appendices, and 7 sheets of graphic materials.

HIGH-PRESSURE CYLINDER, AUTOMATED WELDING, ASSEMBLY-WELDING FIXTURE, TECHNOLOGICAL PROCESS, MODE OPTIMIZATION, OCCUPATIONAL SAFETY, TOOLING, TECHNO-ECONOMIC JUSTIFICATION, DEFECT FORMATION, STARTUP PROJECT, LOW-ALLOY STRUCTURAL STEEL.

This project presents an improved technological process for manufacturing a welded high-pressure cylinder, ensuring high reliability and operational safety. Automated arc welding in a protective gas environment ($\text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$) is applied, providing stable arc performance and high-quality weld formation.

The study substantiates the selection of welding equipment that meets modern production requirements in terms of reliability, energy efficiency, and automation level. A specialized assembly-welding fixture has been developed for precise positioning of components and minimizing deformations during welding.

Optimization of welding parameters ensured proper metal penetration, reduced thermal loads, and minimized weld defects. The implemented engineering solutions reduce process dependency on personnel skills, enhance automation, and ensure stable quality in serial production.

Stress-strain calculations and experimental studies confirm the performance and effectiveness of the proposed technology. The developed process complies with current standards and regulations in welding production and provides a foundation for innovations in manufacturing pressure vessels.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 КОНСТРУКТОРСЬКО ТЕХНОЛГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БАЛОНУ.....	9
1.1 Опис конструкції балону високого тиску та ТУ на виготовлення.....	9
1.2 Характеристика металу	14
1.3 Оцінка опірності металу зварного з'єднання до утворення тріщин	16
1.4 Складальні одиниці балону високого тиску.....	18
1.5 Характеристика зварних з'єднань	18
1.6 Вибір типових способів зварювання.....	19
1.7 Вибір зварювальних матеріалів	22
1.7.1 Вибір зварювального дроту	23
1.8 Вибір типу шва і форми підготовки кромek	24
1.9 Розрахунок режимів для зварювання.....	25
1.10 Опис технологічного процесу виготовлення балон високого тиску	28
1.11 Обґрунтування необхідності розробки технологічної оснастки.....	31
2 РОЗРОБЛЕННЯ СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ	34
2.1 Технічні вимоги щодо оснастки	34
2.2 Послідовність технологічних операцій складання-зварювання	36
2.3 Розробка принципової схеми пристрою	38
2.4 Компонування складально-зварювального пристрою	48
2.5 Опис роботи складально-зварювального пристрою.....	49
3 КОМПОНУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ	50
3.1 Обґрунтування вибору основного технологічного (зварювального) устаткування.	50
3.2 Обґрунтування необхідності вибору засобів технологічного спорядження (ЗТС) для механізації або автоматизації зварювання одного (або декількох) із зварних швів виробу.	52
3.3 Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок силових елементів засобів механізації та потужності приводного електродвигуна обраного обладнання.....	53

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Балон високого тиску		
Розробив		Недашківський О.О					
Перевір		Попіль Ю.С.					
Н.Контр.		Лисак В.В.					
Затв.		Квасницький В.В.			Літ. Арк. Акрушів 5 113 КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О Патона		

3.4 Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок потужності приводного електродвигуна для механізмів позиціювання та пересування обладнання.....	58
3.5 Опис роботи зварювальної установки	63
3.6 Призначення способу контролю якості виготовлення зварного виробу.....	66
4 ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАНУ ВИРОБНИЧОЇ ПЛОЩІ.....	69
4.1 Визначення типу виробництва.....	69
4.2 Визначення кількості устаткування	69
4.3 Розрахунок чисельності працюючих складально-зварювального цеху	71
4.4 Основні вимоги для планування цеху.....	72
4.5 Визначення необхідних вантажо-підіймальних засобів, проходів, проїздів	74
5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ	75
5.1 Стартап як форма підприємництва	75
5.2 Опис ідеї проєкту	76
5.3 Технологічний аудит ідеї проєкту.....	81
5.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	82
5.5 SWOT-аналіз як стратегічний інструмент проєктного розвитку	88
5.6 SWOT-аналіз проєкту з виготовлення зварних рамних конструкцій в умовах воєнного стану	89
5.7 Розробка стратегій на основі SWOT-аналізу	90
6 ОХОРОНА ПРАЦІ	94
6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ).....	96
6.2 Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці	98
6.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	103
6.4 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту	105
6.5 Пожежна безпека.....	106
ВИСНОВОК.....	108
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	110
ДОДАТКИ.....	113

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку виробничих технологій та підвищення вимог до ефективності промислових процесів, інженерні підходи до проектування, виготовлення та експлуатації конструкцій набувають особливої актуальності. Вони відіграють ключову роль у створенні конкурентоспроможних технічних рішень, інноваційних машин, споруд і складного промислового обладнання. У зв'язку з цим дипломне проектування виступає не лише завершальним етапом навчання, а й важливим інструментом професійного становлення майбутнього інженера. Саме під час розробки дипломного проєкту студент має змогу узагальнити та інтегрувати здобуті теоретичні знання, а також сформувати практичні навички, необхідні для роботи в умовах сучасного виробництва.

Дипломна робота спрямована на формування у здобувача вищої освіти системного підходу до інженерних завдань, що включає технічне моделювання, вибір конструкційних матеріалів, оптимізацію технологічних процесів і забезпечення якості продукції відповідно до чинних технічних регламентів, національних стандартів і норм безпеки.

Метою даної дипломної роботи є практична демонстрація студентом рівня професійної підготовки шляхом виконання комплексного інженерного завдання, яке охоплює всі етапи розробки технологічного процесу. Для реалізації цієї мети передбачено виконання ряду ключових завдань: аналіз умов експлуатації конструкції, обґрунтований вибір матеріалів з урахуванням механічних та фізико-хімічних властивостей, побудова раціонального технологічного маршруту, проектування спеціалізованого зварювального та складального оснащення, а також визначення методів контролю якості, що гарантують відповідність готового виробу заданим характеристикам.

У проєкті детально проаналізовано основні етапи виробництва – від теоретичного аналізу та підбору матеріалів до розрахунку технологічних параметрів зварювання, побудови технологічної схеми та оцінки ефективності запропонованих рішень. Окрему увагу приділено розробці допоміжного

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання для забезпечення точності складання та стабільності процесу зварювання, а також аналізу експлуатаційних властивостей конструкції: її міцності, опору навантаженням, стійкості до впливу зовнішніх факторів і довговічності.

Досягнення поставлених завдань потребує тісної інтеграції теоретичних знань із практичними навичками, активного використання сучасного програмного забезпечення для інженерного моделювання, розрахунків напружено-деформованого стану, перевірки зварних з'єднань на надійність, а також виконання економічного аналізу запропонованої технології. Такий міждисциплінарний підхід дозволяє сформувати у студента аналітичне мислення, здатність до самостійного прийняття технічно обґрунтованих рішень, що є важливими складовими професійної компетентності сучасного інженера.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 КОНСТРУКТОРСЬКО ТЕХНОЛІГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БАЛОНУ

1.1 Опис конструкції балону високого тиску та ТУ на виготовлення

Балон високого тиску – це спеціалізована герметична ємність, призначена для зберігання, транспортування або використання газів під високим тиском, що значно перевищує атмосферний. Залежно від призначення, такі балони можуть бути використані у газовій промисловості, енергетиці, медицині, харчовій галузі, машинобудуванні, а також у лабораторному та виробничому обладнанні. Основними вимогами до конструкції подібних виробів є механічна міцність, герметичність, стійкість до дії внутрішнього тиску, тривала експлуатаційна надійність і відповідність нормам безпеки.

У межах цього дипломного проєкту розглянуто повний цикл виготовлення зварного балона високого тиску з низьколегованої конструкційної сталі 09Г2С відповідно до ДСТУ 8541:2015. Дана марка сталі вирізняється підвищеною міцністю, хорошою зварюваністю, високою ударною в'язкістю при низьких температурах і корозійною стійкістю в атмосферних умовах, що робить її оптимальним вибором для виготовлення відповідальних зварних конструкцій, зокрема балонів.

Проект охоплює основні технологічні етапи виробництва: від підготовки матеріалу й розкроювання листової заготовки до збирання корпусу балона, виконання зварних з'єднань і контрольних операцій. Особливу увагу приділено розробці технології автоматизованого дугового зварювання в захисному середовищі аргону з додаванням 18% CO₂, що забезпечує стабільність дуги, зниження теплових деформацій і утворення рівномірного, герметичного шва без пор.

Оскільки балон працює під значним внутрішнім тиском, його конструкція повинна витримувати як статичні, так і динамічні навантаження, включаючи перепади температур, циклічне навантаження та вплив робочого середовища. Корпус балона сприймає основне навантаження від газу під тиском, тому в

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесі розрахунків враховано напружено-деформований стан матеріалу, товщину стінки, геометричну форму оболонки та допустимі значення напруг.

Зварні з'єднання, які є критичними елементами конструкції, мають відповідати найвищим вимогам до міцності та герметичності. Для цього передбачено застосування методів неруйнівного контролю – візуально-оптичного, капілярного та ультразвукового – що дозволяють своєчасно виявити можливі дефекти та гарантувати безпечну експлуатацію балона.

Також у дипломному проєкті проаналізовано можливі методи зовнішнього антикорозійного захисту конструкції. Залежно від умов експлуатації (відкритий простір, складські приміщення, агресивне середовище тощо), можуть застосовуватись методи полімерного фарбування, гальванічного покриття або хімічної пасивації.

Конструкція балона включає основні функціональні елементи: циліндричний корпус, днища, горловину для встановлення запірно-регулюючої арматури, опорні елементи тощо. Всі елементи узгоджені між собою за геометричними й технологічними параметрами, що забезпечує надійне збирання та довговічну роботу конструкції в умовах високого тиску.

Таким чином, балон високого тиску, виготовлений із сталі 09Г2С, є технічно складним, але надзвичайно важливим елементом виробничої інфраструктури, що потребує ретельного інженерного підходу на всіх етапах проєктування, виготовлення та контролю. Проєкт демонструє інтеграцію сучасних технологій обробки металу, високоточного зварювання та забезпечення технічної безпеки згідно з чинними галузевими нормативами.

Балони високого тиску – це герметичні ємності, призначені для зберігання, транспортування або використання технічних газів під надлишковим тиском. Вони широко застосовуються в багатьох галузях промисловості: хімічній, фармацевтичній, харчовій, енергетичній, машинобудівній, медичній та нафтопереробній. Враховуючи потенційні ризики, пов'язані з вибухонебезпечною або токсичною природою деяких газів, до таких виробів

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

висуваються надзвичайно високі вимоги щодо безпеки, надійності й довговічності.

Балони, виготовлені зі сталі 09Г2С згідно з ДСТУ 8541:2015, мають відповідати комплексу експлуатаційних норм, які враховують специфіку застосування та умови експлуатації.

Корпус балона повинен витримувати робочий тиск із гарантованим запасом міцності, який визначається нормативно-технічною документацією. Для забезпечення надійності проводяться інженерні розрахунки на міцність з урахуванням напружено-деформованого стану матеріалу.

Всі зварні з'єднання балона проходять обов'язковий неруйнівний контроль. Це включає візуально-оптичну інспекцію, ультразвукову дефектоскопію, рентгеноскопію, а також гідравлічні випробування під надлишковим тиском. Такий підхід гарантує герметичність, надійність та відсутність внутрішніх дефектів у швах.

Враховуючи умови транспортування та експлуатації, балон повинен мати підвищену стійкість до механічних впливів. Корпус має витримувати ударні навантаження, вібрації та можливі падіння без втрати герметичності або утворення тріщин.

Окрему увагу приділяють антикорозійному захисту поверхні. Залежно від умов використання, застосовують фарбування антикорозійними складами, гальванічне покриття або хімічну пасивацію. Це забезпечує стійкість матеріалу до впливу вологи, хімічних агентів та атмосферних чинників.

Температурний діапазон експлуатації балонів становить від +10 °С до +30 °С. Це враховується при виборі сталі, типу покриття, ущільнень та інших конструктивних елементів. За потреби можливе розширення температурного діапазону при внесенні відповідних змін у конструкцію.

Балони комплектуються обов'язковими засобами безпеки, такими як запобіжні клапани та елементи маркування з технічною інформацією. Додатково встановлюються ущільнювальні та з'єднувальні вузли, що забезпечують надійну експлуатацію балона в складі технологічного обладнання.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експлуатація балонів передбачає регулярний технічний огляд, контроль стану поверхонь та повторні випробування, які, згідно з чинними нормами, проводяться не рідше одного разу на п'ять років або частіше – за умов інтенсивного використання. Зберігання балонів має здійснюватися в сухих провітрюваних приміщеннях, захищених від вологи, механічних впливів та прямих сонячних променів.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що балон високого тиску – це складний технічний виріб, до якого висуваються підвищені вимоги на всіх етапах його життєвого циклу – від проектування до експлуатації. Точність виготовлення, якісний контроль, дотримання технологічних режимів і норм безпеки є ключовими умовами його надійної та безпечної роботи.

Згідно поставленого завдання – виріб – «Балон високого тиску» має габаритні розміри: висота 4850 мм, діаметр 1600 мм. Товщина стінки елементів конструкції від 12 мм до 14 мм. Слід зауважити, що згідно завдання ми розглядаємо зварювання всіх деталей, в даному проекті будемо вважати, що на ділянці складання зварювання ці два елемента конструкції надходять вже в сформованому вигляді (рис. 1.1).

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пластичних характеристик основного металу і металу шва для уникнення крихкого катастрофічного руйнування.

1.2 Характеристика металу

Тому, всі деталі конструкції виготовлені з листового прокату з легованої сталі 09Г2С ДСТУ 8541:2015.

Особливості сталі 09Г2С [1]:

- висока міцність і пластичність;
- добра зварюваність без термічної обробки;
- висока ударна в'язкість при низьких температурах;
- стійкість до атмосферної корозії.

Ця сталь широко застосовується в будівництві, машинобудуванні, виробництві металоконструкцій та суднобудуванні. Завдяки своєму хімічному складу та властивостям, сталь 09Г2С добре піддається різним видам механічної обробки, зокрема зварюванню, різанню та гнуттю. Вона використовується для виготовлення відповідальних конструкцій, які працюють при низьких температурах і високих навантаженнях, таких як платформи, каркаси будівель, трубопроводи та несучі елементи різних конструкцій. Завдяки підвищеному вмісту марганцю та кремнію, ця сталь має хорошу зносостійкість і тривалий термін служби. Хімічний склад і механічні наведено в таблиці 1.2, властивості сталі 09Г2С (ДСТУ 8541:2015) наведено у табл. 1.1 [1].

Таблиця 1.1 – Склад сталі 09Г2С (ДСТУ 8541:2015) [1]

Елемент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	V
Макс.	0.12	0.55	1.6	0.035	0.035	0.3	0.3	0.3	0.12

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 09Г2С (ДСТУ 8541:2015) [1]

Властивість	Значення
Межа міцності (σ_B), МПа	490-640
Межа текучості ($\sigma_{0.2}$), МПа	≥ 345
Відносне подовження δ , %	≥ 22
Ударна в'язкість KCV (-40°C), Дж/см ²	≥ 34

Очевидно, що при виготовленні виробу використовуємо автоматичне зварювання, тому що воно має велику продуктивність та зменшує час на виробництво виробу.

У випадку виготовлення 500 балонів розміром довжина 5 метрів і діаметр 1.6 метра, це буде серійне виробництво.

Серійне виробництво передбачає виготовлення партій продукції з певною періодичністю, де кожен виріб має близькі технічні характеристики та специфікації.

Особливості серійного виробництва:

- ефективність: технологічні процеси оптимізуються для виготовлення великої кількості виробів;
- використання обладнання: зазвичай залучають спеціалізовані машини, такі як пресувальні, зварювальні та формувальні установки;
- стабільність якості: забезпечується за рахунок стандартизації процесу виготовлення;
- вартість: знижуються витрати на одиницю продукції завдяки масштабу виробництва.

Якщо резервуари потребують унікальних характеристик, можливі адаптації в процесі виробництва, але переважно це буде економічно ефективно при серійному підході.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Оцінка опірності металу зварного з'єднання до утворення тріщин

Здатність до зварювання – це технологічна властивість матеріалів утворювати в процесі зварювання з'єднання, які відповідають конструктивним і експлуатаційним вимогам до них. У загальному випадку здатність матеріалу до зварювання – комплексна властивість, і вона тим вище, чим простіше технологія зварювання, чим більша кількість способів зварювання може бути використано для з'єднання матеріалу, чим ширше область параметрів режимі, що забезпечують задані вимоги до властивостей з'єднання, чим ширше номенклатура виробів, для яких можуть бути використані зварні з'єднання з даного матеріалу [2].

Схильність зварних швів до утворення гарячих тріщин визначається наступними чинниками:

- хімічним складом металу шва, від якого залежать його мінімальна міжкристалітна пластичність і міцність в небезпечному інтервалі температур (ТІК), а також тривалістю перебування металу в цьому інтервалі;
- величиною і швидкістю наростання розтягуючих напружень і, відповідно, деформацій в температурному інтервалі низької пластичності і міцності;
- величиною первинних кристалітів;
- формою зварювальної ванни (шва), від якої залежить напрямок росту стовпчастих кристалітів, характером їх зрощення, ступенем зональної ліквідації і розташуванням осей кристалітів (точніше міжкристалітних ділянок) щодо напрямку розтягуючих напружень.

Перевіряємо схильність металу шва до виникнення гарячих тріщин при найбільш неприємних умовах (вміст легуючих домішок).

Так як $HCR = 0.08 > 0.004$, вище допустимих меж, то можливе утворення гарячих тріщин. Однак в реальних умовах таке співвідношення легуючих домішок маловірогідне.

$$HRC = \frac{C \cdot (S + P + 0.25 \cdot Si + 0.01 \cdot Ni)}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V} = \frac{0.08 \cdot (0.02 + 0.035 + 0.25 \cdot 0.02 + 0.01 \cdot 12)}{3 \cdot 2 + 18 + 0 + 0} = 0.0006$$

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Але в заводських умовах треба контролювати склад сталі по відповідним сертифікатам. [2].

Холодні тріщини в зварних з'єднаннях – окремий випадок уповільненого крихкого руйнування металу шва та ЗТВ. Вони виникають у температурно-часовому діапазоні переважного розвитку в матеріалі внутрішньої пружно-пластичної деформації після повного його остигання або за температури не вищої від 150 °С до 200 °С.

Характерні особливості більшості випадків виникнення ХТ наступні:

- наявність інкубаційного періоду до утворення осередку тріщин;
- утворення тріщин відбувається при значеннях напружень, які складають менш ніж 0,9 короткочасної міцності матеріалів у стані після зварювання.

До утворення холодних тріщин при зварюванні схильні всі вуглецеві та леговані сталі.

Схильність зварних з'єднань з вуглецевих та легованих сталей до утворення холодних тріщин можна приблизно оцінити по еквіваленту вуглецю.

Перевіряємо можливість утворення холодних тріщин при найбільш поганих умовах (при максимальній кількості легуючих домішок):

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{40} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} \cdot \frac{\text{V}}{14} + \frac{\text{Cu}}{13} + \frac{\text{P}}{2}$$

$$C_{\text{екв}} = 0.08 + \frac{2}{6} + \frac{0.02}{24} + \frac{12}{40} + \frac{18}{5} + \frac{0}{4} \cdot \frac{0}{14} + \frac{0}{13} + \frac{0.035}{2} = 4.332$$

$C_{\text{екв}} = 4,332 > 0.4 \dots 0.45$, - метал має схильності до утворення холодних тріщин [2, 3].

В реальних умовах сталь не може містити в собі одночасно мінімальну кількість легуючих елементів та максимальну кількість шкідливих домішок для даної марки сталі. Практика ж показує, що дана сталь не схильна до утворення холодних тріщин.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Складальні одиниці балону високого тиску

Згідно завдання і шва що потрібно детально розглянути виріб складається з:

- обичайки $D = 1600$ мм, товщиною 12мм (1шт). Сталь 09Г2С ДСТУ 8541:2015 [4];
- днище верхнє (на півсфера радіусом 800 мм) товщиною 12мм (1шт). Сталь 09Г2С ДСТУ 8541:2015;
- горловина верхнього днища діаметром 310 мм, висотою 335 мм. товщиною 12мм (1шт). Сталь 09Г2С ДСТУ 8541:2015;
- днище нижнє (на півсфера радіусом 800 мм) товщиною 12мм (1шт);
- кожух (стійка) діаметром 1624 мм, товщиною 14 мм (1шт). Сталь 09Г2С ДСТУ 8541:2015;
- нижня опорна пластина діаметром 2400 мм, товщиною 14 мм (1шт). Сталь 09Г2С ДСТУ 8541:2015;
- ребра жорсткості товщиною 14 мм (4шт). Сталь 09Г2С ДСТУ 8541:2015;
- дві накладки (нижня та верхня) товщиною 8 мм (1шт). Сталь 09Г2С ДСТУ 8541:2015.

1.5 Характеристика зварних з'єднань

Шви та форми підготовки кромки обираємо використовуючи ДСТУ EN ISO 9692-1 [4] та виданого завдання до курсового проєкту. Характеристика швів: шви виконуємо за ДСТУ EN ISO 9692-1 (рис. 1.2).

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шов №1 (1:5)

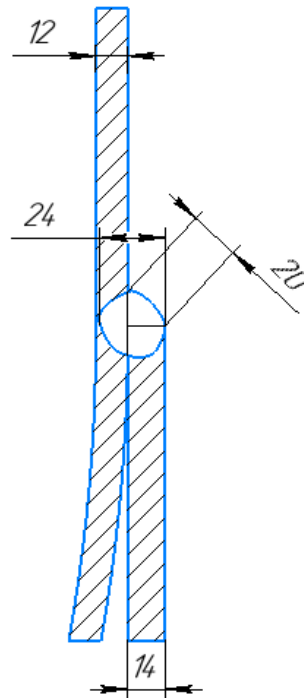


Рисунок 1.2 – Геометричні параметри шва №1, тип шва 13

Характеристика кромки – стандартна підготовка кромки 3.1.2. згідно ДСТУ EN ISO 9692-1

1.6 Вибір типових способів зварювання

Вибір оптимального способу зварювання залежить від багатьох чинників, серед яких важливу роль відіграють хімічний склад матеріалу, група за ступенем легування, товщина з'єднуваних елементів, просторове положення шва, конфігурація та протяжність з'єднання, доступність до місця зварювання, обсяги виробництва, а також техніко-економічні показники.

Сталь 09Г2С (відповідно до ДСТУ 8541:2015) належить до низьколегованих конструкційних сталей, які добре зварюються плавким електродом у середовищі інертних або активних газів, а також у їх сумішах. Оскільки матеріал містить

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

легуючі елементи (марганець, кремній), доцільним є застосування зварювання в середовищі інертного газу – зокрема аргону – що забезпечує захист зони дуги від атмосферного впливу та сприяє утворенню якісного зварного з'єднання з мінімальним ризиком утворення пор чи тріщин.

Для досягнення високої якості шва важливо дотримуватися режимів зварювання, які забезпечують струменеве перенесення металу з електрода в зварювальну ванну. Такий характер переносу сприяє рівномірному заповненню шва, підвищує стабільність дуги, зменшує розбризкування металу й, відповідно, ймовірність виникнення корозійно-небезпечних ділянок, що особливо актуально при роботі з корозійностійкими або термостійкими сталями.

При зварюванні кутових швів деталей із сталі 09Г2С товщиною від 12 мм до 14 мм застосовують постійний струм зворотної полярності. Рекомендується використовувати зварювальний дріт діаметром 1,6 мм, при цьому струм зварювання становить від 180 А до 200 А, напруга – від 16 В до 25 В. Витрата захисного газу повинна складати від 9 м³/год до 12 м³/год, а швидкість зварювання – в межах від 20 м/год до 25 м/год. За таких параметрів досягається стабільне струменеве перенесення металу, що забезпечує якісне формування шва навіть у складних просторових положеннях.

Однак важливо враховувати, що в чистому аргоне струменеве перенесення електродного металу реалізується лише при досягненні певного порогу струму, що може призводити до пропалів у разі зварювання тонколистового металу. Щоб знизити критичний струм і уникнути небажаних ефектів, до аргону додають від 3 до 5% кисню. Така модифікована суміш покращує стабільність дуги та зменшує ризик утворення пор, спричинених наявністю водню.

Ще одним економічно доцільним варіантом є використання суміші аргону з від 15% до 20% вуглекислого газу. Це дозволяє значно скоротити витрати дорогого інертного газу, зберігаючи при цьому задовільну якість шва. Однак слід враховувати, що за наявності CO₂ можливе інтенсивне вигорання легуючих елементів зі зварювальної ванни, що може погіршити механічні властивості з'єднання, особливо за багаторазового проходу або при великих товщинах.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, вибір технологічних параметрів зварювання сталі 09Г2С потребує ретельного обґрунтування з урахуванням конкретних умов роботи, вимог до шва та наявного обладнання. Комплексний підхід до налаштування процесу забезпечує надійність і довговічність конструкції. Відповідно до методичних рекомендацій [4-6], при плануванні технологічного процесу насамперед враховується хімічний склад основного металу та активність присутніх легувальних елементів. У подальшому беруться до уваги такі параметри, як положення деталей під час зварювання, доступ до зони обробки, протяжність і конфігурація швів тощо (рис. 1.3).

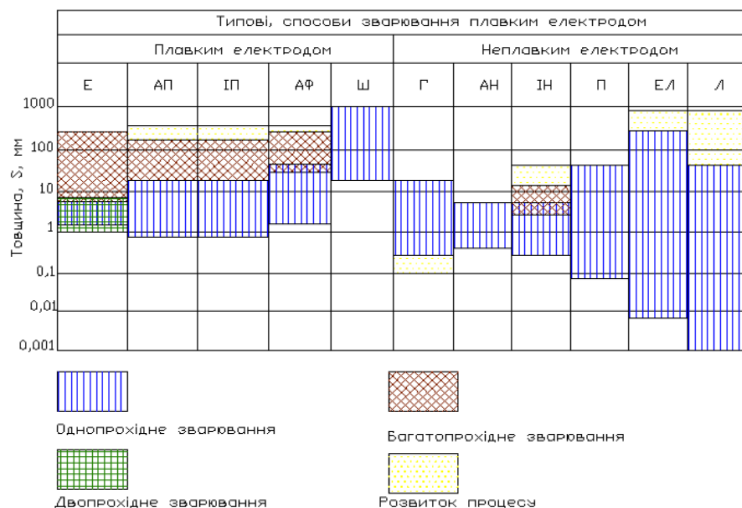


Рисунок 1.3 – Діаграма діапазонів товщин металу, що зварюється типовими способами за один, два і багато проходів [6]

При виборі способу зварювання ми повинні врахувати, що виробництво серійне, тому потрібні високопродуктивні способи зварювання. Врахувавши розміри зварюваних деталей, положення зварювання, матеріал зварюваних деталей, довжину швів – приходимо до висновку, що найбільш актуальними способами зварювання є автоматичне зварювання під флюсом та автоматичне зварювання в суміші газів плавким електродом.

Зварювання під флюсом потребує додаткових дій та затрат по відношенню до зварювання в аргоні, таких як: нанесення шару флюсу, контролю його висоти, збір невикористаного флюсу після виконання зварювання; видалення шлакової

кори; зварювання під флюсом потребує більше затрат на зварювальні матеріали ніж зварювання в аргоні [7, 8].

З урахуванням всього вище сказаного приходимо до висновку, що доцільно використовувати автоматичне зварювання в суміші газів плавким електродом.

1.7 Вибір зварювальних матеріалів

Основний метал – сталь 09Г2С – відноситься до низьколегованих сталей з підвищеним вмістом хрому (Cr) та молібдену (Mo), що надає їй високу корозійну стійкість, зносостійкість та добрі механічні властивості при підвищених температурах. Ця сталь використовується в конструкціях, що піддаються великим навантаженням та діють в агресивних середовищах.

Вона широко застосовується у виготовленні арматури для зварювання, металевих конструкцій, балок та інших відповідальних елементів, які мають високі вимоги до міцності та довговічності. Також її використовують у суднобудуванні, енергетиці та хімічній промисловості.

Сталь 09Г2С відповідає стандарту ДСТУ 8541:2015 і призначена для зварювання та виготовлення конструкцій, які піддаються термічним і механічним впливам. Для покращення якості зварних з'єднань доцільно використовувати суміші газів (відповідно до ДСТУ ГОСТ 10157:2019).

Переваги використання суміші аргон + CO₂:

- економічність: CO₂ значно дешевший за аргон, що знижує загальні витрати на зварювання;
- кращі зварювальні характеристики: CO₂ забезпечує стабільну дугу та покращує перенесення металу;
- вища глибина проникнення: дозволяє ефективно зварювати товсті матеріали.

Оскільки зварювання виконуватиметься в заводських умовах, можливо успішне застосування місцевого струменевого захисту. Суміш аргон + CO₂ забезпечує стабільну дугу та струменевий або дрібнокрапельний перенос металу.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7.1 Вибір зварювального дроту

Зварювання в суміші аргон + CO₂ з використанням дроту ER70S-6 та газу Ar + 18% CO₂ є ефективним і економічно доцільним для з'єднання вуглецевих і низьколегованих сталей. Цей метод активно застосовується в галузях, де необхідна висока якість зварного шва за мінімальних витрат на матеріали та енергію.

Характеристика зварювального дроту ER70S-6 (G4Si1, ДСТУ ISO 14341:2014) [8]: дріт ER70S-6 призначений для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей. Підвищений вміст кремнію та марганцю забезпечує міцність шва і хорошу зварювальну здатність. Він демонструє надійне з'єднання навіть при середніх температурах, добре підходить для зварювання товстих матеріалів та відповідає високим вимогам до міцності зварного з'єднання.

Характеристика захисного газу Ar + 18% CO₂ (ДСТУ ISO 14175:2014):

Ця газова суміш є популярною для MIG/MAG зварювання. Аргон стабілізує дугу та сприяє чистому формуванню шва, а CO₂ покращує характеристики дуги, забезпечує глибше проникнення і знижує витрати на газ.

Переваги методу:

- економічність – менші витрати на газ порівняно з використанням чистого аргону;
- висока якість шва – завдяки дроту ER70S-6 і оптимальному складу газу;
- глибоке проникнення – важливо при зварюванні товстого металу;
- стабільна дуга – що покращує продуктивність процесу.

Недоліки та рекомендації: Під час зварювання із вмістом CO₂ можлива поява пір у швах, тому необхідно точно налаштувати параметри зварювання. Зварювання в такій атмосфері може викликати окислення, що потребує подальшого шліфування або очищення зварного шва.

Для зварювання сталі 09Г2С треба використовувати зварювальний дріт з аналогічної групи сталей з невеликим вмістом розкислювачів, який наведений в таблиці 1.4.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 – склад зварювального дроту ER70S-6 (G4Si1) згідно з ДСТУ ISO 14341:2014 [9]

Компонент	Вміст (% , максимальний)
Вуглець (C)	0,06 - 0,15
Марганець (Mn)	1,40 - 1,85
Кремній (Si)	0,90 - 1,20
Молібден (Mo)	до 0,20
Нікель (Ni)	до 0,15
Кобальт (Co)	до 0,05
Фосфор (P)	до 0,025
Сірка (S)	до 0,025
Мідь (Cu)	до 0,50

Цей склад дає дроту ER70S-6 хорошу зварювальну здатність, міцність і стійкість до тріщин і пористості. Зварювальний дріт ER70S-6 зазвичай використовується для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей у середовищі активних газів, таких як суміш аргон + CO₂.

1.8 Вибір типу шва і форми підготовки кромки

Шви та форми підготовки кромки (табл. 1.5) обираємо використовуючи ДСТУ EN ISO 9692-1 та виданого завдання до курсового проєкту. Характеристика швів: шви виконуємо за ДСТУ EN ISO 9692-1 [5].

Таблиця 1.5 – Типи з'єднань та підготовка крайок

№ шва	Тип з'єднання	№ шва за ISO-9692-1-2013 або ISO-9692-2-2013	Ескіз розробки крайок
1	Внапуск	ISO 9692-1:2013-1.9.2	

1.9 Розрахунок режимів для зварювання

Розрахунок режимів зварювання з'єднання (шов № 1)

Визначення параметрів режиму зварювання і зварного шва

Параметри режиму автоматизованого зварювання в активних газах наступні:

- діаметр зварювального дроту $d_{ед}$;
- зварювальний струм $I_{зв}$;
- напруга зварювання $U_{зв}$;
- швидкість зварювання $V_{зв}$;
- виліт зварювального дроту l_v ;
- швидкість подачі електродного дроту $V_{под}$;
- загальна кількість проходів $n_{пр}$;
- витрати захисного газу.

Розрахуємо площу наплавленого металу, виходячи з наступних даних:

S - це товщина металу, $S_1 = 12$ мм; $S_2 = 14$ мм;

b - зазор, $b = 2$ мм;

k - катет шва,

Згідно ДСТУ-Н Б А.3.1-16:2013 (Настанова щодо виконання зварювальних робіт при монтажі будівельних конструкцій) при зварюванні металів різних товщин співвідношення розмірів катетів швів слід приймати, як правило, 1:1, проте можуть допускаються шви з неоднаковими катетами. При цьому катет шва, що примикає до більш тонкого елемента, повинен бути не більше 1,2 його товщини, а катет шва, що примикає до елемента з більшою товщиною, повинен прийматися згідно з таблиці. 1.6.

Таблиця 1.6 – Мінімальні катети кутових швів у залеженості від типу з'єднання на границі текучості сталі [8]

З'єднання	Границя текучості сталі σ_T , МПа	Мінімальний катет шва, мм, при товщині більш товстого елемента S, мм							
		Від 4 до 5	Від 6 до 10	Від 11 до 16	Від 17 до 22	Від 23 до 32	Від 33 до 40	Від 41 до 80	Понад 80 або $\sigma_T > 530$ МПа
Таврове із двосторонніми швами	До 430	4	5	6	7	8	9	10	Обумовлюється кресленнями
Внапуск, кутове	Від 430 до 530	5	6	7	8	9	10	-	-
Таврове з односторонніми швами	До 380	5	6	7	8	9	10	12	-

Враховуючи наведене вище приймаємо катет рівним:

$$k = 1.2 \cdot S_1 = 15$$

Тоді згідно формули визначення площі наплавленого металу

$$F_H = 0.5k^2 + 1.05k \quad (1.3)$$

$$F_H = 0.5 \times 112,5 + 1.05 \times 15 = 72 \text{ мм}^2$$

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи велику площу наплавленого металу обираємо однопрохідне зварювання з кількість походів $n=3$,

Тепер маючи значення площі наплавленого металу, можемо розрахувати режими зварювання.

Знайдемо діаметр електродного дроту за такою формулою:

$$d_{\text{е.д.}} = k_d \times (F_H)^{0.625},$$

де k_d - коефіцієнт вибираємо в залежності від положення шва і способу зварювання за рівнем автоматизації, обираємо $k_d = 0,2$.

$$d_{\text{е.д.}} = 0.22 \times 24^{0.625} = 1,6 \text{ мм}$$

Приймаємо величину діаметра електродного дроту рівною $d_{\text{е.п.}} = 1,6 \text{ мм}$.

Розрахуємо зварювальний струм

$$I_{\text{зв}} = j \times (\pi \times d_{\text{е.п.}}^2) / 4 \text{ А}$$

де j – допустима щільність струму в електродному дроті при зварюванні кутових швів. Для діаметру дроту 1,6 мм. $j=90\dots240 \text{ А/мм}^2$

тоді

$$I_{\text{зв}} = 133 \times (\pi \times 1,6^2) / 4 = 201 \text{ А}$$

Приймаємо $I_{\text{зв}} = 200 \text{ А}$

При зварюванні захисних газів величина коефіцієнта наплавлення може відрізнятися від величини коефіцієнта розплавлення, в зв'язку з втратами електродного металу. Знаходимо коефіцієнт розплавлення α_p :

$$\alpha_p = 1.21 \times j^{(0.32)} \times L_E^{(0.38)} \times d_{\text{е.д.}}^{(-0.64)}$$

де L_E - це довжина вильоту електрода, $L_E = 10 \times d_{\text{е.д.}} = 10 \times 1,6 = 16 \text{ мм}$

Тоді: $\alpha_p = 1.21 \times 90^{0.32} \times 16^{0.38} \times 1,6^{(-0.64)} = 10.84 \text{ г/А год}$

Величина коефіцієнта наплавлення:

$$\alpha_H = \alpha_p \times (100 - \varphi) / 100$$

де φ - коефіцієнт втрат, рівний 3,2%

$$\alpha_H = 10,84 \times (100 - 3.2) / 100 = 10,49 \text{ г/А год}$$

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді швидкість зварювання

$$V_{зв} = (\alpha_H \times I_{зг}) / 3600 \times \rho \times F_{H1}$$

$$V_{зв} = (10,49 \times 200) / 3600 \times 7,8 \times 0,24 = 0,31 \text{ см/с} = 11,66 \text{ м/год}$$

Розрахуємо напругу на дузі:

$$U_D = 14 + 0,05 \times I_{зг}$$

$$U_D = 14 + 0,05 \times 200 = 24 \text{ В}$$

Розрахунок швидкості подачі електродного дроту:

$$V_{Е.Д.} = F_{H1} \times V_{зв} \times (1 + \varphi_p) / F_{Е.Д.}$$

$$V_{Е.Д.} = 0,24 \times 0,31 \times (1 + 0,03) / 0,038 = 2,0 \text{ см/с} = 72,0 \text{ м/год}$$

Розрахуємо витрати газу: $q = 0,0033 \times I_{зг}^{0,75}$

$$q = 0,0033 \times 200^{0,75} = 0,175 \text{ л/с} = 11 \text{ л/хв}$$

1.10 Опис технологічного процесу виготовлення балон високого тиску

Розробка технологічного процесу виготовлення балона високого тиску починається з підготовки листового прокату до операцій формоутворення. На цьому етапі необхідно забезпечити відповідність розмірів, якості поверхні та механічних властивостей прокату вимогам креслень і нормативної документації.

Першочерговим завданням є складання елементів конструкції (вузлів) під зварювання у визначеному технологічному порядку з дотриманням вимог конструкторської документації. Елементи тимчасово фіксуються між собою для забезпечення точного взаємного розташування. Якість виконання цих операцій безпосередньо впливає на надійність та герметичність зварної конструкції. Особливу увагу необхідно приділяти точності стикування деталей, адже навіть незначні відхилення можуть спричинити появу внутрішніх напружень та дефектів у швах [11].

Сучасні методи виготовлення балонів високого тиску орієнтовані на забезпечення високої точності складання елементів конструкції, що має ключове значення для досягнення необхідної міцності та герметичності. Для мінімізації похибок і витрат матеріалу використовується високоточне обладнання та засоби

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматизації. Розміри та маса деталей впливають на вибір методів транспортування та підйому: використовуються крани, траверси, роликові стенди тощо.

Для зниження впливу людського фактора доцільним є застосування універсальної складально-зварювальної оснастки, яка дозволяє скоротити тривалість складання та підвищити стабільність процесу. Додатково, використання роботизованих систем забезпечує високу якість зварних з'єднань і зменшує витрати на контроль [12, 13].

Перед зварюванням виконується підготовка кромки – механічне зачищення на ширину не менше 50 мм від центру шва. Це забезпечує чистоту поверхні, необхідну для утворення якісного з'єднання.

Складання циліндричної частини балона виконується на спеціалізованому стенді, який забезпечує точне взаємне розташування елементів. Первинне фіксування здійснюється за допомогою прихваток довжиною від 20 мм до 30 мм, після чого виконуються зварювальні операції з використанням автоматизованого обладнання. Зварювання проводиться в один прохід за розрахованими режимами, що зменшує ймовірність утворення дефектів і забезпечує високу якість шва.

Для обертання виробу та доступу до всіх зварних з'єднань застосовується роликовий стенд або обертач. Кантування виконується за допомогою кран-балки з кантувальною траверсою, що дає змогу виконувати зварювання у зручному просторовому положенні.

Транспортування листового прокату на підприємстві здійснюється мостовими кранами з магнітними захватами, що полегшує переміщення габаритних і важких деталей. Готовий зварений виріб після завершення всіх операцій транспортується на ділянку контролю якості, де перевіряється відповідність зварних швів технічним вимогам.

Розробка технологічної послідовності складання-зварювання

Складання під зварювання передбачає розміщення елементів конструкції у визначеній послідовності та їх попереднє скріплення для забезпечення фіксації [12]. Якість складання безпосередньо впливає на міцність і герметичність

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кінцевого виробу. Для правильного позиціонування деталей і вузлів використовується складальне пристосування, у якому технологічні бази елементів мають спиратися на відповідні установчі поверхні. Найчастіше застосовується принцип шести точок фіксації, що усуває всі ступені свободи елемента.

Формування послідовності операцій включає вибір способів зварювання, типів з'єднань, зварювальних матеріалів і режимів зварювання. Також визначається доцільність розбиття конструкції на складальні одиниці. У межах курсового проєкту передбачається зварювання двох основних частин конструкції по круговому шву. Частини поставляються в готовому вигляді, тому основними завданнями є розробка ефективних варіантів складання й вибір оптимального способу зварювання з урахуванням умов виробництва. Отже враховуючи вище перераховані етапи, можна створити загальну маршрутну технологічну блок схему операцій виготовлення балон високого тиску (рис. 1.4).

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

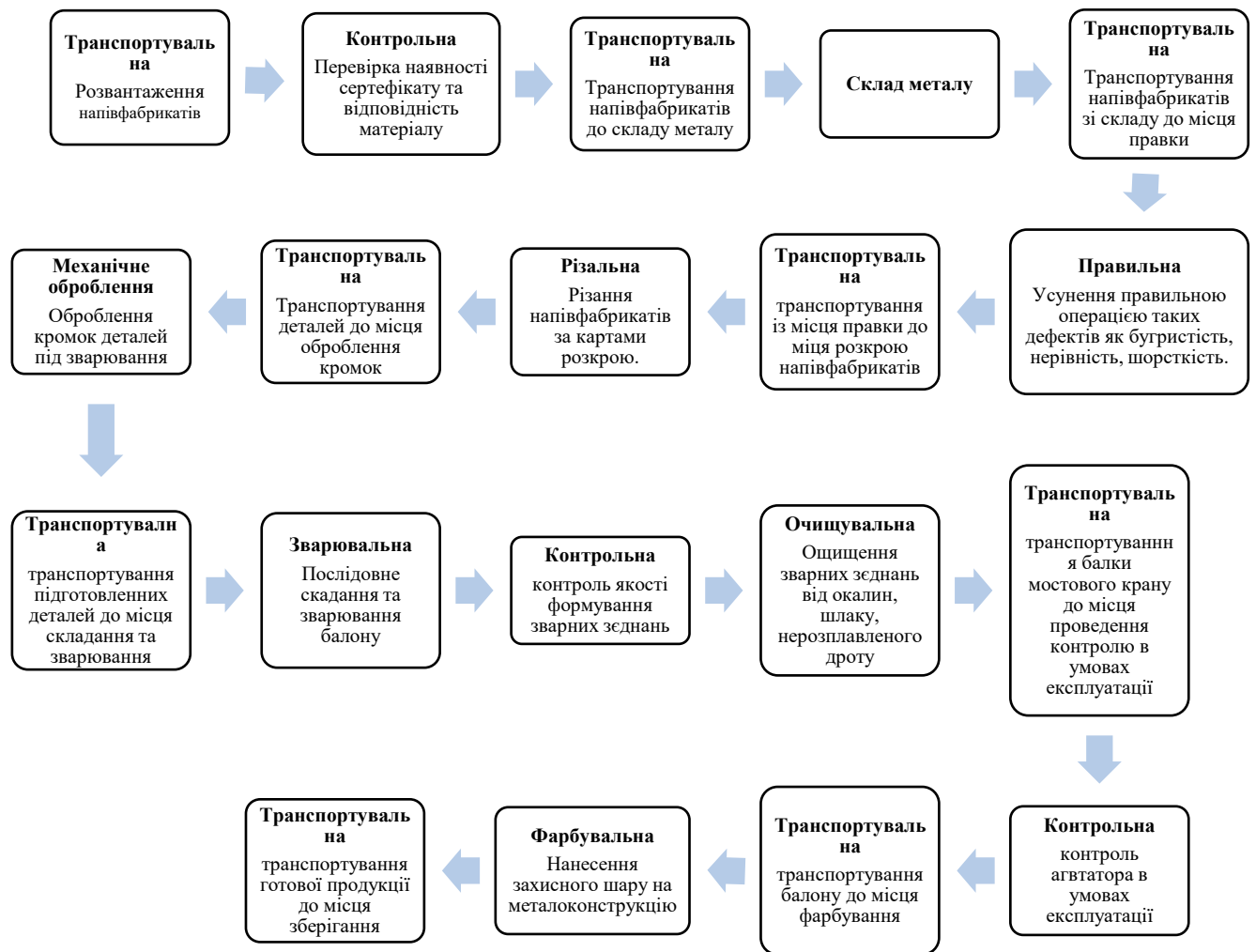


Рисунок 1.4 – Технологічна блок схема операцій виготовлення балона високого тиску

1.11 Обґрунтування необхідності розробки технологічної оснастки

Складання під зварювання – це технологічна операція, що полягає у точному розміщенні елементів конструкції (вузла) відповідно до вимог техпроцесу та робочих креслень, із подальшим попереднім закріпленням деталей між собою. Це може здійснюватися з використанням спеціальних пристроїв, шаблонів або конструктивних елементів, які забезпечують необхідну точність фіксації. Якість кінцевої зварної конструкції значною мірою залежить саме від ретельності виконання складання.

Основою сучасних технологій виготовлення металевих ємностей є досягнення високої точності взаємного розташування листових заготовок. У межах цього курсового проєкту розробляється конструкція складально-зварювальної оснастки, що забезпечує фіксацію деталей корпусу ємності під час складання та зварювання. Геометричні розміри й маса елементів конструкції визначають не лише параметри оснастки, але й методи транспортування, тип та вантажопідйомність підйомно-транспортного обладнання, а також обраний спосіб зварювання.

З огляду на необхідність забезпечення стабільної якості та мінімізації похибок, особливо в умовах серійного виробництва, важливо зменшити залежність від суб'єктивного людського чинника. Це досягається завдяки застосуванню універсальних пристроїв та шаблонів, що дозволяють знизити тривалість операцій складання й фіксації. У випадках, коли універсальна оснастка не може забезпечити задану точність або продуктивність, доцільним є проєктування спеціалізованої оснастки, адаптованої під конкретну конструкцію.

Для серійного виробництва інвестиції у виготовлення спеціальної оснастки є виправданими: вони швидко окупаються за рахунок зменшення витрат часу на одиницю продукції. У масовому виробництві, натомість, застосовуються високопродуктивні автоматизовані лінії, спеціалізовані установки та роботизовані комплекси з числовим програмним керуванням, що забезпечують повторюваність результату і високу якість з'єднань. Проєктування технологічного процесу виготовлення конструкції супроводжується аналізом і визначенням необхідних засобів технічного оснащення, які забезпечать ефективну реалізацію кожного етапу виробництва.

Основні функції технологічної оснастки полягають у:

- забезпеченні стабільної точності розмірів, форми та взаємного розміщення деталей і вузлів у процесі складання й зварювання;
- мінімізації обсягу ручних операцій та зменшенні впливу людського фактора;

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- підвищенні продуктивності праці за рахунок механізації та стандартизації процесів;
- зниженні трудомісткості технологічних операцій;
- скороченні загального часу виробничого циклу;
- полегшенні умов праці шляхом механізації важких або монотонних операцій;
- можливості залучення менш кваліфікованої робочої сили;
- зниженні собівартості виготовлення зварних конструкцій;
- розширенні функціональних можливостей зварювального обладнання;
- підвищенні якості та взаємозамінності зварних виробів;
- стимулюванні комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів.

Таким чином, правильне проектування та застосування технологічної оснастки є ключовим чинником у забезпеченні ефективності й надійності всього зварювального виробництва, особливо при виготовленні відповідальних конструкцій, таких як металеві ємності.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБЛЕННЯ СКЛАДАЛЬНО–ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ

2.1 Технічні вимоги щодо оснастки

Складально-зварювальна оснастка є важливим елементом технологічного процесу виготовлення зварних конструкцій. Вона має забезпечувати точне позиціонування деталей, фіксацію елементів конструкції в процесі зварювання, а також створювати умови для якісного виконання зварних з'єднань. Ефективна оснастка повинна відповідати низці технічних, ергономічних і експлуатаційних вимог:

- безпідгоночне встановлення деталей – конструкція оснастки повинна дозволяти монтування елементів у вузол без необхідності додаткової механічної або ручної доробки (підгонки), що скорочує загальний час складання;
- дотримання заданої точності – забезпечення складання в межах допусків, передбачених технічним кресленням, з урахуванням зварювальних деформацій та компенсаційних відхилень;
- вільний доступ до місць зварювання – оснастка повинна гарантувати зручність для встановлення прихваток, а також вільний доступ до стиків під час виконання основних зварних швів;
- оптимальна послідовність складання – передбачення технологічно доцільного порядку розміщення деталей і етапів виконання швів для уникнення перекосів, залишкових напружень та утворення дефектів;
- надійна фіксація конструкції – використання ефективних затискних механізмів та притискачів, які гарантують жорстку фіксацію деталей протягом усього процесу зварювання;
- можливість зварювання в необхідному положенні – оснастка повинна дозволяти фіксацію виробу у просторовому положенні, яке найбільш сприятливе для обраного методу зварювання (нижнє, горизонтальне, вертикальне положення шва тощо);

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- захист елементів оснастки від бризок – передбачення екранів або покриттів, які захищають базові поверхні, упори та інші критичні елементи оснастки від зварювальних бризок, що можуть призвести до втрати точності;
- жорсткість і міцність конструкції – усі елементи оснастки повинні мати достатню жорсткість, щоб протистояти навантаженням від фіксації, деформаціям при зварюванні та іншим технологічним зусиллям;
- виключення заклинювання притискачів – конструкція повинна передбачати компенсацію можливих деформацій, щоб уникнути заклинювання або заклинювання затискних елементів;
- ремонтпридатність – оснастка має бути сконструйована так, щоб дозволити легку заміну або відновлення окремих деталей, що зношуються в процесі експлуатації;
- технологічність виготовлення – конструкція оснастки повинна бути простою у виготовленні та зручною для технічного обслуговування, з мінімальним використанням нестандартних деталей;
- безпечність експлуатації – усі механізми та елементи повинні бути надійно захищені, виключати можливість травмування персоналу та відповідати нормам охорони праці;
- уніфікація та стандартизація елементів – доцільно використовувати типові вузли та механізми (уніфіковані деталі), що дозволяє знизити витрати на проектування й виготовлення, а також спрощує обслуговування.

Формування послідовності операцій складання-зварювання зварного виробу передбачає вибір зварювальних методів, матеріалів та режимів зварювання, а також технологічного оснащення для складання. Розробка технологічної послідовності включає вибір варіантів зварних з'єднань, способів складання, а також можливість розчленування зварної конструкції на складальні одиниці. В рамках курсового проекту розглядається зварювання двох частин конструкції за допомогою кругового зварного шва, де частини поставляються в готовому вигляді, і необхідно розробити варіанти складання та зварювання їх (рис. 2.1).

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

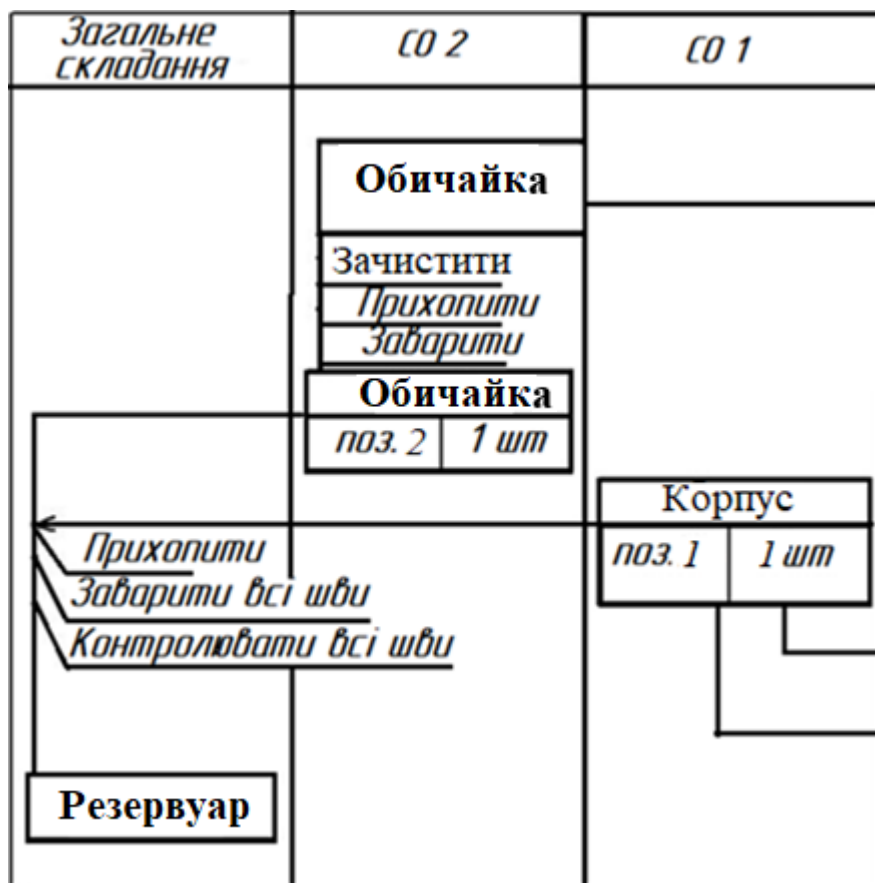


Рисунок 2.1 – Технологічна схема складання виробу

2.2 Послідовність технологічних операцій складання-зварювання

Формування послідовності технологічних операцій складання-зварювання зварного виробу базується на результатах попереднього конструктивно-технологічного аналізу. Цей аналіз включає вивчення конструкторської документації, технічних умов на виготовлення та розчленування (декомпозицію) зварної конструкції. На цьому етапі розробляються технологічні схеми загального та вузлового складання, що візуалізують структуру виробу та маршрут складання.

З метою підвищення точності виготовлення та мінімізації ймовірності дефектів доцільним є усунення «людського фактора» з процесу складання. Для цього використовується універсальна складально-зварювальна оснастка, що дозволяє скоротити час фіксації та розкріплення виробу, забезпечуючи стабільність якості зварних з'єднань.

Базування – це процес точного встановлення заготовки у заданому положенні відносно координатної системи складального пристрою або зварювального устаткування. Метою базування є фіксація положення деталей для забезпечення їх правильного взаємного розташування під час складання та зварювання.

У технології складання та зварювання використовуються три типи технологічних баз:

1. Головна базуюча поверхня – спирається на три точки, усуваючи три ступені свободи (зазвичай вертикальні переміщення та обертання в горизонтальних площинах).
2. Направляюча базуюча поверхня – спирається на дві точки, усуваючи два ступені свободи (як правило, бокові зсуви).
3. Упорна базуюча поверхня – спирається на одну точку, усуваючи один ступінь свободи (найчастіше повздовжній зсув).

Разом ці бази реалізують принцип шести точок, який дозволяє повністю зафіксувати деталь в просторі, виключаючи всі можливі переміщення.

Для виготовлення корпусу балона високого тиску була розроблена відповідна схема базування, яка забезпечує стабільне положення складових частин під час операцій складання і зварювання. Такий підхід дозволяє досягти високої точності складання, запобігає виникненню внутрішніх напружень і сприяє утворенню якісного зварного з'єднання.

Для зварювання корпусу балона високого тиску була розроблена схема базування (рис. 2.2), що забезпечує стабільне положення деталей під час складання та зварювання.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

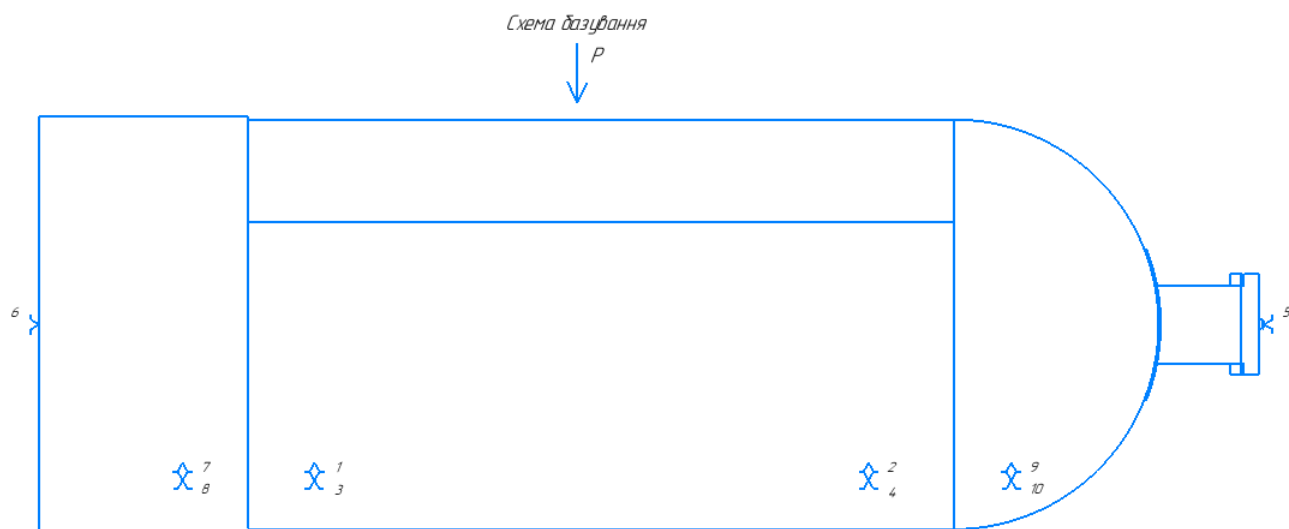


Рисунок 2.2 – Схема базування кожуху та обичайки

2.3 Розробка принципової схеми пристрою

Складально-зварювальні пристрої, хоча й проєктуються за принципами, подібними до пристроїв для механічної обробки, мають низку специфічних особливостей. Ці особливості обумовлені природою зварювального процесу, взаємодією конструктивних елементів виробу, а також високими вимогами до точності фіксації заготовок. Основними з них є:

- послідовне встановлення деталей у пристрій;
- складання деталей передбачає їх поетапне встановлення з незалежною фіксацією кожного елемента. Це дозволяє забезпечити точне позиціонування і надійне закріплення заготовок за допомогою притискачів, упорів або прихваток з мінімальними зазорами;
- вплив високих температур і бризок металу;
- під час зварювання заготовки та елементи пристрою піддаються дії високих температур, крапель розплавленого металу та шлаку. Тому конструкція пристрою повинна передбачати використання термостійких матеріалів, а також наявність захисних елементів у зонах інтенсивного теплового впливу;

- компенсація зварювальних деформацій. Пристрій повинен зменшувати ймовірність викривлення або переміщення деталей під дією температурних деформацій. Це досягається раціональним розташуванням точок фіксації та можливістю зняття внутрішніх напружень після прихваток;
- незначні робочі навантаження. На відміну від пристроїв для механічної обробки, зварювальні пристрої не сприймають великих механічних навантажень. Основними чинниками є зусилля притиску, власна вага конструкції та маса заготовки;
- ризик втрати точності при недостатній фіксації;
- ненадійне закріплення може призвести до розкриття стиків, появи зазорів, зміщення осей і спотворення геометрії з'єднання. Це негативно впливає на якість зварного шва та призводить до дефектів;
- необхідність забезпечення нижнього положення при зварюванні.
- найвища якість та продуктивність зварювання досягається у нижньому положенні. Це потребує відповідної орієнтації виробу в пристрої, часто із застосуванням поворотних або роликів стелів.

Отже, при проектуванні складально-зварювальних пристроїв слід урахувати не лише конструктивні особливості виробу, а й технологічні умови зварювання: теплові впливи, порядок складання, можливість доступу до зони шва, а також засоби автоматизації та механізації допоміжних операцій. Особливу увагу приділяють забезпеченню стабільного положення заготовок і мінімізації впливу «людського фактора» на якість кінцевого виробу.

Метою розрахунку є: діаметр роликів опори, діаметр приводного вала, розрахунок потужності електродвигуна.

Зобразимо розрахункову схему роликів стелі (рис. 2.3)

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

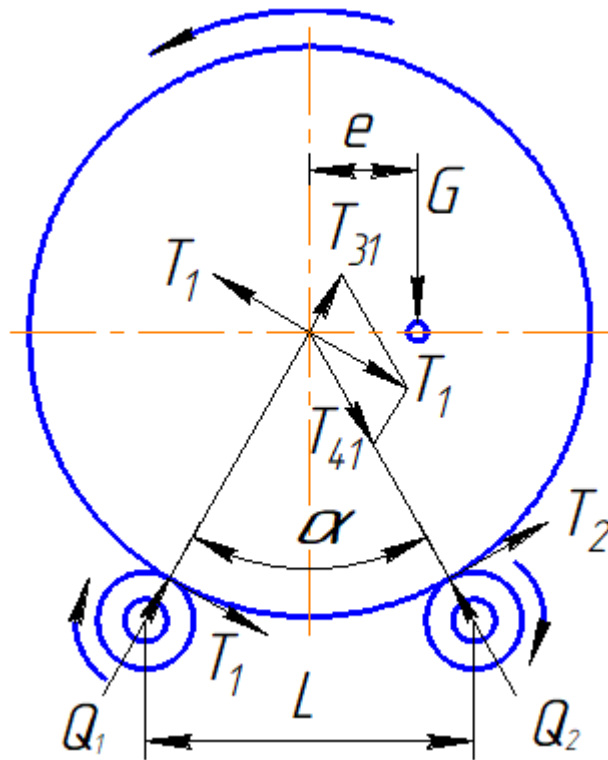


Рисунок 2.3 – Схема роликового стенда

Приймаємо масу виробу:

$$m = 2000 \text{ кг};$$

або

$$G = 9.8 m;$$

$$G = 20000 \text{ Н};$$

Приймаємо:

$$R = 1.6 \text{ м};$$

$$e = 0.1 \text{ м};$$

$$\varepsilon = e \div R_\varepsilon = 0.063$$

Враховуючи, що радіус роликоопори невідомий, доцільно задати кут α , а надалі (після вибору роликоопори) розрахувати L .

Кут приймається в межах від 50° до 100° : $\alpha = 60^\circ$.

Реакція опори в стояку в статичному стані

$$Q := \frac{G}{2 \cdot \cos(\alpha + 2)}$$

$$Q = 11547 \text{ Н}$$

$$T_1 := \frac{G \cdot \varepsilon}{i_p}$$

Окружні зусилля T1 и T2 роликоопор:

$$T_2 := \frac{G \cdot \varepsilon}{i_p}$$

де i_p - кількість роликоопор, $i_p = 4$

$$T_1 := \frac{G \cdot \varepsilon}{4}$$

$$T_1 = 315 \text{ Н}$$

$$T_2 = \frac{G \cdot \varepsilon}{4}$$

$$T_2 = 315 \text{ Н}$$

$$T_{31} := \left(T_1 \cdot \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right)$$

$$T_{31} = 182 \text{ Н}$$

$$T_{32} := \left(\frac{T_2}{\cos \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right)$$

$$T_{32} = 364 \text{ Н}$$

Повні реакції Q1 та Q2 роликоопор:

$$Q_1 := Q - T_{31} - T_{32}$$

$$Q_1 = 11001 \text{ Н}$$

$$Q_2 := Q + T_{41} + T_{42}$$

$$T_{41} := \left(\frac{T_1}{\cos \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right)$$

$$T_{41} = 364 \text{ Н}$$

$$T_{42} := \left(T_2 \cdot \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right)$$

$$T_{42} = 182 \text{ Н}$$

$$Q_2 = 12093 \text{ Н}$$

Навантаження на роликоопори:

$$P_1 := \frac{\sqrt{(Q_1)^2 + (T_1)^2}}{i_p} \cdot K_p$$

$$P_2 := \frac{\sqrt{(Q_2)^2 + (T_2)^2}}{i_p} \cdot K_p$$

де K_p - коеф. нерівномірності

розподілення навантаження, при $i_p=2$

$K_p = 1$, при $i_p > 2$ $K_p=1.2 \dots 1.3$, $K_p := 1.25$

$$P_1 := \frac{\sqrt{(Q_1)^2 + (T_1)^2}}{i_p} \cdot K_p$$

$$P_1 = 13756 \text{ Н}$$

$$P_2 := \frac{\sqrt{(Q_2)^2 + (T_2)^2}}{i_p} \cdot K_p$$

$$P_2 = 15121 \text{ Н}$$

Згідно розрахованих зусиль обираємо стандартну роликоопору з таблиці 2.1.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Моделі роликоопор

Моделі роликоопор					
Привідна	Холоста	Перекидна холоста	Номінальне навантаження на опору, Н	Мінімальний діаметр виробу, м	Діаметр ролика, мм
РП - 0,25	PX-0,25	PXP-0,25	2500	0,25	410
РП - 0,5	PX-0,5	PXP-0,5	5000	0,3	410
РП - 1	PX-1	PXP-1	10000	0,5	410
РП - 2	PX-2	PXP-2	20000	0,5	522
РП - 4	PX-4	PXP-4	40000	0,8	522
РП - 8	PX-8	PXP-8	80000	0,8	522
РП-16	PX-16	PXP-16	160000	0,8	522

Обираємо роликоопору: $D_p := 522 \text{ мм}$

Усі стандартні роликоопори мають фіксовані геометричні параметри:

- діаметр черв'ячного колеса $D_{\div} := 280 \text{ мм}$,
- відстань від підшипника до черв'ячного колеса $a := 80 \text{ мм}$,
- відстань від черв'ячного колеса до роликоопори $b := 175 \text{ мм}$,
- відстань від роликоопори до підшипника $c := 145 \text{ мм}$.

Максимальне окружне зусилля на черв'ячному колесі:

$$S := T_2 \cdot \frac{D_p}{D}$$

$$S = 588 \text{ Н}$$

Зобразимо розрахункову схему (рис.2.4) та знайдемо реакції опор з рівняння моментів:

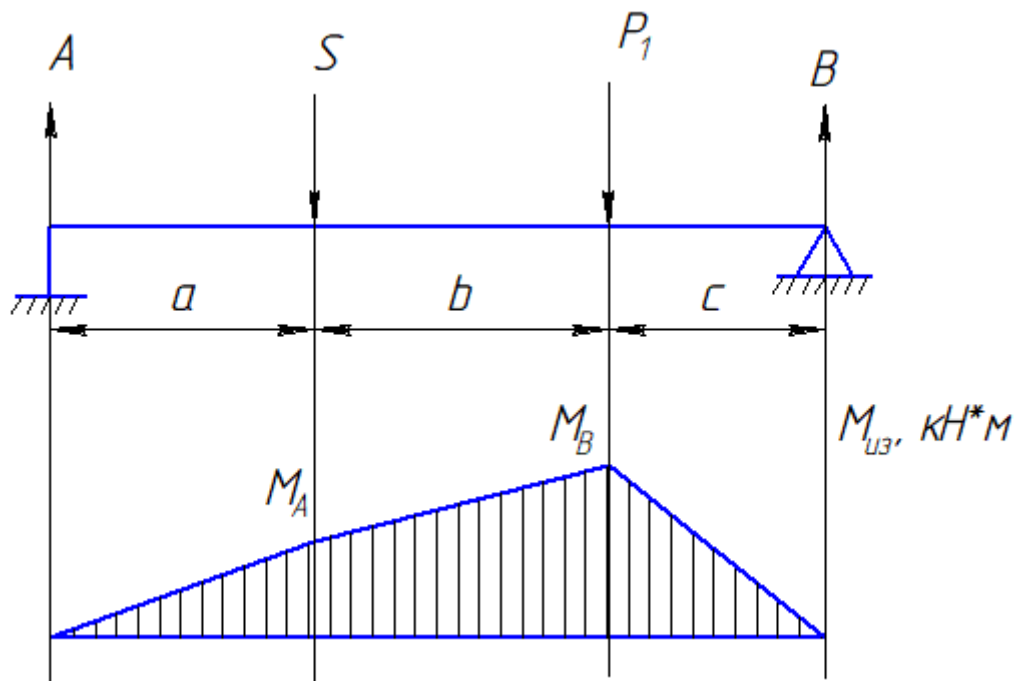


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема

$$A := \frac{(P_2 \cdot c) + [S \cdot (b + c)]}{a + b + c}$$

$$A = 5951 \text{ H}$$

$$B := \frac{[P_2 \cdot (a + b)] + (S \cdot a)}{a + b + c}$$

$$B = 9757 \text{ H}$$

Проведемо перевірочний розрахунок спроектувавши всі сили на ось Y:

$$\sum_0 P_Y := 0$$

$$A + B - S - P_2 = 0$$

Реакції знайдені вірно. $M_A := A \cdot a \cdot 10^{-3}$

$$M_A = 476 \text{ H*M}$$

Знайдемо значення моментів:

$$M_B := B \cdot c \cdot 10^{-3}$$

$$M_B = 1415 \text{ H*M}$$

Небезпечним є переріз В на ролик. 1-ша ітерація:

Знайдемо крутний момент на валу, прийнявши в першому наближенні його діаметр $d_a := 0$ мм:

$$M := T_2 \cdot \left(\frac{D_p \cdot 10^{-3}}{2} + \left(f \cdot \frac{d_B \cdot 10^{-3}}{2} + \mu \right) \cdot \sqrt{(Q_2)^2 + (T_2)^2} \right)$$

де f коеф. тертя, для кочення $f = 0.015$ та ковзання $f = 0.1$, $f := 0.015$

коеф. тертя кочення, для сталених роликів = від 0.06 до 0.08, для прогумованих роликів = від 0.25 до 0.35, $\mu := 0.3$, d_a - діаметр вала в опорі, D_p - діаметр ролика.

$$M_{kp} := T_2 \cdot \left(\frac{D_p \cdot 10^{-3}}{2} + \left(f \cdot \frac{d_B \cdot 10^{-3}}{2} + \mu \right) \cdot \sqrt{(Q_2)^2 + (T_2)^2} \right)$$

$$M_{kp} = 1.636 \times 10^4 \text{ Н*м}$$

Знайдемо вигинаючий момент на валу, він дорівнює максимальному моменту від зусиль:

$$M_{zg} := MB$$

$$M_{zg} = 1415 \text{ Н*м}$$

Знайдемо еквівалентний момент на валу:

$$M_e := \sqrt{(M_{kp})^2 + (M_{iz})^2}$$

$$M_e = 16421 \text{ Н*м}$$

Діаметри валів в підшипниках приймемо однаковими та визначимо за формулою :

$$d_{B1} := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_e}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}}$$

де σ_D допустиме значення напруження на вигин, M_e -еквівалентний вигинаючий момент в небезпечному перерізі.

Розрахуємо допустиме значення напруження на вигин для заданої сталі обравши з сортамента межу текучості та прийнявши коефіцієнт запасу

$$n_T = 4 \text{ до } 8$$

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо:

$$n_T := 5$$

$$\sigma_T := 750 \text{ МПа}$$

$$\sigma_D := \frac{\sigma_T}{n_T}$$

$$\sigma_D = 150 \text{ МПа}$$

Діаметри валів в підшипниках визначимо за формулою:

$$d_{B1} := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_z}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}}$$

$$d_{B1} := 105 \text{ М}$$

Приймаємо :

$$d_{B1} := 105 \text{ мм}$$

2 ітерація:

$$d_{B1} := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_z}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}} M := T_2 \cdot \frac{D_p \cdot 10^{-3}}{2} + \left(f \cdot \frac{d_1 \cdot 10^{-3}}{2} + \mu \right) \cdot \sqrt{(Q_2)^2 + (T_2)^2}$$

$$M_{kp} = 1.64 \times 10^4 \text{ Н*м}$$

Знайдемо вигинаючий момент на валу, він дорівнює максимальному моменту від зусиль:

$$M_{iz} := M_B$$

Знайдемо еквівалентний момент на валу:

$$M_e = 1.648 \times 10^4 \text{ Н*м}$$

Діаметри валів в підшипниках визначимо за формулою:

$$d_{B2} := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_e}{\pi \cdot \sigma \cdot 10^6}}$$

$$d_{B2} = 0.104 \text{ М}$$

Приймаємо:

$$d_{B2} := 105 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$\frac{d_{B1}}{d_{B2}} = 1$$

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність приводного електродвигуна визначається виходячи зі значення найбільшого крутного моменту.

$$N_d := \frac{M \cdot n}{9740 \cdot \eta}$$

де об - загальний КПД кантувача, n - швидкість обертання.

Швидкість обертання не регулюється та обираються в межах

n = 4 до 8 об/хв в залежності від габаритів виробу.

Приймаємо:

$$n := 4_{\text{об/хв}}$$

$$M_e := \sqrt{(M_{kp})^2 + (M_{iz})^2} \cdot H^*_M$$

Приймаємо: $\eta_{\div} := 0.75$ - ККД однозахідного червячного редуктора

$$\eta_{\text{об}} := \eta_{\div}$$

$$\eta_{\text{об}} = 0.75$$

Найбільший крутний момент дорівнює сумі вантажного крутного моменту та моменту сил тертя в підшипниках.

$$M_{kp} := T_2 \cdot \left(\frac{D_p \cdot 10^{-3}}{2} + f \cdot \left(\frac{d_{B2} \cdot 10^{-3}}{2} + \mu \right) \cdot \left[\sqrt{(Q_2)^2 + (T_2)^2} \right] \right)$$

$$M_{kp} = 1.64 \cdot 10^4 \cdot H^*_M$$

$$N := \frac{M_{kp} \cdot n}{9740 \cdot \eta_{\text{об}}}$$

$$N = 8.98 \text{ кВт}$$

Для гарантії нормальній роботи стенда необхідно перевірити запас зчеплення між роликом та виробом, прийнявши коеф. зчеплення - для прогумованих = від 0,3 до 0,4, - для сталених = 0,15, приймаємо : $\phi := 0.35$

$$K_{cu} = \frac{Q_1}{\Pi \cdot \phi}$$

$$K_{cu} = 35$$

$$\geq 3$$

					3В-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зчеплення гарантовано

Розрахуємо відстань між роликами:

$$L := 2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \left(\frac{D_p \cdot 10^{-3}}{2} + R\right)$$

$$L = 1.861 \text{ мм}$$

З серійно виготовляємих двигунів за потужністю обираємо підходящий.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики асинхронного електродвигуна

Номінальна потужність	Тип двигуна	Частота обертання $n_d, \text{хв}^{-1}$	$T_{\text{пуск}} / T_{\text{ном}}$	$T_{\text{max}} / T_{\text{ном}}$	КПД, %	$\cos \varphi$
1	2	3	4	5	6	7
Синхрона частота обертання 3000 хв-1						
11,0	4A132M2Y3	2900	1,7	2,8	88,0	0,90

2.4 Компонування складально-зварювального пристрою

Для складання балона з кожухом використовується спеціалізована установка, призначена для збирання обичайок з днищем. Вона забезпечує точне позиціювання, надійну фіксацію та підготовку деталей до зварювання. Конструкція установки включає відкидну консольну площадку, пневмоциліндри (48 одиниць), гвинтові притискачі та центратори. Пневмоциліндри розташовані коаксіально відносно корпусу та кожуха й забезпечують рівномірний притиск. Гвинтові притискачі надають можливість жорсткого закріплення елементів конструкції з регулюванням зусилля. Центратори відповідають за точне вирівнювання деталей, що виключає зсуви та деформації. Виріб під час складання розміщується на роликовому стенді, який забезпечує зручний доступ до місць зварювання та можливість повороту конструкції. Переміщення виробу здійснюється за допомогою роликового конвеєра, що сприяє автоматизації процесу та зниженню трудомісткості. Установка забезпечує стабільність геометрії з'єднання та високу якість попереднього

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складання перед зварюванням. Схематичне зображення установки подано на (рис. 2.5)

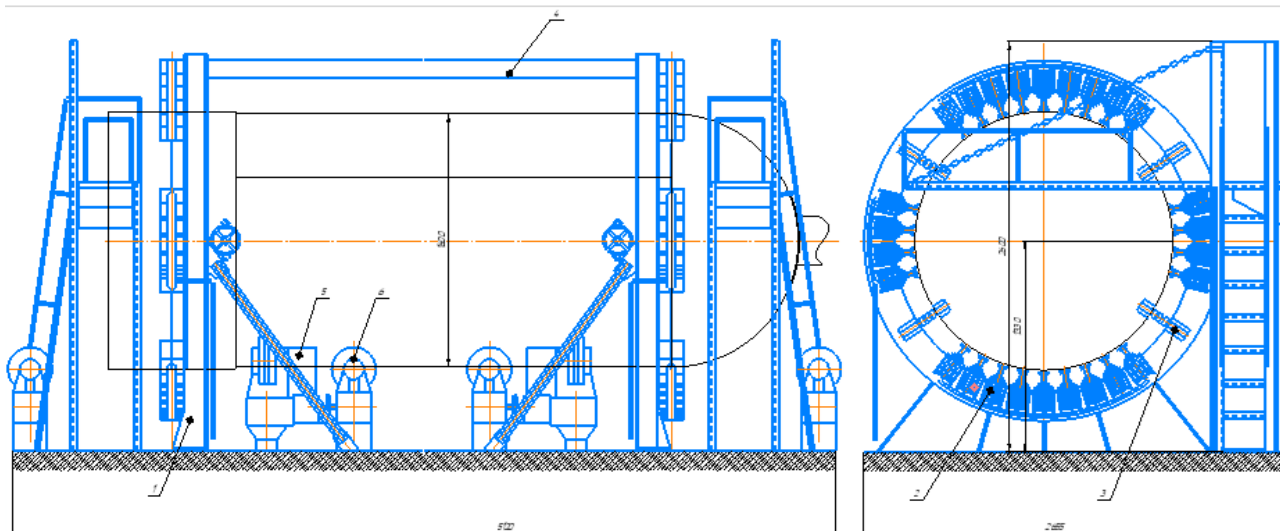


Рисунок 2.5 – Складально-зварювальний стенд

Установка центрується для точної установки деталей для запобігання виникненню дефектів збирання і появи небажаних деформацій.

2.5 Опис роботи складально-зварювального пристрою

Перед зварюванням балон і кожух укладаються на роликівий конвеєр та встановлюються у необхідне положення. Після цього здійснюється фіксація складових частин за допомогою пневмопритискачів і гвинтових притискачів, що забезпечує надійне закріплення елементів конструкції. У процесі простановки прихваток виріб обертається з наперед заданою швидкістю завдяки роликівому стенду, що забезпечує рівномірність фіксації та підготовку до подальшого зварювання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗВ-11.08.00.000 ПЗ

Арк.

49

3 КОМПОНУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ

3.1 Обґрунтування вибору основного технологічного (зварювального) устаткування.

Зварювання балонів високого тиску належить до категорії особливо відповідальних технологічних процесів, оскільки якість з'єднань безпосередньо впливає на безпеку експлуатації. Будь-які дефекти можуть призвести до критичних наслідків, тому в процесі використовуються високоточне обладнання та ретельно контрольовані параметри.

Для виготовлення балонів застосовується автоматизоване зварювання в середовищі активних газів – аргону з 18% CO₂. Така технологія забезпечує стабільність дугового процесу, рівномірне проплавлення та високу якість зварних швів, що є ключовими вимогами до конструкцій, які працюють під високим тиском.

Зварювання виконується за допомогою сучасного джерела живлення в поєднанні з підвісним зварювальним автоматом, призначеним для роботи в захисних газах. На основі розрахункових даних у процесі зварювання використовується джерело живлення ESAB Aristo Mig U5000i WC (рис.3.1) – обладнання, що відповідає суворим вимогам до зварювання відповідальних конструкцій. Воно забезпечує стабільне горіння дуги та оптимальні параметри наведені в таблиці 3.1, необхідні для формування міцного та герметичного з'єднання.

Автомат встановлюється на спеціалізованій зварювальній колоні, що гарантує точне позиціонування і стабільність режимів. Такий підхід мінімізує ймовірність утворення дефектів і забезпечує однорідну структуру металу в зоні шва.

Застосування автоматизованих систем дозволяє виконувати зварювання поздовжніх і кільцевих стикових та напускних швів у нижньому положенні. Це не лише підвищує продуктивність, а й сприяє забезпеченню необхідного рівня якості. Надійність кожного зварного з'єднання має критичне значення, оскільки навіть

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

незначні відхилення можуть зумовити втрату міцності конструкції під дією високого внутрішнього тиску [9-10].



Рисунок 3.1 –Зовнішній вигляд ESAB Aristo Mig U5000i WC [9]

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики ESAB Aristo Mig U5000i WC [9]

Вхідна напруга	380V, 50/60 Hz
Вихід зварювання MIG/MAG	500 A39 V @ 60 % Duty Cycle 400 A34 V @ 100 % Duty Cycle
Вихід зварювання TIG	500 A30 VDC @ 60 % Duty Cycle 400 A26 V @ 100 % Duty Cycle
Вихід зварювання MAG	500 A40 V @ 60 % Duty Cycle 400 A36 VDC @ 100 % Duty Cycle
Напруга холостого ходу	68-80 V 59 V 72-88 V < 35 V
Коефіцієнт потужності при максимальному струмі	0.90
ККД при максимальному струмі	84 %
Діапазон налаштувань MIG/MAG	8-60 VDC (16-500 A)
Діапазон налаштувань MMA/DC	16-500 A
Діапазон налаштувань TIG/DC	4-500 A
Повільний запобіжник	32 A
Режим енергозбереження	36 W
Робоча температура	-10 - +40 °C (14-104 °F)
Керування кабельними з'єднаннями	4x6 mm ²
Номінальна потужність кВА	25.2 kVA
Вага	66 kg

3.2 Обґрунтування необхідності вибору засобів технологічного спорядження (ЗТС) для механізації або автоматизації зварювання одного (або декількох) із зварних швів виробу.

Для забезпечення високої якості зварних з'єднань і підвищення продуктивності виробництва доцільно використовувати механізовані пристрої, які дозволяють точно позиціонувати деталі у необхідному положенні. Це особливо важливо при зварюванні відповідальних конструкцій, таких як балони високого тиску, де стабільність процесу і точність геометрії шва мають вирішальне значення.

У цьому дослідженні для виконання зварних швів використовується зварювальна колона в комбінації з роликовим стендом (обертачем). Таке поєднання обладнання забезпечує ефективне виконання як прямолінійних, так і кільцевих зварних швів, гарантує рівномірний розподіл теплового навантаження та знижує ймовірність утворення внутрішніх напружень у зварних з'єднаннях.

Зварювальні колони призначені для встановлення та переміщення зварювальних апаратів, що забезпечує необхідну точність позиціонування і стабільність процесу. Вони можуть оснащуватися консолями для кріплення несамохідних зварювальних апаратів, а також механізмами лінійного переміщення, які підтримують стабільну швидкість подачі дуги – ключовий фактор досягнення рівномірного проплавлення.

Роликові обертачі використовуються для обертання циліндричних виробів під час зварювання, що забезпечує рівномірне формування шва по всьому периметру. Одночасне використання зварювальної колони та роликового обертача дозволяє:

- виконувати безперервне зварювання кільцевих швів без зупинки процесу для переустановки виробу;
- оптимізувати подачу зварювального пальника відповідно до швидкості обертання деталі, що підвищує якість з'єднання;
- знизити навантаження на оператора та підвищити ефективність виробництва завдяки автоматизації процесу.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування такої комбінації обладнання дає змогу значно зменшити трудомісткість робіт, забезпечити стабільність режимів зварювання та отримати високу якість зварних з'єднань – що є критично важливим для конструкцій, призначених для роботи під високим тиском.

Технічні дані зварювальної колони:

- висота рівня зварювання, найбільша 2800 мм, найменша 800 мм;
- виліт консолі від осі колони до осі електрода, мм: найбільший 2000, найменший 1100;
- швидкість пересування візка; робоча, від 19 м/год. до 77 м/год., маршова, 13 м/хв;
- швидкість підйому і опускання консолі, 2 м/хв ;
- швидкість горизонтального переміщення консолі, 1 м/хв ;
- габаритні розміри (довжина, ширина, висота), мм 2510 × 2380 × 4900
- маса, 2500 кг.

3.3 Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок силових елементів засобів механізації та потужності приводного електродвигуна обраного обладнання

Для забезпечення можливості точного та зручного переміщення зварювального обладнання у тривимірному просторі використовується зварювальна колона, оснащена підйомною та телескопічною (висувною) консоллю. На кінці консолі монтується напрямна штанга, вздовж якої рухається зварювальна головка. Така конструкція дає змогу виконувати зварювальні операції по всій довжині шва без необхідності переміщення самого виробу. Завдяки цьому забезпечується стабільне положення зварювального пальника, зменшуються похибки у формуванні шва та підвищується якість з'єднання. Крім того, механізоване переміщення зварювальної головки сприяє автоматизації процесу, знижує втручання оператора і підвищує повторюваність технологічного результату. Подібне технічне рішення є особливо ефективним при зварюванні великогабаритних або відповідальних конструкцій, зокрема балонів, що працюють

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

під високим тиском. Проведемо перевірочний розрахунок механізму підйому консолі по розрахунковій схемі (рис. 3.2).

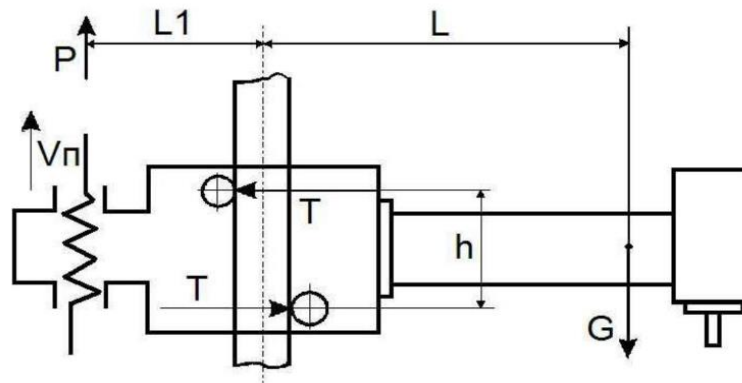


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема механізму підйому консолі [11]

Визначимо геометричні параметри механізму.

Маса консолі разом з навісним обладнанням (зварювальний апарат, флюсобункер, касета з дротом, штанга тощо):

$$m = 860 \text{ кг або вага: } G1 = 9.8 * m = 9.8 * 860 = 8428 \text{ Н.}$$

$$\text{Вага консолі без обладнання: } G1.1 = 3520 \text{ Н.}$$

Із конструктивних міркувань, попереднього проектування виробничої площі, та моделювання (рис. 3.7), було встановлено, що довжина L (відстань від осі колони опори консолі до точки рівноваги консолі) становить 1626 мм. Відстань L1.1 становить 142.5 мм. Відстань h (відстань між елементами кочення або ковзання консолі по колоні) умовно прийmemo 360 мм.

Отже опорні реакції елементів кочення або ковзання:

$$T = G1 * \frac{L + L1.1}{h}$$

$$T = 8428 * \frac{1626 + 142.5}{360} = 41402,55 \text{ Н}$$

Сила спротиву обертанню ролика або руху напрямній ковзання:

$$Wp = 2T * \frac{fp * dp + 2\mu k}{dp} * kp \quad \text{– для роликових напрямних}$$

$$Wk = G1 * \frac{L + L1.1}{h} * fk \quad \text{– для напрямних ковзання}$$

де kp – коефіцієнт який враховує тертя у ребордах роликів. Приймемо kp = 2.0;

fp – коефіцієнт тертя у підшипниках роликів. Приймемо fp = 0.015;

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

μ_k – коефіцієнт тертя кочення роликів по поверхні рейки (напрямній).

Прийmemo 0.1;

f_k – коефіцієнт тертя ковзання. Приймемо $f_k = 0.1$;

d_p – діаметр вісі ролика. Приймемо 40 мм;

D_p – діаметр напрямного ролика. Приймемо $D_p = 100$ мм;

тоді:

$$W_p = 2T * \frac{f_p * d_p + 2\mu_k}{D_p} * k_p = 2 * 41402,55 \frac{0.015 * 40 + 2 * 0.1}{100} * 2.0 = 1324,88 \text{ Н.}$$
 – для роликів напрямних.

$$W_k = G l * \frac{L + L_1}{h} * f_k = 8428 * \frac{1626 + 142.5}{360} * 0.1 = 4140.25 \text{ Н.}$$
 – для напрямних ковзання.

Для подальших розрахунків оберемо схему напрямних ковзання. Так як вони більш простіші в конструкції та обслуговуванні.

$W = W_k$.

Потрібне зусилля підйому:

$$P_{l.1} = W + G l$$

$$P_{l.1} = 4140.25 + 8428 = 12568,25 \text{ Н.}$$

Умова надійності проти заклинювання каретки:

$$\frac{h}{L + L_1} > 2 * f_k * k_3 \text{ – для напрямних ковзання.}$$

В формулі k_3 – коефіцієнт запасу $k_3 = 1.5$

$$\frac{h}{L + L_1} = \frac{360}{1626 + 142.5} = 0,203 > 2 * \frac{f_p * d_p + 2\mu_k}{D_p} * k_3 = 2 * \frac{0.015 * 40 + 2 * 0.1}{100} * 1.5 = 0,024$$

Умова проти заклинювання виконується. Заклинювання виключено.

Потужність приводного двигуна визначимо, виходячи з величини підйомного зусилля:

$$N = \frac{P * V}{\eta_{пр}} = \frac{12568,25 * 0.03}{0.57} = 661.48 \text{ Вт.}$$

де – $\eta_{пр} = 0,57$.

Швидкість підйому прийmemo $V = 0,03$ м/с.

Отже по розрахункам нам підходить двигун : AIP71A2 (0.75 кВт) [33].

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовжуючи розрахунок колони для зварювання та маючи силу спротиву обертання ролика і зусилля підйому, розрахуємо максимальну вагу обладнання:

$$W = W_k$$

Маючи потужність обраного двигуна, розрахуємо зусилля підйому, яке здатен забезпечити обраний двигун:

$$P_{1.2} = \frac{N \cdot \eta_{пр}}{v} = \frac{750 \cdot 0,57}{0,03} = 14250 \text{ Н.}$$

Отже, маючи силу спротиву ковзання та зусилля підйому, яке може забезпечити двигун, розрахуємо вагу навісного обладнання разом з вагою консолі.

$$G_{2.1} = P_{1.2} - W = 14250 - 4140,25 = 10109,75 \text{ Н.}$$

Вага навісного обладнання:

$$G_{3.1} = G_{2.1} - G_{1.1} = 10109,75 - 3520 = 6589,75 \text{ Н.}$$

Відповідно маса:

$$m_{1.1} = \frac{G_3}{9,8} = \frac{6589,75}{9,8} = 672,42 \text{ кг.}$$

Розрахуємо механізм висування штанги за розрахунковою схемою (рис. 3.3) [27].

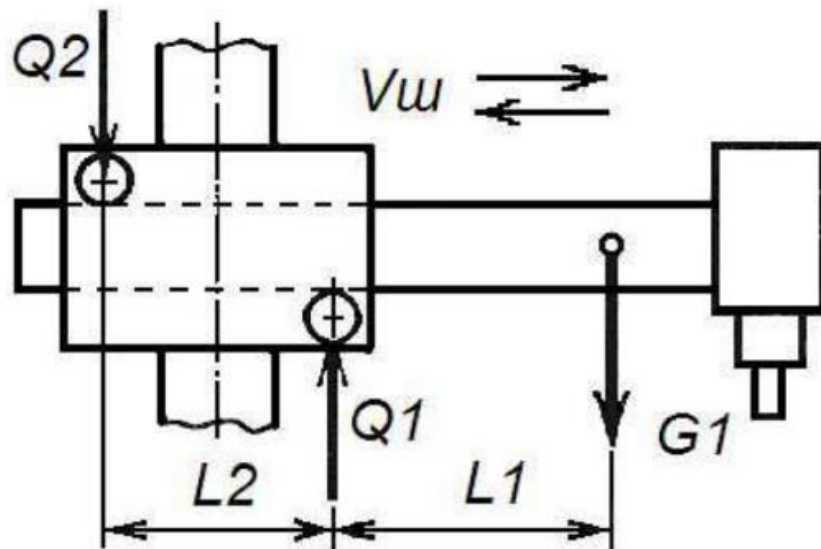


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема механізму висування штанги [11]

Із конструктивних міркувань та попереднього моделювання зварювальної колони відстань L_2 приймемо рівною 500 мм.

$$L_1 = L - \frac{L_2}{2} = 1626 - \frac{500}{2} = 1376 \text{ мм.}$$

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк. 56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді опорні реакції в напрямних складають:

$$Q1 = G1 * \frac{L1-L2}{L2} = 8428 * \frac{1376+500}{500} = 31621.85 \text{ Н.}$$

$$Q2 = G1 * \frac{L1}{L2} = 8428 * \frac{1376}{500} = 23193.85 \text{ Н.}$$

Тоді сила спротиву переміщення штанги по напрямним:

$$Wp1 = (Q1+Q2) * \frac{fp*dp+2\mu k}{Dp} * kp = (31621.85 + 23193.85) * \frac{0.015*20+2*0.1}{80} * 2.0 = 685.19 \text{ Н.} - \text{ для роликових напрямних.}$$

де dp – діаметр вісі ролика приймемо 20 мм.

Dp – діаметр напрямного ролика приймемо 80 мм.

$$Wk1 = G1 * \frac{2L1+L2}{L2} * fk = 8428 * \frac{2*1376+500}{500} * 0.1 = 5481,57 \text{ Н.} - \text{ для напрямних ковзання.}$$

Як бачимо більш ефективною є схема на роликових напрямних.

$$W1 = Wp1$$

Визначимо зусилля, необхідне для переміщення штанги по напрямним у період розгону. Величина прискорення обирається у межах $a = 0.01 \dots 0.15 \text{ м/с}^2$.

Приймемо: $a = 0.01 \text{ м/с}^2$.

$$Wроз = W1 + G1 * \frac{a}{9.81} = 685.19 + 8428 * \frac{0.01}{9.81} = 693.78 \text{ Н.}$$

Потужність приводного електродвигуна визначаємо, виходячи з величини потрібного зусилля в період розгону.

$$N\partial = \frac{Wроз*V}{\eta_{пр}} = \frac{693.78*0.03}{0.057} = 365.14 \text{ Вт.}$$

З списку серійно виробляємих двигунів, обираємо той, що найбільш відповідає результату розрахунку. Обрано двигун АІР63А2 (0.37 кВт) [33].

Визначимо максимальну відстань висування консолі L1 (мм) на роликових напрямних консолі.

Визначимо зусилля в період розгону, яке може забезпечити обраний двигун.

$$Wроз1 = \frac{N*\eta_{пр}}{V} = \frac{370*0.57}{0.03} = 7030 \text{ Н.}$$

Визначимо силу спротиву для штанги:

$$W = Wроз1 - G1 * \frac{a}{9.81} = 7030 + 8428 * \frac{0.01}{9.81} = 7038.59 \text{ Н.}$$

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначим максимальну довжину висування штанги на роликових напрямних.

$$L_{\text{коч}} = \frac{W \cdot L_2}{2 \cdot G_1 \cdot \left(\frac{f \cdot p \cdot d_p + 2 \cdot \mu k}{D_p} \cdot k_p \right)} - \frac{L_2}{2} = \frac{7038.59 \cdot 500}{2 \cdot 8428 \cdot \left(\frac{0.015 \cdot 20 + 2 \cdot 0.1}{80} \cdot 2.5 \right)} - \frac{500}{2} = 13112.29 \text{ мм.}$$

Опорні реакції:

$$Q_1 = G_1 \cdot \frac{L_{\text{коч}} + L_2}{L_2} = 8428 \cdot \frac{13112.29 + 500}{500} = 229448.76 \text{ Н.}$$

$$Q_2 = G_1 \cdot \frac{L_{\text{коч}}}{L_2} = 8428 \cdot \frac{13112.29}{500} = 221020.76 \text{ Н.}$$

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

Для забезпечення можливості точного та зручного переміщення зварювального обладнання у тривимірному просторі використовується зварювальна колона, оснащена підйомною та телескопічною (висувною) консоллю. На кінці консолі монтується напрямна штанга, вздовж якої рухається зварювальна головка. Така конструкція дає змогу виконувати зварювальні операції по всій довжині шва без необхідності переміщення самого виробу. Завдяки цьому забезпечується стабільне положення зварювального пальника, зменшуються похибки у формуванні шва та підвищується якість з'єднання. Крім того, механізоване переміщення зварювальної головки сприяє автоматизації процесу, знижує втручання оператора і підвищує повторюваність технологічного результату. Подібне технічне рішення є особливо ефективним при зварюванні великогабаритних або відповідальних конструкцій, зокрема балонів, що працюють під високим тиском. Розрахункова схема наведена на (рис. 3.4).

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

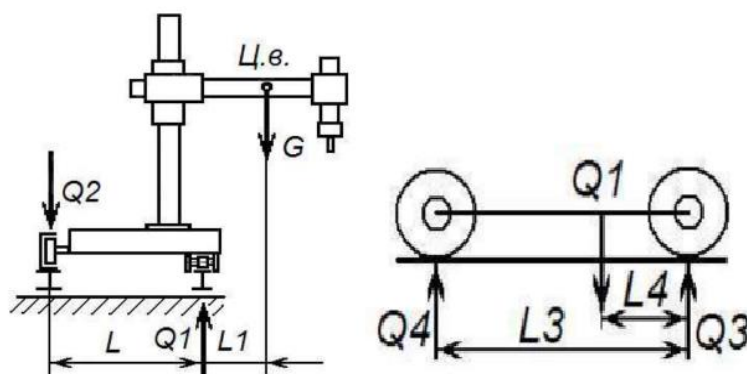


Рисунок 3.4 – Схема дії сил в глгольному візку (вид спереду та збоку) [11]

Визначимо геометричні параметри глгольного візка згідно (рис. 3.4).

Маса всієї конструкції : $m = 4358$ кг., отже вага $G = 9.8 * 4358 = 42708,4$ Н.

Ширина рейкового шляху прийемо: $L = 1200$ мм.

Відстань від рейки до центру ваги консолі: $L1 = 1026$ мм.

Колісна база ходових коліс з конструктивних міркувань прийемо:
 $L3 = 1800$ мм.

Відстань до точки розташування колони на платформі: $L4 = 1000$ мм.

Вертикальні реакції ходових коліс:

$$Q1 = G * (L + L1) : L = 42708,4 * (1200 + 1026) : 1200 = 79224.08 \text{ Н.}$$

$$Q2 = G * L1 : L = 42708,4 * 1026 : 1200 = 36515.68 \text{ Н.}$$

Реакція $Q1$ буде розподілятися між приводними колесами в залежності від місця розташування колони на платформі.

$$Q3 = Q1 * (L3 - L4) : L3 = 79224.08 * (1800 - 1000) : 1800 = 35210.7 \text{ Н.}$$

$$Q4 = Q1 * L4 : L3 = 79224.08 * 1000 : 1800 = 44013.37 \text{ Н}$$

Метою розрахунку є діаметри валів холостого та приводного коліс та потужність приводного електродвигуна.

Для подальшого розрахунку механізму переміщення, необхідно визначитись з типом ходових коліс, що забезпечує характер контакту колеса з поверхнею рейки.

Обрано ходові колеса з циліндричним ободом, схеми яких представленні на (рис. 3.5).

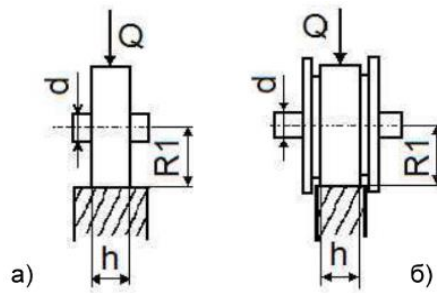


Рисунок 3.5 – Схеми ходових коліс візка де (а – холостих; б – приводних) [12]

Прийmemo геометричні параметри коліс:

Радіус колеса: $R1 = 150 \text{ мм}$.

Ширина поверхні контакту колеса з рейкою: $h = 80 \text{ мм}$.

На підставі аналізу опорних реакцій на приводних колесах $Q3$ та $Q4$ визначаємо, що розрахунок будемо проводити по максимальному значенню $Q4$.

$$Q = Q4.$$

Прийmemo попередньо коефіцієнти:

Kf – коефіцієнт, враховуючий вплив тангенційних сил тертя. Прийmemo $Kf = 1.1$

KN – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження по ширині рейки.

Для лінійного контакту прийmemo: $KN = 1.2$

P – максимальне навантаження на обод колеса. Для нашого випадку: $P = Q4$

Приведений модуль пружності визначається в залежності від матеріалу колеса $E1$ та головки рейки $E2$.

Прийmemo:

$$E1 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

$$E2 = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Тоді:

$$E = \frac{2 \cdot E1 \cdot E2}{E1 + E2} = \frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,9 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^5 + 1,9 \cdot 10^5} = 199500 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_l = 0,167 \cdot 10^{-6} \cdot Kf \cdot \sqrt{\frac{P \cdot E \cdot KN \cdot 10^6}{R1 \cdot h \cdot 10^{-6}}} = 0,167 \cdot 10^{-6} \cdot 1,1 \cdot \sqrt{\frac{44013,37 \cdot 199500 \cdot 1,2 \cdot 10^6}{150 \cdot 80 \cdot 10^{-6}}} = 172,13 \text{ МПа.}$$

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контактні напруження не повинні перевищувати величину допустимих напружень.

Прийmemo: $HV = 2400 \text{ МПа}$ та $\sigma_d = 0.2 * HV = 0.2 * 2400 = 480.$
 $\sigma_d \text{ МПа}$ більше за $\sigma_{\text{д}}$. Умова виконується.

Визначення діаметрів валів ходових коліс.

Умовно вісь колеса можна розглядати як двохопорну балку, яка навантажена силою у середині проліту.

Прийmemo відстань між опорами вала холостого колеса: $L_5 = 200 \text{ мм.}$

$$M_{zg_x} = \frac{Q_2 * L_5}{4} * 10^{-3} = \frac{36515.68 * 200}{4} * 10^{-3} = 1825.78 \text{ Н*м.}$$

Діаметр валу холостого колеса визначимо по величині згинального моменту, задавши величину допустимих напружень на згин.

$$\sigma_d = 80 \text{ МПа.}$$

$$dx = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{zg_x}}{\pi * \sigma_d * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 1825.78}{\pi * 80 * 10^6}} = 0,061 \text{ м.}$$

Розрахунок валу приводного колеса проведемо згідно з розрахунковою схемою (рис. 3.6):

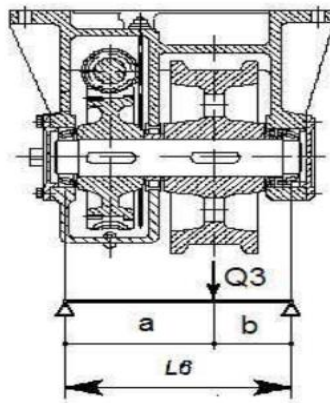


Рисунок 3.6 – Розрахункова схема приводного колеса [12]

Визначим геометричні параметри приводного колеса:

Прийmemo: $L_6 = 350 \text{ мм.}$ $a = 240$ $b = 110$

$$M_{zg_np} = Q_4 * \frac{a * b * 10^{-3}}{a + b} = 44013.37 * \frac{240 * 110 * 10^{-3}}{240 + 110} = 3319.86 \text{ Н*м.}$$

Попередньо прийmemo коефіцієнти тертя у підшипниках кочення: $f_p = 0.015;$

					3В-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

μ_k – коефіцієнт тертя кочення колеса. Прийmemo 0.3;

k_p – коефіцієнт враховуючий тертя у ребордах колеса. Прийmemo 2.5

В першому наближенні знехтуємо крутним моментом.

$$M_{kp1} = 0$$

$$M_{екв} = \sqrt{M_{kp1}^2 + M_{зг_пр}^2} = \sqrt{0^2 + 3319.86^2} = 3319.86 \text{ Н*м.}$$

Діаметр валу у першому наближенні

$$d_{np1} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{екв1}}{\pi * \sigma_D * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 3319.86}{\pi * 80 * 10^6}} = 0,075 \text{ м.}$$

Прийmemo діаметри валів, а також опорні підшипники однаковими для усіх коліс. Сумарне зусилля супротиву пересування візка:

$$W_{t1} = (Q_2 * \frac{d_{np1} * f_p + 2\mu_k}{2 * R_1}) + K_p * (Q_3 + Q_4) * \frac{d_{np1} * f_p + 2\mu_k}{2 * R_1} = (36515.68 * \frac{0,075 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150}) + 2.5 * (35210.7 + 44013.37) * \frac{0,075 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150} = 396.94 \text{ Н.}$$

Тоді у другому наближенні, крутний момент дорівнюватиме:

$$M_{kp2} = W_{t1} * R_1 * 10^{-3} = 396.94 * 150 * 10^{-3} = 59.54 \text{ Н*м.}$$

Еквівалентний момент:

$$M_{екв2} = \sqrt{M_{kp2}^2 + M_{зг_пр}^2} = \sqrt{59.54^2 + 3319.86^2} = 3320.39 \text{ Н*м.}$$

І діаметр валу у другому наближенні:

$$d_{np2} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{екв2}}{\pi * \sigma_D * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 3320.39}{\pi * 80 * 10^6}} = 0,075 \text{ м.}$$

Значення діаметру не змінилось. Розрахунок припиняємо.

З ряду лінійних розмірів обираємо найближчий розмір з округленням у більший бік: $d_v = 75 \text{ мм.}$

Визначаємо зусилля необхідне для пересування візка під час прискорення (розгону). $a = 0.01$

$$W_{t2} = (Q_2 * \frac{d_v * f_p + 2\mu_k}{2 * R_1}) + K_p * (Q_3 + Q_4) * \frac{d_v * f_p + 2\mu_k}{2 * R_1} = (36515.68 * \frac{0,075 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150}) + 2.5 * (35210.7 + 44013.37) * \frac{0,075 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150} = 1348.81 \text{ Н.}$$

$$W_{роз} = W_{t2} + G * \frac{a}{9.8} = 1348.81 + 42708,4 * \frac{0.01}{9.8} = 1392.39 \text{ Н.}$$

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Прийmemo: $Q_{\min} = Q_3$;

Ψ – коефіцієнт зачеплення колеса з рейкою. Приймемо $\Psi = 0.2$.

$$K_{зч} = \frac{\Psi \cdot Q_{\min}}{WT_2} = \frac{0.2 \cdot 35210.7}{1348.81} = 5.22 > 2 \text{ Умова виконується.}$$

$$K_{зчроз} = \frac{\Psi \cdot Q_{\min}}{W_{роз}} = \frac{0.2 \cdot 35210.7}{1392.39} = 5.05 > 2 \text{ Умова виконується.}$$

Потужність приводного двигуна визначаємо по сумарному зусиллю спротиву пересування візка:

$$N = \frac{WT_2 \cdot V}{\eta_{пр}} = \frac{1348.81 \cdot 0.3}{0.57} = 709.9 \text{ Вт.}$$

Отже нам підходить двигун AIP71A2 (0.75 кВт) [33].

3.5 Опис роботи зварювальної установки

Для виконання заданого зварного шва виробу (зварного балону) використовується автоматизований процес дугового зварювання в середовищі активних газів, зокрема в газовій суміші аргону з додаванням 18% вуглекислого газу (CO₂). Така технологія забезпечує стабільність горіння дуги, рівномірне проплавлення з'єднання та знижує вплив людського чинника, що є особливо важливим при виготовленні відповідальних конструкцій.

Ключовим елементом технологічного комплексу є високотехнологічне джерело живлення ESAB Aristo Mig U5000i WC, яке працює у зв'язці з підвісним зварювальним автоматом TeslaWeld Star MIG/MAG NSX6. Цей апарат спеціально розроблений для виконання зварювання в захисних газах і забезпечує високу точність і повторюваність параметрів зварювання. Зварювальний автомат монтується на консолі зварювальної колони, що дозволяє забезпечити точне позиціонування пальника вздовж зварного шва, зберігаючи стабільність режимів упродовж усього процесу.

Для підвищення мобільності та адаптації до різних умов виробництва, зварювальна колона розміщується на глгольному візку, який дозволяє легко

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінювати її положення без необхідності переміщення самого виробу. Це особливо зручно при роботі з великогабаритними або масивними конструкціями.

Додатковим елементом системи є роликовий стенд, що складається з ведених і приводних роликів, які приводяться в дію через мотор-редуктор. Такий стенд забезпечує обертання виробу з контрольованою швидкістю, що дозволяє формувати зварний шов рівномірної якості по всьому периметру циліндричної деталі, наприклад, балона високого тиску (рис. 3.7, 3.8).

Використання комплексної системи автоматизації дає змогу:

- оптимізувати виробничий процес шляхом зменшення кількості ручних операцій;
- забезпечити високу стабільність параметрів зварювання, необхідну для отримання якісного та герметичного з'єднання;
- підвищити загальну ефективність виробництва, зменшивши ризик виникнення дефектів у зварних швах.

Завдяки точному контролю процесу та використанню сучасного обладнання, досягається необхідна якість зварних з'єднань, що гарантує надійність конструкції в умовах високого тиску та потенційно небезпечної експлуатації.

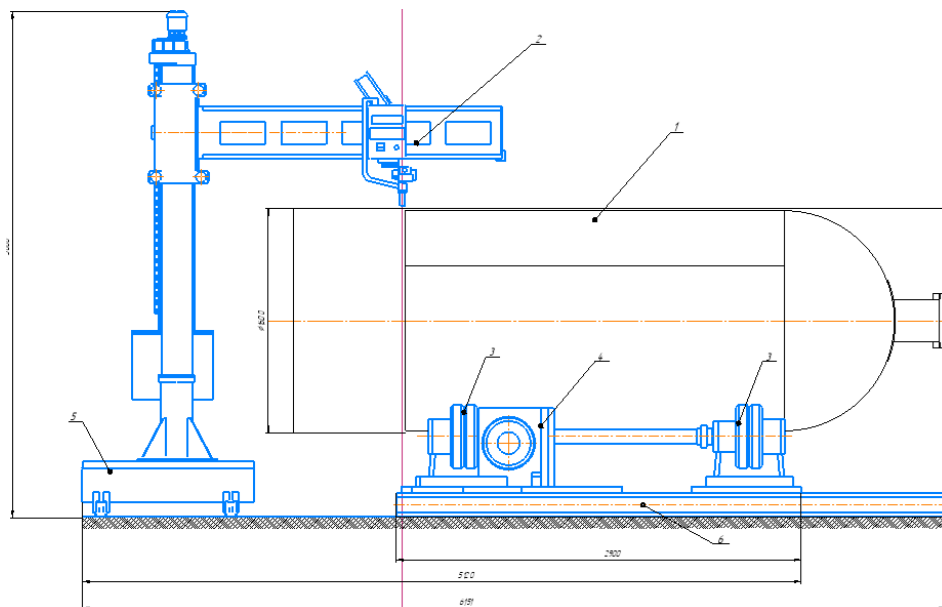


Рисунок 3.7 – Установка для зварювання балона високого тиску

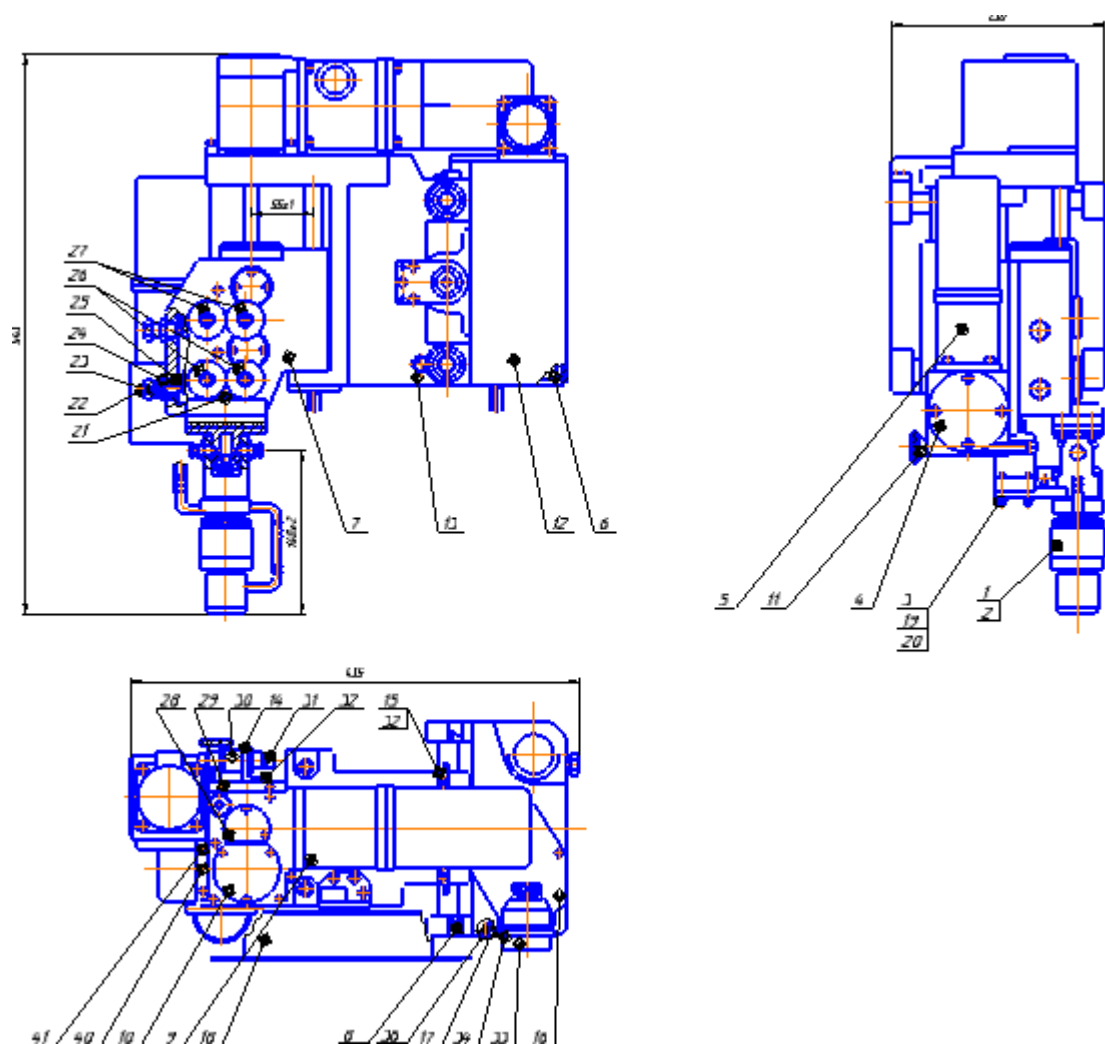


Рисунок 3.8 – Підвісна зварювальна головка TeslaWeld Star MIG/MAG NSX6 [9]

Складання та зварювання поздовжнього шва обичайки виконується на спеціалізованому складальному стенді (рис. 3.9) який працює у зв'язці з ESAB Aristo Mig U5000i WC, і TeslaWeld Star MIG/MAG NSX6, розміщеним на зварювальній колоні, що забезпечує точне взаємне розташування заготовок, надійне фіксування елементів та зручний доступ до зони зварювання.

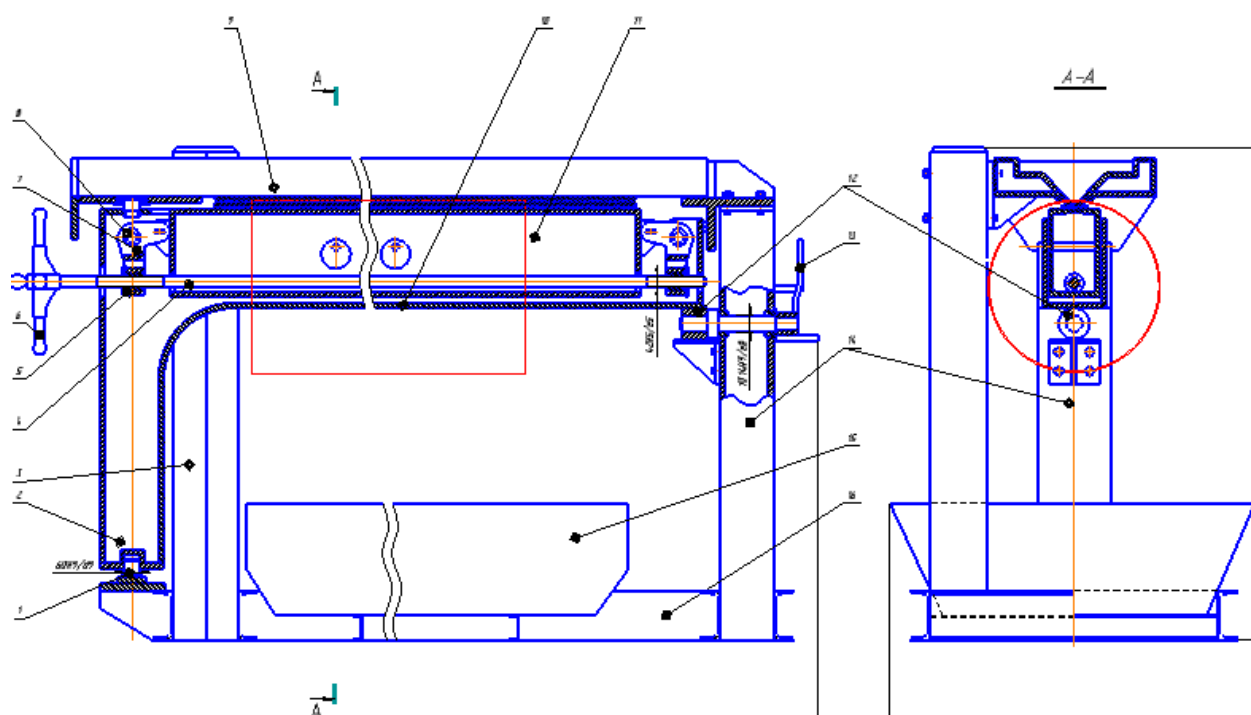


Рисунок 3.9 – Стенд для складання і виконання поздовжнього шва обичайки балона.

3.6 Призначення способу контролю якості виготовлення зварного виробу

Надійність і безпечна експлуатація сталевих балонів високого тиску безпосередньо залежать від якості зварних з'єднань. Навіть незначні дефекти у швах можуть спричинити втрату герметичності, що критично для обладнання, призначеного для зберігання чи транспортування газів під тиском. У деяких випадках це може призвести до аварійних ситуацій під час експлуатації або випробувань.

Контроль якості зварних з'єднань є технічно складним та економічно витратним процесом, однак запобігання дефектам на етапі виготовлення, навіть за умови збільшення витрат на технологічні операції, виправдане з огляду на підвищення загальної надійності виробу.

До потенційних дефектів першої групи відносять ті, що виникають внаслідок металургійних, термічних та гідродинамічних процесів при формуванні зварного

шва: пори, холодні тріщини, канали, зміна механічних характеристик металу шва та зони термічного впливу.

Друга група дефектів – це порушення формування швів: непровари, подрізи, кратери, включення, напливи, кольори мінливості тощо. Їх поява пов'язана з відхиленням параметрів зварювання, несправністю обладнання, неякісною підготовкою стиків, помилками при складанні та низьким рівнем культури виробництва.

До дефектів також відносять геометричні відхилення – зміни форми або розмірів обичайки внаслідок зварювальних деформацій.

Забезпечення високої якості зварних балонів можливе лише за умов використання прогресивних технологій та чітко налагодженої системи контролю на всіх етапах виробництва. Досвід експлуатації зварних конструкцій свідчить, що недостатній контроль або його відсутність на окремих етапах – одна з основних причин виходу обладнання з ладу.

Технологічний контроль поділяється на попередній і поопераційний. Попередній контроль передбачає перевірку наявності й відповідності технічної документації, якості вхідних матеріалів, стану обладнання, кваліфікації персоналу, а також підготовки стиків до зварювання.

Матеріали повинні постачатися разом із сертифікатами якості, а вхідний контроль включає перевірку відсутності розшарувань, окалини, дефектів поверхні, відповідності геометричних параметрів. Зварювальні дроти, флюси й електроди мають відповідати вимогам технології і не містити забруднень, здатних викликати дефекти.

Окрему увагу приділяють стану обладнання: джерела живлення повинні забезпечувати стабільну дугу, точне регулювання струму, а механічні пристрої – чіткий рух і фіксацію заготовок під час зварювання. Регулярна перевірка приладів та вузлів обладнання – необхідна умова для запобігання відмовам у процесі роботи.

З метою забезпечення герметичності та міцності швів балонів, доцільним є застосування високоточних неруйнівних методів контролю, зокрема:

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ультразвуковий контроль – відповідно до ISO 17640 або ДСТУ ISO 17640:2019: метод контролю зварних з'єднань ультразвуковим неруйнівним методом. Забезпечує виявлення внутрішніх дефектів і оцінку їх критичності.
- контроль на герметичність (тече-шуканням) – згідно з ISO 12828 або ДСТУ EN 13184 (якщо використовується гелій) чи ДСТУ ISO 20485 (загальні методи неруйнівного контролю на герметичність): дозволяє виявляти мікропротікання в балонах, призначених для роботи під високим тиском.

Обов'язковими є також:

- Візуальний і оптичний контроль – за ISO 17637 або ДСТУ ISO 17637.
- Радіографічний контроль (рентгенографія) – за ISO 17636-1/2 або ДСТУ ISO 17636-1/2.
- Механічні випробування зварних з'єднань – згідно з ISO 9015-1 (визначення твердості), ISO 5173 (випробування на вигин), ISO 4136 (випробування на розтяг) або ДСТУ ISO 5173, ДСТУ ISO 4136.
- Гідравлічні або пневматичні випробування на міцність і герметичність – згідно з ISO 10297, ISO 11120 або ДСТУ EN ISO 10297, ДСТУ EN ISO 11120 – залежно від типу балона.

Оскільки сталевий балон призначений для транспортування і зберігання стиснених газів, критичними параметрами є герметичність і стійкість до внутрішнього тиску. Тому після зварювання виконується випробування на герметичність стисненим повітрям або інертним газом відповідно до ДСТУ ISO 20485.

Балон герметизують, з'єднують із системою контролю і подають тиск, що перевищує робочий (не менш як 1,2×роб). Витримка під тиском здійснюється згідно з нормативною документацією. При наявності найменших втрат тиску або ознак витікання виріб підлягає доопрацюванню або вибраковується.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАНУ ВИРОБНИЧОЇ ПЛОЩІ

4.1 Визначення типу виробництва

Отже, залежно від кількості номенклатури виробів та частоти їх виготовлення визначається тип виробництва – одиничне, дрібносерійне, серійне, крупносерійне або масове. У межах даного проєкту передбачено виготовлення 500 виробів на рік, при цьому маса одного комплексу становить 1167 кг. Таким чином, загальна маса річного випуску зварних конструкцій складає:

$$500 \times 2500 = 1\,250\,000 \text{ кг/рік.}$$

На підставі цих розрахунків, керуючись даними таблиці 1.1, виробництво балону високого тиску слід віднести до серійного типу.

Серійне виробництво характеризується випуском продукції партіями (серіями), які повторюються з певною періодичністю. Виготовлення здійснюється на спеціалізованих технологічних ділянках, часто в умовах потокової організації праці із застосуванням універсального та спеціального обладнання. Типовим є використання спеціальних пристосувань для фіксації заготовок і механізованих систем подачі листового, сортового та профільного прокату. У виробничому процесі активно задіюються системи підвісного й підлогового транспорту.

4.2 Визначення кількості устаткування

Кількість основного технологічного устаткування для складально–зварювальної ділянки визначалась на основі маршрутної технології виготовлення балки змінного перерізу. У розрахунках враховано річну верстатомісткість кожної операції, трудомісткість налагодження відповідного устаткування, ефективний річний фонд часу роботи устаткування, а також рекомендований коефіцієнт завантаження, характерний для умов серійного виробництва.

Потреба в устаткуванні визначалась окремо для кожної операції з урахуванням характеру виробничого процесу, технічних характеристик застосовуваного устаткування та періодичності повторення технологічного циклу.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливу увагу приділено операціям зварювання та складання як найбільш трудомістким і критичним з точки зору точності виконання.

Узагальнені результати наведено в табл. 4.1, де зазначено загальну кількість устаткування для кожної операції з округленням до цілого значення.

Таблиця 4.1 – Зведені дані щодо потреби в устаткуванні для складально-зварювальної ділянки [20]

Назва устаткування	Графічне зображення	Кількість
Дробоструминна установка прохідного типу SK-10 CETINGIL		1
Листопрямильная машина Bendmak BPSM 25/35. Робоча довжина 2500 мм Товщина металу 35 мм		1
Верстат плазмового різання Tesla Weld CNC-CUT DP		1
Універсальний верстат для оброблення поверхні EMC FLEXY M1350		1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗВ-11.08.00.000 ПЗ

Арк.

70

Продовження таблиці 4.1

Назва устаткування	Графічне зображення	Кількість
Ручний фаскознімачі PROMOTECH BM21 47796		1

4.3 Розрахунок чисельності працюючих складально-зварювального цеху

До виробничого персоналу належать працівники, які безпосередньо виконують технологічні операції, спрямовані на виготовлення готової продукції. Основу цієї категорії складають робітники основних професій, серед яких: зварювальники, складальники, токарі, шліфувальники, верстатники, малярі, ґрунтувальники та інші фахівці, що забезпечують реалізацію основних технологічних процесів.

Крім того, важливу роль у забезпеченні безперебійної роботи виробництва відіграють допоміжні працівники, до обов'язків яких входить обслуговування та підтримка працездатності виробничого обладнання, постачання інструментів, ремонт і технічне обслуговування, складування матеріалів тощо. Для спрощення розрахунків чисельність допоміжного персоналу доцільно приймати в межах 20–30% від кількості основних робітників, що відповідає типовим рекомендаціям у машинобудівному виробництві.

Окрім робітників, у структурі трудових ресурсів підприємства також виділяють такі категорії працівників:

- інженерно-технічні працівники (ІТП) – фахівці, які забезпечують планування, організацію, контроль та вдосконалення виробничого процесу;
- службовці – адміністративно-управлінський персонал, що виконує організаційно-документальну і планову роботу;

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- працівники служби технічного контролю (ВТК) – здійснюють контроль якості продукції на різних етапах виробництва;
- молодший обслуговуючий персонал – працівники, які забезпечують належні санітарно-побутові умови на підприємстві.

Для розрахунків загальної чисельності персоналу можна скористатись типовими співвідношеннями між категоріями працюючих, наведеними у таблиці 4.2 (умовне джерело, наприклад, методичні вказівки або галузеві нормативи).

Таблиця 4.2 – Кількість працівників на робочій зміні

Операція	A	B	C	D	E	F
Марка обладнання	Мостова кран балка, Навантажувач 02-8FDF30	Плазморізна установка MARLIN TURHOON	Обертач	Установка для зварювання під шаром флюсу	Зварювальний мобільний пост для механізованого та автоматизованого зварювання	Листоправильна машина Bendmark BPSM 20/18
Категорія основних робітників	Транспортувальник	Оператор плазморізу	Оператор кантувача	Оператор зварювальної установки	Зварник механізованого зварювання	Оператор листоправильної машини
Кількість основних робітників	1	1	1	1	1	1
Інженерно технічні працівники	1					
Кількість допоміжних робітників	2					
Контролери - ВТК	1					

Отже, на робочій зміні для роботи цеху потрібно 10 осіб.

4.4 Основні вимоги для планування цеху

Колони, розташовані в одному ряду, з'єднуються між собою за допомогою підкроквяних ферм. Ці ферми виконують важливу роль проміжної опори, підтримуючи основні несучі конструкції покриття – кроквяні ферми. Самі кроквяні ферми відповідають за прийняття вертикальних навантажень, які виникають від ваги покрівельної системи, та передають ці навантаження далі на несучі елементи каркаса будівлі. Таким чином, підкроквяні ферми забезпечують жорсткість та

стійкість всієї покрівельної конструкції, дозволяючи рівномірно розподіляти навантаження.

Відстань між осями колон у суміжних рядах є ключовим параметром, який визначає ширину прольоту виробничого цеху. Цей розмір чітко регламентований діючими будівельними нормами та стандартами, що гарантують безпеку та функціональність споруди. Зазвичай, ширина прольоту коливається в межах 18, 24, 30 або 36 метрів, залежно від типу будівлі та її призначення. Вибір конкретного розміру пов'язаний із технологічними потребами, типом виробництва, а також економічною доцільністю [13].

Поздовжній крок колон, тобто відстань між окремими колонами в одному ряду, найчастіше становить 12 метрів. Проте в окремих випадках, коли це обумовлено специфікою конструкції або технологічним процесом, крок колон може бути зменшений до 6 метрів. Таке рішення приймається з метою забезпечення додаткової жорсткості каркаса або для підтримки специфічного технологічного обладнання, що вимагає більш частого розташування опорних елементів.

Таблиця 4.3 – Мінімальна ширина проходів та проїздів [13]

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 потоку переміщення вантажів необхідно виключити зустрічні та пересічні вантажопотокові операції складання та зварювання.

4.5 Визначення необхідних вантажо-підіймальних засобів, проходів, проїздів

Для організації ефективного внутрішньоцехового транспортування металопрокату, піддонів з напівфабрикатами, вузлами та готовою продукцією, виробнича ділянка потребує оснащення вантажопідйомним обладнанням. Найбільш доцільним варіантом у цьому випадку є встановлення мостового крана загального призначення типу 4СЛ G80, розрахованого на вантажопідйомність 2,36 тонни та з прольотом 18 метрів. Такий тип крана дозволяє забезпечити високу гнучкість у переміщенні різноманітних вантажів у межах всієї площі ділянки, зокрема зони обробки, складування та відвантаження.

Для організації ефективної логістики на території виробничої ділянки додатково передбачається облаштування одного наскрізного транспортного проїзду. Це рішення забезпечить безперешкодний рух навантажувачів, автотранспорту або іншого технологічного транспорту, що бере участь у внутрішньому переміщенні вантажів та матеріалів, а також сприятиме оптимізації загального логістичного потоку на підприємстві.

З урахуванням того, що проектувана будівля є одноповерховою та має бути обладнана мостовим краном, доцільно дотримуватись нормативних вимог щодо висотних параметрів конструкції. Згідно з чинними будівельними нормами та рекомендаціями (наприклад, джерело [55]), мінімальна висота від рівня підлоги до низу перекриття або несучих конструкцій покриття має становити не менше ніж 8,4 метра. Це необхідно для забезпечення вільного переміщення крана з вантажем та безпечного функціонування всього підйомно-транспортного комплексу. Відповідно, висота установки підкранових шляхів, тобто позначка розташування рейок, має бути не нижчою за 6,15 метра від рівня чистої підлоги.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

5.1 Стартап як форма підприємництва

У сучасних реаліях підприємницька діяльність набуває нових, динамічних форматів, одним з яких є стартап – інноваційна модель ведення справи, що передбачає створення технічного або технологічного продукту з високим потенціалом масштабування. Стартапи, особливо у сфері машинобудування та виробництва, відзначаються орієнтацією на нестандартні підходи до розв’язання галузевих проблем і на швидке реагування на виклики ринку.

Відмінна риса таких ініціатив – прагнення знайти нетипові рішення актуальних технічних задач, часто через поєднання новітніх технологій, оптимізації виробничих процесів або переосмислення підходів до матеріалів та конструювання. Це можуть бути, зокрема, інженерні розробки, які забезпечують підвищену ефективність виробництва, безпеку експлуатації та економію ресурсів.

Ключова особливість управління подібними проєктами – це гнучкість і висока адаптивність. Зазвичай стартап-команди компактні, але складаються з фахівців широкого профілю, що дозволяє оперативно вносити зміни в технічну документацію, оптимізувати виробничі витрати або переорієнтовувати продукт під запит конкретного сегмента ринку – наприклад, з цивільного на оборонний.

Фінансування стартапів технічного спрямування часто формується за рахунок галузевих грантів, державних програм підтримки інновацій, а також через венчурне інвестування, особливо у випадках, коли проєкт має значення для безпеки та інфраструктурної стійкості країни. Окрім фінансових ресурсів, важливу роль відіграє менторська та експертна підтримка з боку галузевих інститутів, асоціацій та кластерів.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Стартап проєкт			
Розробив		Недашківський О.О.						
Перевір		Попіль Ю.С.						
Н.Контр.		Лисак В.В.						
Затв.		Квасницький В.В.			Літ. Арк. Акрушів			
					95 116			
					КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О Патона			

Попри численні ризики – від нестачі фахових кадрів до труднощів у сертифікації нових конструкцій – інженерні стартапи у сфері металообробки, зварювання й машинобудування можуть суттєво вплинути на технічний ландшафт країни. Саме вони здатні створювати рішення, які відповідають нагальним потребам воєнного часу й відновлення промисловості.

Таким чином, стартап у галузі зварних конструкцій – це не просто нове підприємство, а стратегічна ініціатива, що поєднує науковий підхід, інженерну практику та потреби ринку. У контексті сучасної України це також інструмент посилення технологічного суверенітету та обороноздатності держави.

5.2 Опис ідеї проєкту

Основною метою даного стартапу є розробка та впровадження технології виготовлення зварного балона – металевої герметичної конструкції, призначеної для зберігання, транспортування або накопичення стиснених, зріджених або розчинених газів під тиском. У контексті воєнного стану та післявоєнної відбудови України, потреба в надійних ємностях цього типу зросла як у цивільному, так і в промисловому та оборонному секторах.

Запропонована розробка орієнтована на створення лінії виробництва балонів, зварених із легованих або вуглецевих сталей, які відповідають міжнародним стандартам міцності та безпеки. Враховуючи специфіку застосування, балони можуть бути адаптовані під потреби:

- цивільної інфраструктури (газопостачання, вентиляція, автономні системи опалення);
- промислових підприємств (технічні гази для зварювання, різання, хімічних процесів);
- військової сфери (мобільні системи зберігання та транспортування пального, кисню, азоту, інертних газів).

Конструктивна перевага полягає у використанні методів автоматизованого зварювання в захисних газах або вакуумного зварювання для забезпечення цілісності швів при дії високого тиску. Згідно даних наведених у таблиці 5.1,

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попередньо, можна зробити висновок, що потенційними ринками збуту продукції будуть компанії, які спеціалізуються на будівництві жилих, промислових та інфраструктурних об'єктів.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту виготовлення зварного агітатора

Суть ідеї	Напрямки застосування	Ключові переваги для користувача
Реалізація інженерного рішення щодо створення лінії з виробництва зварних газових балонів, що відповідають сучасним вимогам міцності, герметичності, безпеки та довговічності. Проект орієнтований на оперативне покриття дефіциту високоякісних металевих балонів у промисловості, комунальному секторі та оборонній галузі України.	1. Промислове застосування (енергетика, машинобудування, хімічне виробництво): транспортування та зберігання технічних газів – кисню, вуглекислого газу, аргону, ацетилену тощо.	Надійність, сертифікована безпека, відповідність європейським стандартам, стійкість до високого тиску, адаптація до інтенсивного виробничого циклу
	2. Цивільне використання (система автономного газопостачання у приватних домогосподарствах, побутове зберігання пропану, балони для кемпінгу або обігріву)	Міцність конструкції, довговічність, простота обслуговування, можливість вторинного використання, екологічна безпека
	3. Військове та оборонне застосування (мобільні блоки газопостачання, бойові та тиллові машини з газовими системами, засоби забезпечення медичних підрозділів – зберігання кисню)	Висока герметичність, вибухозахищеність, стійкість до механічних пошкоджень, сумісність із військовими стандартами НАТО, можливість оперативної доставки та використання в польових умовах
	4. Інфраструктура надзвичайних ситуацій (ДСНС, медичні бригади, гуманітарні штаби)	Універсальність, адаптація до екстремальних умов, швидке реагування, сумісність із портативним обладнанням

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг. Аналіз техніко-економічних показників і конкурентного середовища

З метою визначення конкурентної позиції проекту доцільно виконати аналіз основних експлуатаційних, технологічних та економічних параметрів. Це дозволить визначити переваги, а також виявити чинники, які можуть обмежувати ефективність реалізації.

1. Поточні витрати на виробництво

Обслуговування обладнання:

- регламентні роботи зі зварювальними агрегатами (типу MIG/TIG);

- планова заміна витратних елементів – форсунок, наконечників, подаючих вузлів;
- налагодження подачі дроту та перевірка витрати захисного газу;

Основні витратні ресурси:

- дріт із нержавіючої сталі (наприклад, ER308L) – приблизно 1,2–1,5 кг на виріб;
- аргон високої чистоти – близько 0,6 м³ на одиницю продукції;
- додаткові комплектуючі: ізоляційні ковпаки, керамічні насадки, контактні елементи.

Загальна оцінка витрат на виготовлення партії з 300 одиниць:

в межах 110 000–140 000 грн залежно від актуальної вартості матеріалів.

2. Продуктивність виробничого циклу

- середній виробничий цикл однієї одиниці продукції становить 2,5–3,5 години, включаючи всі етапи: зварювання, механічну обробку та перевірку;
- кожен виріб має п'ять зварних швів, які виконуються з дотриманням послідовності операцій;
- у процесі задіяно троє зварювальників, які працюють паралельно, кожен на окремій операції;
- при двозмінному режимі роботи цеху можливе виготовлення близько 18–20 виробів щоденно;
- орієнтовний термін на виготовлення партії з 300 шт. – 16–18 робочих днів.

3. Експлуатаційні характеристики

- використовуються сталі класу AISI 304 або аналоги (типу 12X18H10T), що забезпечують – надійну стійкість до впливу агресивних середовищ та механічну стабільність під навантаженням упродовж тривалого терміну;
- прогнозований термін служби виробів – не менше 10 років у нормальних умовах експлуатації;
- трудомісткість;
- на виготовлення одного виробу витрачається близько 3 нормо-годин;

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- повна партія (300 виробів) потребує близько 900 нормо-годин;
- застосування спеціальних монтажних пристроїв (кондукторів, фіксаторів) скорочує час підготовчих операцій.

4. Герметичність та якість швів

- зварювання виконується напівавтоматичним методом у середовищі аргону, із застосуванням плавкого дроту;
- досягається стабільна дуга, рівномірне проплавлення, щільність стику;
- контроль герметичності включає візуальну перевірку, капілярну дефектоскопію та гідроопресування;
- за умови дотримання режимів – висока герметичність і відсутність внутрішніх дефектів.

5. Енергоспоживання

- один виріб потребує близько від 3,5 кВт*год. до 4 кВт*год електроенергії;
- повна партія: орієнтовно від 1050 кВт*год до 1200 кВт*год;
- оцінка вартості електроенергії для всього циклу: від 7 500 грн. до 9 000 грн, залежно від тарифу.

6. Екологічні характеристики

- захисний газ (аргон) є інертним і нешкідливим для довкілля;
- утворення токсичних викидів при зварюванні – мінімальне, за умови використання сертифікованих матеріалів;
- виробничі відходи (металеві обрізки, залишки дроту) – придатні до вторинної обробки;
- робочі місця оснащуються місцевими витяжками або фільтрувальними системами.

Огляд конкурентного середовища

На ринку присутні компанії з усталеним досвідом у сфері зварного виробництва, що можуть бути орієнтиром або потенційними конкурентами:

- ТОВ “ТехМехЗбір” (м. Кременчук) – спеціалізується на виготовленні зварних

вузлів та модулів для промислового машинобудування і транспорту.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ПП “МеталКомплекс Груп” (м. Рівне) – виробник резервуарного та енергетичного обладнання з використанням високоякісної нержавіючої сталі.
- ТОВ “УкрЗварБуд” (м. Харків) – виконує повний цикл робіт: від проєктування до виготовлення зварних конструкцій для будівельної та комунальної галузей.

Порівняння технічних параметрів, витрат і конкурентних переваг буде узагальнено у Таблиці 16, де наочно відображено позицію стартапу відносно наявних гравців галузі.

Усі вищевказані характеристики і дані будуть узагальнені у таблиці 16, де детально буде представлено порівняння переваг і обмежень проєкту відносно вказаних конкурентів.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Проєкт	ТОВ “ТехМехЗбір”	ПП “МеталКомплекс Груп”	ТОВ “УкрЗварБуд”
1	Вартість обслуговування та експлуатації обладнання	N	W	W	N
2	Обсяг виробництва	W	W	N	N
3	Довговічність виробів	S	N	N	S
4	Трудомісткість виготовлення	S	N	N	N
5	Забезпечення міцності, герметичності та жорсткості зварної конструкції	S	N	N	N
6	Енергоефективність	S	N	N	N
7	Екологічність	N	N	N	S

де S (сильні): показники, що мають кращі значення, ніж у конкурентів;

W (слабкі): показники, що мають гірші значення.

N (нейтральні): показники, що мають аналогічні значення.

На основі аналізу даних, наведених у таблиці 16, можна стверджувати, що запропонований проєкт має високий потенціал для успішної конкуренції на ринку металоконструкцій. Його сильні сторони проявляються у таких ключових

показниках, як експлуатаційна довговічність, зменшена трудомісткість виготовлення, а також високий рівень міцності, герметичності та жорсткості зварних з'єднань.

Водночас, слід звернути увагу на обмежену виробничу продуктивність, яка наразі поступається конкурентам. Вирішення цього питання можливе шляхом інвестування в автоматизацію виробничих процесів, модернізацію обладнання та розширення виробничих потужностей, що дозволить як мінімум досягти середньогалузевого рівня.

Загалом, запропонована ініціатива демонструє високу прикладну цінність і придатність до комерціалізації, зокрема у таких сферах, як хімічна, харчова, фармацевтична та нафтопереробна промисловість, а також у будівництві та сфері оборонних технологій.

5.3 Технологічний аудит ідеї проєкту

З метою оцінки технічної реалізованості стартап-проєкту проведено технологічний аудит, спрямований на встановлення наявності та доступності необхідних технологічних ресурсів.

Таблиця 5.2 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Виробництво зварного балону	131 спосіб зварювання (за ISO 4063).	Наявна	Доступна
	Використання механізованого оснащення для адекватної підготовки кромок.	Наявна	Доступна
	Використання механізованого оснащення для кантування конструкції.	Наявна	Доступна
	Неруйнівний контроль якості виконання зварних з'єднань	Наявна	Доступна
	Технології заготівельного етапу	Наявна	Доступна
	Фарбування металевих поверхонь	Наявна	Доступна

Результати аудиту, представлені у таблиці 5.2, свідчать про технічну здійсненність реалізації запропонованого проєкту на основі вже наявних і загальнодоступних виробничих технологій. Це забезпечує швидкий старт проєкту без необхідності у значних науково-дослідних розробках чи залученні рідкісних технічних рішень.

5.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Комплексний аналіз поточної ринкової ситуації свідчить про наявність сприятливих передумов для динамічного розвитку стартапу у сфері виробництва металоконструкцій. Очікуване зростання попиту зумовлюється поєднанням стратегічно важливих внутрішніх і зовнішніх чинників.

Першочерговим рушієм змін є необхідність масштабної реконструкції зруйнованої інфраструктури, спричиненої бойовими діями. Йдеться про відновлення критичних об'єктів енергетики, транспорту, логістики, промислових підприємств та інженерних мереж. Це формує стабільну потребу у металевих елементах, зокрема зварних вузлах, опорних рамах, резервуарах, технічних корпусах, що використовуються при відновленні та модернізації виробничих ліній.

Додатковим чинником виступає регіональна перебудова виробничих процесів, викликана релокацією підприємств, які були змушені перенести свої потужності у безпечніші регіони України. Після переміщення такі підприємства потребують оновлення виробничих фондів, зокрема установки нестандартного обладнання, допоміжних металевих конструкцій, технологічних модулів, що є прямою нішею для запропонованого проєкту. Особливо це актуально для нафтопереробної, харчової, фармацевтичної галузей та оборонної промисловості, які демонструють високі темпи розвитку та нарощення потужностей.

Не менш важливим залишається аспект забезпечення техногенної безпеки. У сучасних умовах високої турбулентності важливу роль відіграє оперативне виготовлення мобільних паливних станцій, евакуаційних систем, технічних блоків

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подвійного призначення. Це створює стійкий попит на надійні, швидкокомтовані та технологічно прості у виготовленні металоконструкції.

У ширшому – міжнародному – контексті варто враховувати вплив санкційної та торговельної політики, яка активно формувалася впродовж останніх років. Зокрема, зміни у світових ланцюгах постачання, спровоковані політикою США щодо обмеження доступу до ринків Китаю, змусили низку транснаціональних компаній шукати нових партнерів і регіони для локалізації виробництва.

Потенційні переваги

зміщення глобального фокусу у бік Центральної та Східної Європи створює нові можливості для українських стартапів, які володіють гнучкістю, швидкістю розгортання виробництва та адаптацією до нестандартних запитів.

Підвищена увага до альтернативних виробничих майданчиків може стати шансом для виходу на суміжні європейські ринки за умови дотримання стандартів якості та термінів постачання.

Існуючі ризики

перебої в постачанні імпортного обладнання, витратних матеріалів та комплектуючих, зокрема нержавіючих сталей, зварювального дроту, аргонних балонів, значно ускладнюють технічну модернізацію.

Зміцнення протекціоністських підходів у зовнішній політиці окремих країн створює бар'єри для міжнародної кооперації, ускладнюючи експорт високотехнологічної продукції та інтеграцію у глобальні виробничі ланцюги.

Внутрішні виклики реалізації проєкту

Незважаючи на значний потенціал, реалізація проєкту стикається з низкою системних обмежень, серед яких:

- періодична нестабільність енергетичної інфраструктури, що впливає на безперервність виробничих процесів;
- ризик валютної нестабільності і можлива висока вартість залучення зовнішнього фінансування у воєнний і повоєнний період;
- дефіцит кваліфікованого інженерного персоналу вкороткочасній і довгочасній перспективі та значна зношеність наявного обладнання;

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- високі стартові капітальні витрати на налагодження виробництва виробів із корозійнотривкої сталі, особливо з урахуванням застосування зварювання в захисному середовищі аргону, що вимагає специфічних умов.

Сучасний ринок металоконструкцій в Україні демонструє значний потенціал зростання, що зумовлено потребами відновлення критичної інфраструктури, модернізації виробничих потужностей і технологічного переоснащення підприємств. Водночас цей сегмент характеризується підвищеним рівнем нестабільності, викликаним впливом зовнішніх чинників, зокрема воєнним станом, змінами нормативно-правової бази, логістичними обмеженнями та коливанням цін на сировину. У зв'язку з цим актуальним є проведення попередньої оцінки параметрів потенційного ринку стартап-проєкту, що наведена нижче у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ з/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість основних учасників ринку, од.	5 підприємств, що мають повний виробничий цикл або високоспеціалізовані технології виготовлення конструкцій
2	Оціночний обсяг продажу, грн/умовна од.	1 500 000
3	Динаміка розвитку ринку (якісна оцінка)	Позитивна: обумовлена стійкою потребою в оновленні промислових об'єктів, зростаючим попитом на зварні конструкції
4	Бар'єри для виходу на ринок	Складність ліцензування робіт, потреба в дорогому обладнанні, брак кваліфікованих кадрів, високий стартовий капітал
5	Вимоги до стандартів і сертифікації	Обов'язкова сертифікація відповідно до національних (ДСТУ) та міжнародних (ISO, EN) стандартів на види робіт
6	Середній рівень рентабельності в сегменті, %	В межах 12–18% залежно від масштабів виробництва, нішевої спеціалізації та ефективності внутрішніх процесів

Цільовими сегментами ринку виступають підприємства, які працюють у сферах з підвищеними вимогами до надійності технічних рішень: хімічна та харчова промисловість, фармацевтика, нафтопереробка, а також компанії оборонно-промислового комплексу (ОПК). Їхні запити, поведінкові особливості та технічні вимоги до продукції сформульовано в наступній таблиці 19.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ з/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (ринкові сегменти)	Поведінкові особливості потенційних клієнтів	Ключові вимоги до продукції
1	Модернізація і виготовлення конструкцій технічного призначення	Машинобудівні підприємства, ремонтно-механічні цехи, металургійні комбінати	Орієнтація на відповідність регламентам, вимоги до коротких термінів постачання, потреба у сервісній підтримці	Висока геометрична точність, механічна міцність, сумісність з існуючими технологіями
2	Постачання комплектуючих для енергетики та переробних галузей	Компанії енергосектору, виробники хімічної продукції, інженерні фірми	Вимоги до експлуатаційної надійності, стійкості до середовищ, орієнтація на сертифікованих постачальників	Стійкість до високих температур, корозії, відповідність міжнародним технічним нормам, якісне зварювання
3	Виробництво рішень для модернізації високотехнологічної інфраструктури	Індустріальні парки, приватні інвестори, підприємства зі стратегічним фінансуванням	Потреба у комплексних рішеннях “під ключ”, орієнтація на індивідуальний підхід, вимоги до оптимізації витрат	Конструкторська гнучкість, ефективність рішень, підвищена зносостійкість, адаптація під конкретні об’єкти
4	Відновлення елементів критичної інфраструктури в умовах обмежень	Установи ОПК, державні агентства, підрядні організації спеціального призначення	Необхідність швидкого розгортання виробництва, акцент на мобільність, безпека, відповідність нормативам ОПК	Можливість транспортування і швидкого монтажу, ударостійкість, сертифікація для використання у військовій сфері

Для забезпечення успішної реалізації маркетингової стратегії, а також ефективного використання наявних ресурсів, критично важливо мати повне уявлення про реальні потреби цільових клієнтів, особливості їх ринкової поведінки та середовище, в якому приймаються рішення щодо закупівель. Такий системний підхід дозволяє не лише адаптувати продукт до ринкових умов, але й забезпечити інвесторам прозоре обґрунтування доцільності вкладень у запропоновану бізнес-модель.

Одним з ефективних інструментів стратегічного аналізу є використання таблиць ризиків наведених в табл. 5.6 та можливостей, які надають комплексну картину ринкових тенденцій. Вони сприяють формуванню стійкої стратегії адаптації підприємства до зовнішніх змін, забезпечують основу для обґрунтованих управлінських рішень, а також підвищують довіру з боку зацікавлених сторін. Це, у свою чергу, є запорукою стабільного розвитку проєкту та виходу на конкурентоспроможні позиції у відповідному сегменті.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У таблиці 5.5 наведено основні фактори можливостей для розвитку підприємства, а також можливі реакції компанії на кожен із них.

Таблиця 5.5 – Фактори можливостей

№	Фактор	Суть можливості	Потенційна реакція компанії
1	Високий попит, пов'язаний із відновленням зруйнованої інфраструктури	Системне зростання потреби у зварних конструкціях для об'єктів цивільного, критичного та оборонного призначення	Масштабування виробництва, придбання високотехнологічного обладнання, інтеграція у державно-приватні проєкти, укладання угод з агентствами відбудови
2	Державні програми підтримки інноваційного бізнесу	Можливість отримання фінансування (грантів, субсидій, пільгового кредитування) через програми типу «Дія.Сіті», «Фонд розвитку стартапів» тощо	Подання заявок на гранти, формування R&D-бюджету за рахунок пільг, зменшення собівартості шляхом компенсацій, зростання капітальних інвестицій
3	Інтеграція інноваційних технологій	Доступ до сучасних технологій зварювання, 3D-моделювання, обробки матеріалів, цифрового виробництва	Співпраця з науковими установами, створення R&D-відділу, адаптація до гібридних (традиційно-цифрових) виробничих форматів
4	Автоматизація та роботизація виробництва	Зниження залежності від людського ресурсу, прискорення циклу виготовлення, покращення повторюваності продукції	Впровадження роботизованих систем зварювання, навчання персоналу, модернізація ліній складання
5	Вимоги екологічної відповідності	Ринок реагує на підвищення вимог щодо енергоефективності, безпечного виробництва, скорочення вуглецевого сліду	Перехід на екологічно чисті матеріали, встановлення систем рекуперації, використання енергії з ВДЕ
6	Розширення експортного потенціалу	Можливість виходу на ринки країн-партнерів України, зокрема ЄС та країн НАТО	Сертифікація ISO/EN, участь у виставках, укладання контрактів через платформи міжнародних тендерів, створення експортного підрозділу
7	Цифровізація управління	Впровадження цифрових платформ і систем управління для підвищення прозорості, керованості, адаптивності	Автоматизоване планування виробництва (MRP/ERP), CRM-системи для клієнтської взаємодії, системи онлайн-моніторингу якості

Актуалізація та практичне використання наведених можливостей дозволяє компанії сформувати гнучку модель розвитку, оперативно реагувати на запити ринку, а також сформувати підґрунтя для стратегічного партнерства та інвестування.

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

№	Фактор	Суть загрози	Можлива реакція компанії
1	Зниження попиту	Втрата частини промислових замовлень через бойові дії, релокацію або знищення підприємств	Диверсифікація продуктового портфеля, освоєння нових ніш, підвищення гнучкості виробництва
2	Посилення ринкової конкуренції	Вихід на ринок нових гравців, зростання імпорту або державна підтримка конкуруючих підприємств	Розробка УТП, скорочення циклу виконання замовлень, впровадження комплексного сервісного обслуговування
3	Макроекономічна нестабільність	Інфляція, девальвація, нестабільність постачання енергоносіїв, податкові зміни	Використання хеджування, формування валютного буфера, укладання стабілізаційних угод
4	Технологічні збої	Вихід з ладу техніки, збої в автоматизованих системах, кіберзагрози	Запровадження політики технічної готовності, створення резервного серверного середовища, страхування обладнання
5	Руйнування виробничої інфраструктури	Пряма шкода внаслідок атак, пошкодження логістики, втрати складів	Децентралізація виробництва (кластерний принцип), модульні виробничі комплекси, мобільні ремонтні бригади
6	Перебої у логістиці	Неможливість вчасно отримувати сировину або доставляти продукцію	Створення паралельних ланцюгів постачання, диверсифікація складів, локалізація частини компонентів
7	Дефіцит кадрів	Мобілізація або міграція технічних спеціалістів, зниження кількості фахівців	Організація навчальних центрів при підприємстві, програми стажування, залучення ветеранів з технічною освітою
8	Енергетичні ризики	Знеструмлення, ріст вартості електроенергії, нестабільність подачі	Установлення дизель- або гібридних генераторів, інвестування в мікроенергетику, аудит енергоефективності

Ідентифікація ризиків дозволяє не лише підготувати ефективні антикризові стратегії, а й підвищити довіру потенційних інвесторів через демонстрацію зрілої системи управління ризиками, що є критичним для проєктів, реалізованих в умовах воєнного стану.

Формалізоване подання аналізу можливостей і загроз у вигляді табличних моделей забезпечує високу інформативність, стратегічну прозорість та аналітичну готовність проєкту до проходження експертної оцінки.

5.5 SWOT-аналіз як стратегічний інструмент проєктного розвитку

У процесі планування розвитку інженерно-виробничого проєкту важливо мати системне бачення внутрішнього потенціалу та зовнішнього середовища. У цьому контексті SWOT-аналіз є ефективним інструментом стратегічного управління, який дозволяє:

- ідентифікувати внутрішні переваги й слабкості проєкту;
- виявити зовнішні можливості розвитку;
- передбачити потенційні загрози з боку ринку або політичного середовища;
- сформулювати відповідні адаптивні або наступальні стратегії дій.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.6 SWOT-аналіз проєкту з виготовлення зварних рамних конструкцій в умовах воєнного стану

Таблиця 5.7 – SWOT-аналіз проєкту

Сильні сторони S (Strengths): - власна інженерна команда з досвідом у військових і промислових рішеннях. - адаптивне виробництво – можливість виготовлення конструкцій за індивідуальними вимогами. - локалізоване виробництво в Україні – економія на логістиці, гнучкість у постачанні. - використання сучасних методів зварювання та антикорозійних матеріалів. - досвід співпраці з промисловими, будівельними та оборонними структурами.	Слабкі сторони W (Weaknesses): - обмежені інвестиційні ресурси на старті (необхідність закупівлі обладнання); - слабка маркетингова стратегія, відсутність бренду на ринку; - початковий етап серійного виробництва – низька продуктивність на старті; - висока залежність від імпортних витратних матеріалів (дріт, газ, контролери якості);
Можливості O (Opportunities): - високий попит на металоконструкції для мобільних та відновлювальних споруд (укриття, пункти управління, логістика). - державні та міжнародні програми підтримки підприємств оборонного профілю (наприклад, Ukraine Facility, програми ЄС). - висока потреба в продукції для критичної інфраструктури. - дефіцит конкурентоспроможних вітчизняних виробників у вузькій спеціалізації. - можливість експорту до країн-партнерів за програмами технічної допомоги.	Загрози T (Threats): - висока конкуренція з боку закордонних або краще фінансованих вітчизняних гравців ринку. - воєнні дії, що можуть ускладнити логістику, кадри та енергопостачання. - нестабільність валютного курсу та інфляційний тиск. - потенційна втрата кваліфікованих спеціалістів та допоміжного персоналу через мобілізацію. - ризики дефіциту сировини та перебоїв у транспортуванні.)

5.7 Розробка стратегій на основі SWOT-аналізу

SO-стратегія (Наступальна інноваційна експансія)

Мета: реалізація сильних сторін через зовнішні можливості.

Ключові дії:

- створення мобільних, легко адаптованих рамних конструкцій для фронту й тилу;
- розгортання виробництва з фокусом на продукцію для ЗСУ, агропромисловості та логістики;
- впровадження енергоефективних технологій та цифрових рішень (наприклад, попереднє 3D-моделювання замовлень);
- побудова системи технічної підтримки та оперативного обслуговування виробів.

WO-стратегія (Компенсаторне зростання через партнерство)

Мета: нейтралізація слабких сторін за рахунок зовнішніх можливостей.

Ключові дії:

- отримання підтримки в межах державних і міжнародних програм (гранти, компенсації, податкові пільги);
- побудова партнерських відносин із відомими логістичними та будівельними компаніями;
- копілативний маркетинг: просування продукції через партнерські бренди та інформаційні кампані;
- створення MVP-продуктів і пілотних кейсів для швидкого входу на ринок.

ST-стратегія (Оборонна гнучкість через інженерну перевагу)

Мета: нейтралізація зовнішніх загроз шляхом використання внутрішніх переваг.

Ключові дії:

- виготовлення нестандартних, високоадаптивних конструкцій для складних умов (наприклад, телескопічні модулі, мобільні вежі).

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- формування незалежних каналів постачання з використанням локальних виробників.
- підготовка кадрового резерву, організація навчання нових спеціалістів.
- зниження енергоспоживання та диверсифікація постачання енергії.

WT-стратегія (Захисна адаптація через мінімізацію ризиків)

Мета: зменшити вплив загроз за умов існуючих слабкостей.

Ключові дії:

- створення поетапного плану запуску виробництва з фокусом на найменш ресурсоемні рішення.
- залучення субпідрядників з уже існуючою логістичною інфраструктурою.
- використання максимальної кількості місцевих матеріалів.
- модульна стандартизація конструкцій для зниження витрат на проектування та зберігання.

Таким чином, найбільш доцільною є комбінація SO- та WO-стратегій, з пріоритетом на SO-стратегію – "Наступальна інноваційна експансія", що базується на використанні інженерного та виробничого потенціалу в умовах зростаючого попиту на спеціалізовану продукцію. Ця стратегія доповнюється WO-стратегією – "Компенсаторне зростання", яка дозволяє подолати стартові обмеження через зовнішнє фінансування та партнерства.

Це дозволяє:

- швидко вийти на ринок із унікальною продукцією;
- створити виробничу базу під державні та міжнародні контракти;
- формувати бренд як технічно надійного та адаптивного постачальника рішень для оборонного та інфраструктурного секторів.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є системним елементом організації сучасного виробництва та має розглядатися як обов'язкова складова кожного етапу технологічного процесу. В умовах виконання зварювальних робіт, пов'язаних із виготовленням металевих конструкцій, зокрема відповідального призначення, питання забезпечення безпечного середовища для персоналу набуває особливої актуальності. Працівники зварювального цеху щоденно піддаються впливу цілого комплексу виробничих небезпек: високих температур, інтенсивного електромагнітного випромінювання, токсичних продуктів згоряння, дії електричного струму, шуму, вібрацій, а також ризику термічних і механічних уражень.

З огляду на вищезазначене, ефективне функціонування системи охорони праці є критичним чинником не лише для забезпечення особистої безпеки працівників, а й для стабільності технологічного процесу, запобігання простоям, зниження рівня браку та забезпечення експлуатаційної надійності виготовленої продукції.

Особливої уваги потребує електродугове зварювання, яке є однією з основних технологій з'єднання металів. У процесі зварювання формуються специфічні небезпечні фактори, зокрема: інтенсивне теплове й ультрафіолетове випромінювання, утворення зварювального аерозолю з вмістом металевих оксидів, шкідливі гази (озон, оксиди азоту, чадний газ), які здатні викликати гострі або хронічні професійні захворювання. Крім того, тривале перебування в зоні дії шуму, вібрацій або електромагнітного випромінювання чинить негативний вплив на функціональний стан нервової та серцево-судинної систем працівників.

Незважаючи на постійне вдосконалення технологічного обладнання та засобів механізації, умови праці у сфері зварювання залишаються складними.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Недашківський О.О.			Охорона праці			
Перевір		Попіль Ю.С.						
Н.Контр.		Лисак В.В.						
Затв.		Квасницький В.В.						
					Літ.	Арк.	Акрушів	
							94	112
					КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О Патона			

Особливе навантаження виникає під час робіт у замкнених об'ємах, при з'єднанні елементів із підвищеними вимогами до герметичності та міцності швів. Такі умови вимагають суворого дотримання вимог техніки безпеки, включаючи використання відповідних засобів індивідуального та колективного захисту, а також впровадження технічних і організаційних рішень для зниження ризику травматизму.

Значну роль у профілактиці виробничого травматизму відіграє рівень професійної підготовки персоналу. Зварювальники, інженерно-технічні працівники, оператори устаткування повинні проходити систематичне навчання з питань охорони праці, засвоювати сучасні методи аналізу виробничих ризиків, володіти навичками безпечного виконання операцій і використовувати сертифіковані захисні засоби.

Відповідно до чинного законодавства України, правові основи системи охорони праці визначено Законом України «Про охорону праці» [20]. Згідно зі статтею 13 зазначеного Закону, роботодавець зобов'язаний забезпечити створення на кожному робочому місці безпечних і нешкідливих умов праці, відповідно до нормативно-правових актів, і гарантувати реалізацію прав працівників на охорону життя та здоров'я в процесі трудової діяльності.

Працівник, відповідно до статті 14, зобов'язаний:

- дбати про особисту безпеку та безпеку інших осіб, які перебувають поруч;
- знати й виконувати вимоги чинних нормативів і інструкцій з охорони праці;
- застосовувати у встановленому порядку засоби індивідуального та колективного захисту;
- проходити обов'язкові медичні огляди відповідно до вимог законодавства.

Для невеликих виробничих дільниць, на яких чисельність персоналу не перевищує 20 осіб, допускається залучення спеціалістів з охорони праці на договірній основі (стаття 15 Закону України «Про охорону праці»). Повну відповідальність за стан охорони праці на підприємстві несе керівник підприємства або уповноважена ним особа [14].

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)

Під час аналізу умов праці, пов'язаних зі складанням і зварюванням конструкції (агітатора), виявлено сукупність шкідливих і небезпечних виробничих чинників, що потенційно можуть впливати на стан здоров'я персоналу. У цьому розділі розглянуто основні фактори, їхнє походження, рівні впливу та відповідність вимогам чинних нормативних документів.

Хімічні фактори ризику охоплюють речовини у газоподібному, твердому або аерозольному стані, які можуть надходити до організму через органи дихання або шкіряний покрив. Під час виконання зварювальних робіт у газовому середовищі $Ar+CO_2$ із використанням плавкого електрода, а також при зварюванні під флюсом, відбувається утворення зварювальних аерозолів[20]. До їх складу входять, зокрема, оксид заліза, марганець і хром – елементи, допустимі концентрації яких регламентовані санітарними нормами [15] (табл. 6.1.):

- Fe_2O_3 – не більше 6 мг/м³;
- Cr – не більше 0,01 мг/м³ (1 клас безпеки);
- Mn – до 0,2 мг/м³ (2 клас безпеки).

Таблиця 6.1 – Вміст шкідливих речовин, які виділяються під час зварювання плавким електродом у атмосфері аргону [15]

Речовина	Питомі виділення, г/кг	ГДК, мг/м ³	Клас безпеки	Характер дії	Повітрообмін, м ³ /год
Зварювальний аерозоль	До 12,2	10	–	–	До 150
Оксид марганцю	0,05	0,2	2	–	–
Оксид заліза	0,07	6	2	фіброгенний	–
Діоксид кремнію	0,02	1	2	фіброгенний	–
CO	14	20	3	подразнюючий	–
NO	–	5	3	подразнюючий	–
NO ₂	0,5	2	3	подразнюючий	–
Озон	–	0,1	1	подразнюючий	–

Фізичні виробничі фактори супроводжують практично всі етапи виготовлення конструкції та включають ризик термічного ураження, ураження електричним струмом, підвищений рівень шуму та вібрацій, дію ультрафіолетового й інфрачервоного випромінювання, електромагнітних полів, а також вплив мікрокліматичних параметрів.

Оцінка умов праці проводилась за окремими технологічними етапами:

- Правлення напівфабрикатів. На цьому етапі фіксується вплив вібрацій і шуму. Згідно з нормативними документами, допустимий рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 85 дБ, а вібраційне навантаження при тривалості дії понад 2 години на добу – не більше 120 дБ [16].
- Розкрій заготовок плазовим різанням. Спостерігається одночасна дія кількох шкідливих факторів, зокрема шумового навантаження, оптичного випромінювання (УФ та ІЧ), високих температур, а також утворення бризок розплавленого металу, що створює ризики для шкірних покривів і органів зору.
- Зварювальні операції. Цей етап характеризується максимальною концентрацією небезпечних впливів: теплове, шумове й світлове навантаження, вплив аерозолів і газів, контакт із розігрітими поверхнями. Також важливою є відповідність мікроклімату нормам [17]: у холодний період – температура від 18°C до 22°C, вологість від 40% до 60%, швидкість повітря від 0,1 м/с до 0,3 м/с. При ручному та напіваавтоматичному зварюванні зберігається підвищене статичне навантаження на верхні кінцівки, що в перспективі може зумовлювати порушення функцій опорно-рухового апарату [18].
- Контроль якості зварних з'єднань. Використання дефектоскопічного обладнання передбачає дію ультразвукових коливань. Цей фактор також підлягає регламентації та контролю як елемент професійного ризику.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2 Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці

У цьому підрозділі розглянуто основні вимоги до безпечного виконання зварювальних робіт, що використовуються під час виготовлення балону високого тиску.

Механізоване або автоматизоване зварювання в захисних газах: під час дугового зварювання в середовищі аргону, вуглекислого газу або їх суміші потрібно забезпечити ефективне локальне видалення шкідливих аерозолів і газів. Мінімальна продуктивність витяжної вентиляції на одне робоче місце має становити не менше 150 м³/год.

Балони зі стисненими газами: експлуатація балонів повинна здійснюватися згідно з чинними правилами ДНАОП 0.00-1.07-94 [19]. Балони необхідно встановлювати на відстані щонайменше 5 метрів від поста зварювання та не менше ніж 1 метр від джерел тепла. При застосуванні тепловідбивних екранів допускається скорочення відстані до 0,1 м [20].

Контроль підготовки обладнання: перед початком роботи зварювального автомату на рейковому ході обов'язково перевіряється надійність фіксації вузлів, а також правильність установки направляючих коліс і виконавчих органів.

Видалення шлаку: очищення швів від шлакових включень виконується працівниками в засобах індивідуального захисту відповідно до вимог ДСТУ 7239:2011 [20-22].

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення належних умов при складанні та зварюванні виробів, зокрема каркасних елементів, необхідно дотримуватись наступних вимог до організації виробничого середовища.

Відстані й проходи: між зварювальними постами має бути дотримана відстань не менше 1 м. Ця ж норма стосується відстані до стін, колон або інших конструкцій. Ширина проходів і транспортних коридорів визначається відповідно до ДБН В.2.2-28:2010 [22]. Робочі проходи мають бути не вузькими за 1 м [20].

Організація робочих місць: постійні або тимчасові місця для електродугового зварювання обладнуються захисними перегородками, що не пропускають світло і є вогнетривкими. Висота таких екранів має бути не меншою за 2,5 м. Якщо вага конструкцій перевищує 15 кг, пост оснащується вантажопідйомним обладнанням (лебідка, таль тощо).

Покриття підлоги: поверхня підлоги у зоні зварювання повинна бути з матеріалів з низькою теплопровідністю, стійких до вогню та ковзання. Рекомендується застосування антискользящих покриттів з діелектричними властивостями, що підвищують безпеку.

Система вентиляції: Приміщення повинні бути обладнані загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією згідно з ДБН В.2.5-67:2013 [23]. Кратність повітрообміну має становити щонайменше 3–5 разів на годину. При інтенсивному виділенні шкідливих речовин обов'язкове встановлення локальних витяжок на рівні джерела утворення.

Освітлення: Освітленість робочої зони має відповідати нормам ДБН В.2.5-28-2006 [24]: не менше 300 лк для основних зон і 200 лк – для допоміжних. У вузьких або обмежених просторах допускається використання локального освітлення напругою до 12 В з рівнем освітленості не менше 30 лк. Усі світильники мають бути захищені згідно з класом IP54 або вище.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміщення робочих місць для зварювальних робіт має здійснюватися з урахуванням чинних галузевих стандартів, зокрема положень НПАОП 28.5-1.02-07 [25]. Нижче подано основні технічні та організаційні параметри:

– стаціонарні зони для зварювання сидячи: зварювальні пости, призначені для роботи в положенні сидячи, повинні бути обладнані регульованими кріслами, що дозволяють змінювати висоту сидіння та нахил спинки. Матеріали оббивки мають бути негорючими, не нагріватись під час експлуатації та не накопичувати бруд. Для підвищення безпеки на кожному робочому місці, що живиться від багатоканального джерела, обов'язковою є наявність світлової сигналізації стану напруги [20, 25];

– засоби розмежування постів: у робочих кабінах та потокових лініях мають бути передбачені екрануючі конструкції – спеціальні світлозахисні щити або фіранки, які перешкоджають поширенню оптичного випромінювання та розбризкуванню розплавленого металу. Огородження повинно не заважати роботі зварника, залишаючи йому достатній простір для маневру. Для тимчасових зон рекомендовано використовувати переносні захисні бар'єри [20].

– організація розміщення обладнання: для гарантування безпечного переміщення працівників і належної організації простору, між основними елементами обладнання слід дотримуватись таких мінімальних відстаней:

- агрегат – стіна: не менше 0,5 м;
- стаціонарні зварювальні апарати – щонайменше 0,8 м один від одного;
- джерела електрошлакового зварювання – не ближче ніж 1,5 м до рухомих частин;
- зварювальна техніка – від складу – не менше 1 м [20].

Зварювальні дільниці виробничих приміщень повинні бути обладнані високоефективними вентиляційними системами, здатними оперативно видаляти небезпечні газоподібні та аерозольні сполуки, що утворюються в процесі технологічних операцій:

Загальнообмінна вентиляція: у випадках, коли локальні витяжні пристрої не забезпечують повного видалення шкідливих викидів, необхідним є застосування

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

систем загальнообмінної вентиляції. Вона має працювати в комплексі з місцевими витяжками для забезпечення належного очищення повітря від залишкових домішок.

Критерії ефективності вентиляційних систем: відповідно до нормативних вимог, локальні витяжні шафи повинні досягати щонайменше 90% ефективності у видаленні шкідливих компонентів, інші типи витяжного обладнання – не менше 75%. Забруднення, які залишаються, мають видалятися за рахунок дії загальної вентиляційної системи [20].

Особливості для зон із вибухонебезпекою: У приміщеннях, де здійснюється зберігання або застосування вибухонебезпечних газів (зокрема водню), обов'язковим є облаштування примусової припливно-витяжної вентиляції з кратністю обміну повітря не менше 10 разів на годину. Вміст водню в повітряному середовищі повинен контролюватися газоаналізаторами, обладнаними системою аварійного сповіщення.

Температурний комфорт у зимовий період: У холодну пору року повітря у зоні виконання зварювальних робіт має підігріватися до температури не нижче +18 °С. Це дозволяє підтримувати сприятливі санітарно-гігієнічні умови та запобігати переохолодженню персоналу [20].

При проектуванні вентиляції необхідно притримуватися таких вимог:

- вентиляція повинна забезпечувати необхідну чистоту повітря та параметри мікроклімату виробничого приміщення;
- загального обмінна вентиляція повинна забезпечувати необхідний баланс між об'ємами повітря, які поступають в приміщення та видаляються з нього;
- система вентиляції не повинна створювати додаткові шкідливі та небезпечні фактори (переохолодження, перегрів, шум, вібрація, пожежо– та вибухонебезпечність);
- вентиляційне обладнання не повинно заважати руху внутрішньоцехового транспорту, знижувати продуктивність праці, впливати на якість продукції;

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— вентиляція повинна забезпечувати економічність та надійність при експлуатації.

Для всмоктування зварювальних аерозолей використовуємо місцеву вентиляцію.

Визначаємо кількість повітря, яку буде видаляти всмоктувач, якщо розміри воронки $d = 0,1$ м (рис. 6.1).

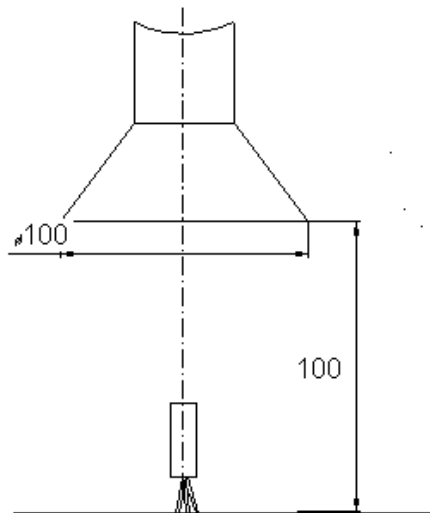


Рисунок 6.1 – Місцевий всмоктувач

Витрати повітря, які видаляються, визначають за формулою [20]:

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0,$$

де V_0 – швидкість повітря в отворі всмоктувача, м/с;

F_0 - площа відкритого перерізу витяжного отвору всмоктувача, м^2 ;

$$F_0 = 0,01 \text{ м}^2;$$

V_x - швидкість повітря в зоні зварювання, $V_x = 0,2$ м/с.

Швидкість повітря в отворі всмоктувача розраховують за формулою:

$$V_0 = 8 \cdot V_x \cdot (x / d)^2,$$

де x – відстань від входного отвору воронки до зони зварювання, м;

$$x = 0,1 \text{ м};$$

d – діаметр входного отвору, м ; $d = 0,1$ м;

$$V_0 = 8 \cdot 0,2 \cdot \left(\frac{0,1}{0,1} \right)^2 = 1,6 \text{ м/с}$$

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_m = 3600 \cdot 0,01 \cdot 1,6 = 57,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Витрати повітря, які видаляються всмоктувачем дорівнює 57,6 м³/год.

6.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Основними факторами ризику ураження електричним струмом під час виконання зварювальних робіт є:

- безпосередній контакт із струмоведучими частинами, які перебувають під напругою у штатному режимі;
- дотик до елементів, що випадково опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції або несправності обладнання;
- контакт із металевими конструкціями, які за нормальних умов не є провідниками, але стали небезпечними через втрату ізоляції;
- дія електричної дуги, а також виникнення крокової напруги, що може спричинити ураження.

Приміщення для зварювання належать до категорії особливо небезпечних за ступенем ризику електротравматизму. Виконання робіт на відкритому повітрі, зокрема в умовах підвищеної вологості або атмосферних опадів, класифікується як діяльність з підвищеним рівнем електробезпеки.

Усе обладнання для електрозварювання має відповідати чинним стандартам безпеки, зокрема вимогам ДНАОП 0.00-1.32-01 та ДНАОП 0.00-1.21-98 [26, 27]. Обов'язковим є надійне заземлення корпусу зварювальних агрегатів. Захисне заземлення або занулення повинно бути виконане згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ-2017). Забороняється під'єднувати декілька зварювальних апаратів до одного заземлювального проводу послідовно – це створює загрозу аварійної ситуації.

Експлуатаційні вимоги до зварювальних ланцюгів: з'єднання кабелів зварювального кола має здійснюватися лише за допомогою спеціалізованих муфт, що забезпечують механічну міцність і електробезпеку.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання відкритих скруток, тимчасових з'єднань або пошкоджених елементів у ланцюзі категорично забороняється.

Усі кабелі мають бути повністю ізольованими й захищеними від механічних ушкоджень, які можуть спричинити пробій або коротке замикання.

Як зворотний провід дозволяється використовувати спеціальні гнучкі або жорсткі шини, а також зварювальні столи або елементи конструкції, які безпосередньо з'єднані з джерелом живлення.

Категорично заборонено використовувати в ролі зворотного провідника металеві частини будівельних конструкцій, інженерних мереж чи допоміжного обладнання [20].

Запобіжні заходи проти ураження електрострумом: у зоні зварювання мають застосовуватися діелектричні покриття робочих поверхонь – зокрема гумові або інші ізолювальні килимки. Працівники повинні бути забезпечені спеціальними засобами індивідуального захисту: діелектричним взуттям, рукавицями та захисним одягом із відповідними ізоляційними властивостями.

Перед початком кожної зміни необхідно проводити візуальний та технічний огляд зварювального обладнання на предмет:

- цілісності ізоляції;
- відсутності оголених струмоведучих частин;
- справності з'єднань та живильних кабелів;
- відсутності коротких замикань.

Виконання ремонтних або регламентних робіт на зварювальному обладнанні, що перебуває під напругою, заборонено [20].

Дотримання вимог електробезпеки є обов'язковою умовою організації зварювальних робіт і визначальним фактором зниження ризику ураження електричним струмом.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.4 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту

Працівники, залучені до виконання зварювальних робіт методом дугового або електрошлакового зварювання, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до вимог чинних галузевих стандартів і з урахуванням шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища [28]. Основні положення щодо оснащення ЗІЗ регламентуються ДСТУ 7239:2011

Захист органів дихання: Засоби захисту органів дихання мають відповідати вимогам ДСТУ EN 133:2005. Вони призначені для запобігання проникненню в дихальні шляхи шкідливих аерозолів, димових газів та пилу, які утворюються під час зварювального процесу. Вибір конкретного типу фільтрувального або ізолювального обладнання залежить від концентрації шкідливих речовин і характеру робіт [21].

Захист очей і обличчя: під час роботи з відкритою дугою для запобігання впливу оптичного випромінювання, іскор і розплавлених часток металу застосовуються захисні щитки, що відповідають ДСТУ EN 175:2001. У складі щитків використовуються світлофільтри згідно з ДСТУ EN 169:2001.

Світлофільтри класифікуються за рівнем затемнення (від 1,2 до 16), при цьому вибір відповідного індексу залежить від типу зварювання та величини зварювального струму: чим вищий струм, тим більший ступінь затемнення необхідний для безпечної роботи.

Під час електрошлакового зварювання, зварювання під шаром флюсу, а також при виконанні візуального контролю або шліфування швів необхідно використовувати прозорі захисні окуляри.

Захист рук: для захисту рук від опіків, порізів і стирань слід використовувати спеціальні рукавиці, виготовлені відповідно до вимог ДСТУ EN 420:2017. Вони повинні бути термостійкими, водночас зберігати гнучкість і не обмежувати рухи працівника.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інші засоби індивідуального захисту: працівники повинні бути одягнені в спеціальний вогнестійкий одяг, що забезпечує захист від термічних і механічних впливів, а також мати відповідне захисне взуття.

Для зменшення дії виробничого шуму рекомендується застосування засобів захисту органів слуху: протишумних вкладишів або навушників.

У разі виконання робіт в умовах високої температури або за наявності інтенсивного інфрачервоного чи ультрафіолетового випромінювання слід додатково використовувати термозахисні костюми та світловідбивальні екрани [20].

6.5 Пожежна безпека

Зварювальні процеси супроводжуються підвищеною пожежонебезпекою внаслідок дії високих температур, утворення відкритого полум'я, розлітання іскор і появи горючих газів. У зв'язку з цим суворе дотримання вимог пожежної безпеки є необхідною умовою забезпечення безпечного виробничого середовища. Вимоги до організації протипожежного захисту визначені чинними нормативними документами, зокрема НАПБ А.01.001-2004, НАПБ Б.03.002-2007 та відповідними стандартами безпеки.

Приміщення, у яких здійснюються зварювальні роботи, зазвичай класифікуються як категорія Г згідно з вимогами нормативних актів. Це стосується ділянок, де обробляються негорючі речовини у нагрітому або розплавленому стані, що супроводжується утворенням тепла, полум'я або іскор, а також можливістю займання залишків горючих речовин чи використання пальних матеріалів.

Запобігання займанню теплоізоляційних матеріалів – застосування захисних екранів, теплоізоляційних бар'єрів та охолоджувальних систем.

Недопущення утворення вибухонебезпечного середовища – герметизація технологічного обладнання, контроль за обсягами зберігання горючих речовин і вентиляція робочих зон.

Автоматичне виявлення джерел з аймання – встановлення пожежних

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сповіщувачів (типу ІДФ-І, ДПД тощо) з підключенням до системи централізованого оповіщення та управління евакуацією.

Оснащення засобами пожежогасіння – забезпечення робочих місць вогнегасниками класів В і Е (ОХП-10, ОП-10А, УО) відповідно до вимог НАПБ Б.03.002-2007.

Запобігання електростатичному іскроутворенню – дотримання вимог електростатичної безпеки під час підготовки і виконання зварювальних робіт.

Аварійне реагування – передбачення систем аварійного зливу легкозаймистих рідин, а також відведення вибухонебезпечних газів у разі витоку.

Вогнестійкість конструкцій – будівельні елементи зварювальної дільниці повинні витримувати дію високих температур не менше ніж 2,5 години. Довжина поширення полум'я по внутрішніх конструкціях не повинна перевищувати 25 см.

Контроль і моніторинг пожежної безпеки. Регулярне технічне обслуговування – системи пожежної сигналізації, установки пожежогасіння та первинні засоби мають проходити планові перевірки та технічне обслуговування відповідно до затверджених графіків [25].

Підготовка персоналу – працівники повинні проходити первинні, повторні та позапланові інструктажі з пожежної безпеки, а також практичні навчання з використання вогнегасників та евакуаційних засобів

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У межах даного дипломного проєкту всебічно розглянуто технологічний процес виготовлення зварного балона високого тиску. Основна увага приділялася вибору оптимального матеріалу, проєктуванню конструктивних елементів балона, визначенню необхідних технологічних операцій та їх раціональній послідовності, а також методам контролю якості зварних з'єднань і виробу загалом.

Під час виконання проєкту проведено глибокий аналіз технологічних особливостей виготовлення зварного балона. Використання сучасних методів технологічного проєктування та організації виробництва забезпечує високу якість виготовлення, відповідність виробу вимогам міцності, герметичності, надійності та експлуатаційної довговічності.

Особливу увагу приділено впровадженню прогресивних зварювальних технологій, зокрема автоматизованого зварювання в захисних газах, а також застосуванню неруйнівних методів контролю якості зварних з'єднань — ультразвукового, візуального, герметичності, що є критично важливими для виробів, які працюють під високим тиском.

У рамках проєкту також розроблено стартап-ініціативу з організації виробництва зварних балонів високого тиску. Враховано особливості функціонального призначення виробу — як конструкції, що може використовуватися в процесах перемішування рідких, газорідинних або твердорідинних середовищ у виробничих ємностях у хімічній, фармацевтичній, харчовій, металургійній та нафтопереробній промисловості. Для ефективного виходу на ринок враховано результати SWOT-аналізу та ключові фактори конкурентоспроможності.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці та безпеки в умовах надзвичайних ситуацій. Дотримання вимог нормативно-правової бази, а також впровадження сучасних засобів індивідуального та колективного захисту дозволяє мінімізувати професійні ризики. Запропоновано заходи щодо постійного

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

удосконалення системи охорони праці з урахуванням новітніх технологій і чинного законодавства, що забезпечує захист персоналу й навколишнього середовища.

Таким чином, виконання дипломного проєкту дозволило не лише поглибити теоретичні знання в галузі технології машинобудування та зварювального виробництва, а й набути практичних навичок з розроблення, конструювання та організації виготовлення складних зварних конструкцій. Проєкт виконано з урахуванням сучасних інженерних підходів, вимог стандартів ISO та ДСТУ, що забезпечує його практичну цінність і готовність до впровадження у виробництво.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сталь 09Г2С. (режим доступу)

http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=120 (дата звернення: 12.05.2025). – Назва з екрану.

2. ЗДАТНІСТЬ ДО ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.

Практикум. Навчальний посібник. (режим доступу)
<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/417ebd5f-9f1e-4d31-a763-1337f29c9497/content> (дата звернення: 12.05.2025). – Назва з екрану

3. Холодні тріщини або утворення холодних тріщин

URL:

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%96_%D1%82%D1%80%D1%96%D1%89%D0%B8%D0%BD%D0%B8
(дата звернення: 13.05.2025). – Назва з екрану

4. ПРОКАТ ЛИСТОВИЙ ГАРЯЧЕКАТАНИЙ Сортамент ДСТУ 8540:2015

URL:

<https://uscc.ua/frontend/web/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/28-dstu-8540-2015-prokat-listovij-goryachekatanij-sortament.pdf> (дата звернення: 14.05.2025). – Назва з екрану

5. Welding and allied processes - Joint preparation - Part 2: Submerged arc welding of steels URL:
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/21036/44a068d2845d41d2aa8b700c3ad2cf04/ISO-9692-2-1998.pdf> (дата звернення: 28.05.2025). – Назва з екрану

6. Технологія та устаткування зварювання плавленням. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» / Укладачі: Бойко В.П., Котик В.Т., Корінець І.П. – К.: 2012. 58с.

7. Березін Л.Я., Хоменко М.М., Карпенко А.С. Засоби технологічного оснащення зварювального виробництва. Навч.посібник. – Чернігів: ЧДТУ, 2003. – 142 с.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Підручник.
/Опальчук А.С., Афтанділянц Є.Г., Клендій М.Б., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є.// Ніжин.: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф"".2011. - 792с

9. Дріт ER70S-6 https://jasic.ua/product/provoloka-er70s-6-08-mm-5-kg-280?srsId=AfmBOor9g08GYTNuxfQn_-j5v6ZdxszX6yX92alWimO1YDIU7onyxF7T
(дата звернення: 28.05.2025). – Назва з екрану

10. Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання.
URL:

https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu_en_iso_14175_2014.pdf (дата звернення: 28.05.2025). – Назва з екрану

11. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві:
Навч.посібник .-К.: Арістей, 2005. - 268 с.

12. Карпенко А.С. К26 Технологічна оснастка у зварювальному виробництві
/2-ге видання, переробл. та доповн.: Навч. Посібник.- К.: Арістей, 2006. – 272 с.
ISBN 966-8458-58-3

13. Виробництво зварних конструкцій – 3. Засоби механізації зварювального
виробництва: методичні вказівки до практичних занять з кредитного модулю
навчальної дисципліни «Виробництво зварних конструкцій», для студентів
спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у
зварюванні» / Укладач: В.В. Лисак- К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020. – 110 с.

14. Закон України «Про охорону праці» 2694-ХІІ (ост. ред. 27 грудня 2019)

15. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони, N
741/35024 від 03.08.2020 р

16. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та
інфразвуку

17. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та
локальної вібрації.

18. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих
приміщень.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

20. Розділ з охорони праці в дипломних роботах: Рекомендації до виконання [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» (зварювальні та споріднені спеціалізації) / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. Г. Левченко. – Електронні текстові дані (1 файл: 108 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 28 с.

21. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

22. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення

23. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування

24. ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. Зміна № 2

25. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів

26. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (укр).

27. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

28. Розділ з охорони праці в дипломних роботах: Рекомендації до виконання [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» (зварювальні та споріднені спеціалізації) / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. Г. Левченко. – Електронні текстові дані (1 файл: 108 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 28 с.

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					ЗВ-11.08.00.000 ПЗ	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		