

**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)

« ____ » _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

**«Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

на тему: «Технологія складання-зварювання цистерни»

Виконав (-ла):

студент (-ка) 4 курсу, групи ЗВ - 01

Смолянінов Максим Олександрович _____

Керівник:

к.т.н., доцент

Чвортко Євгенія Петрівна _____

Консультант з економічної частини:

доцент, к.е.н.,

Глуценко Ярослава Іванівна _____

Консультант з охорони праці Зав.каф., д.т.н., професор

Левченко Олег Григорович _____

Рецензент: к.т.н., доцент кафедри ЛТФТТ

Кондрашев Павло Васильович _____

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

Студент (-ка) _____
(підпис)

Київ – 2024

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

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Смолянину Максиму Олександровичу

1. Тема проєкту «Технологія складання-зварювання цистерни»,
керівник проєкту Чвертко Євгенія затверджені наказом по університету від «30»
травня 2024 р. № 2210-с
 2. Термін подання студентом проєкту 14 червня 2024 р. 3. Вихідні дані до проєкту
Матеріал виробу – Сталь 09Г2С. Забезпечення рівномірності зварних з'єднань та
відсутності недопустимих дефектів. Річна програма виготовлення виробу – 500 шт..
-

4. Зміст пояснювальної записки:

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

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

1. Складальне креслення зварної цистерни (1 А1).
2. Схема технологічного процесу виготовлення цистерни (1 А1).
3. Креслення пристрою для складання під зварювання цистерни (1 А1).
4. Визначення структури металу у ЗТВ швів цистерни (1 А1).
5. Креслення установки для зварювання цистерни (1 А1).
6. План виробничої площі для зварювання цистерни (1 А1).
6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Тимошенко Н.Ю., доц.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	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	Детальна розробка і обґрунтування проєктних рішень технологічної частини проєкту	до 15 травня	
3	Розробка економічної частини проєкту	до 20 травня	
4	Розробка інженерних рішень з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	до 20 травня	
5	Оформлення графічного матеріалу	до 25 травня	
6	Оформлення пояснювальної записки і підготовка доповіді на захист	до 5 червня	

Студент

(підпис)

Максим СМОЛЯНИНОВ

Керівник

(підпис)

Євгенія ЧВЕРТКО

АНОТАЦІЯ

У цьому дипломному проєкті розроблено комплексно-механізовану лінію для складання та зварювання цистерни. Вибрано оптимальні методи зварювання, зварювальні матеріали та обладнання, а також розраховано режими зварювання та основні елементи засобів механізації.

Створено технологічний процес для складання та зварювання виробу, а в графічній частині представлено обладнання для складання та зварювання, а також компоновочну схему. Проаналізовано можливу структуру зварного шва та навколошовної зони, виходячи з розрахованих режимів зварювання. Розроблено план комплексної складально-зварювальної дільниці.

Також підготовлено первинний стартап-проєкт для оцінки конкурентоспроможності цистерни.

У розділі з охорони праці проаналізовано шкідливі чинники, які впливають на здоров'я працівників, а також питання безпеки в надзвичайних ситуаціях. Визначено заходи для усунення цих шкідливих чинників.

ABSTRACT

In this diploma project, a comprehensively mechanized assembly-welding line for tanks has been developed. Optimal welding methods, materials, and equipment were selected, and welding modes and the main elements of mechanization tools were calculated.

A technological process for the assembly and welding of the product was created, and the graphic part presents the assembly-welding equipment and the layout scheme. The potential structure of the weld seam and the heat-affected zone was analyzed based on the calculated welding modes. A plan for the comprehensive assembly-welding section was developed.

A primary startup project was also prepared to assess the competitiveness of the tank.

In the occupational safety section, harmful factors affecting the health of workers and safety in emergency situations were analyzed. Measures to eliminate these harmful factors were identified.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБУ	9
1.1. ПРИЗНАЧЕННЯ, ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ, СТРУКТУРА ВИРОБУ ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	9
1.2. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ НА ВИГОТОВЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ:	10
1.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНОГО МЕТАЛУ	18
1.4. ВИБІР СПОСОБУ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВЛЕННЯМ	19
1.5. ВИБІР ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	21
1.6. ПРИЗНАЧЕННЯ ЗВАРНИХ ШВІВ ЗГІДНО ДСТУ	23
1.7. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ ЗВАРЮВАННЯ	24
1.8. ВИБІР УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ	28
1.9. ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ НАВКОЛОШОВНОЇ ЗОНИ ТА НЕОБХІДНОСТІ ДОДАТКОВИХ ТЕРМООБРОБКИ	29
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ-ЗВАРЮВАННЯ ВИРОБУ.	39
2.1. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНИХ БАЗ ТА БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВКИ	40
2.2. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ-ЗВАРЮВАННЯ	41
2.3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНОЇ ЦИСТЕРНИ	45
3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ ДЛЯ СКЛАДАННЯ-ЗВАРЮВАННЯ ЗВАРНОЇ ЦИСТЕРНИ.....	50
3.1. АДАПТУВАННЯ ТИПОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ СКЛАДАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ ВИРОБУ. ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ.....	50
3.2. КОМПОНУВАННЯ СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОГО СТЕНДУ.	51
3.3. КОМПОНУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ПОВЗДОВЖНЬОГО ШВА ОБИЧАЙКИ.....	52
3.4. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СТАНДАРТНИХ ЗТО ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ СТИКІВ.	53
3.5. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДОПОМІЖНИХ ЗТО.	53
3.6. РОЗРАХУНОК СИЛ, НЕОБХІДНИХ ДЛЯ ПРИТИСКУ ЗАГОТОВОК.	53
РОЗРАХУНОК КЛАВІШНОГО ЗАТИСКНОГО ПРИСТРОЮ:	53
4. ПРИЗНАЧЕННЯ СПОСОБУ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНОГО ВИРОБУ.....	59

5. ПЛАН РОЗМІЩЕННЯ ЗАСОБІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СПОРЯДЖЕННЯ НА ВИРОБНИЧІЙ ПЛОЩІ.....	66
6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.	72
7. ОХОРОНА ПРАЦІ	88
ЛІТЕРАТУРА.....	ПОМИЛКА! ЗАКЛАДКУ НЕ ВИЗНАЧЕНО.
ДОДАТКИ.....	111

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні та будівництві зварні конструкції відіграють ключову роль завдяки своїм високим характеристикам міцності, надійності та економічній ефективності. Однією з важливих зварних конструкцій є цистерни, які використовуються для транспортування та зберігання рідких і газоподібних речовин у різних галузях промисловості. Виготовлення цистерн вимагає високого рівня точності та надійності, що досягається завдяки правильному складанню та зварюванню деталей.

В процесі виготовлення зварних цистерн, правильне складання та фіксація деталей мають вирішальне значення. Це передбачає точну відповідність положення деталей кресленням та їх надійне закріплення. Для цього використовується спеціальна оснастка, яка поділяється на складальну та складально-зварювальну частини.

У рамках цього проекту було розроблено комплексно-механізовану лінію для складання та зварювання цистерн. Було обрано оптимальні методи зварювання, зварювальні матеріали та обладнання, а також розраховано режими зварювання і основні елементи засобів механізації. Створено технологічний процес для складання та зварювання виробу, а в графічній частині представлене обладнання для складання та зварювання, а також компоновочна схема. Проаналізовано можливу структуру зварного шва та навколошовної зони на основі розрахованих режимів зварювання. Розроблено план комплексної складально-зварювальної дільниці.

Також було підготовлено первинний стартап-проект для оцінки конкурентоспроможності цистерни.

У розділі з охорони праці проаналізовано шкідливі фактори, що впливають на здоров'я працівників, а також питання безпеки у надзвичайних ситуаціях. Визначено заходи для усунення цих шкідливих факторів.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБУ

1.1 Призначення, технічні вимоги, структура виробу та умови експлуатації

Наведена на рисунку 1 зварна цистерна призначена для зберігання рідин різного призначення і широко використовується в різних галузях промисловості. Під час експлуатації цей виріб піддається як статичним навантаженням від тиску рідини на його стінки, так і динамічним навантаженням, що потребує ретельного вибору матеріалу та контролю якості зварних швів.

Ця цистерна працює в умовах контакту з рідинами та атмосферним середовищем при температурах від -30° до $+40^{\circ}\text{C}$, що важливо враховувати при виборі методів обробки поверхні після її виготовлення. Це може включати фарбування, нанесення корозійностійких покриттів та, за потреби, нанесення світловідбиваючих матеріалів..

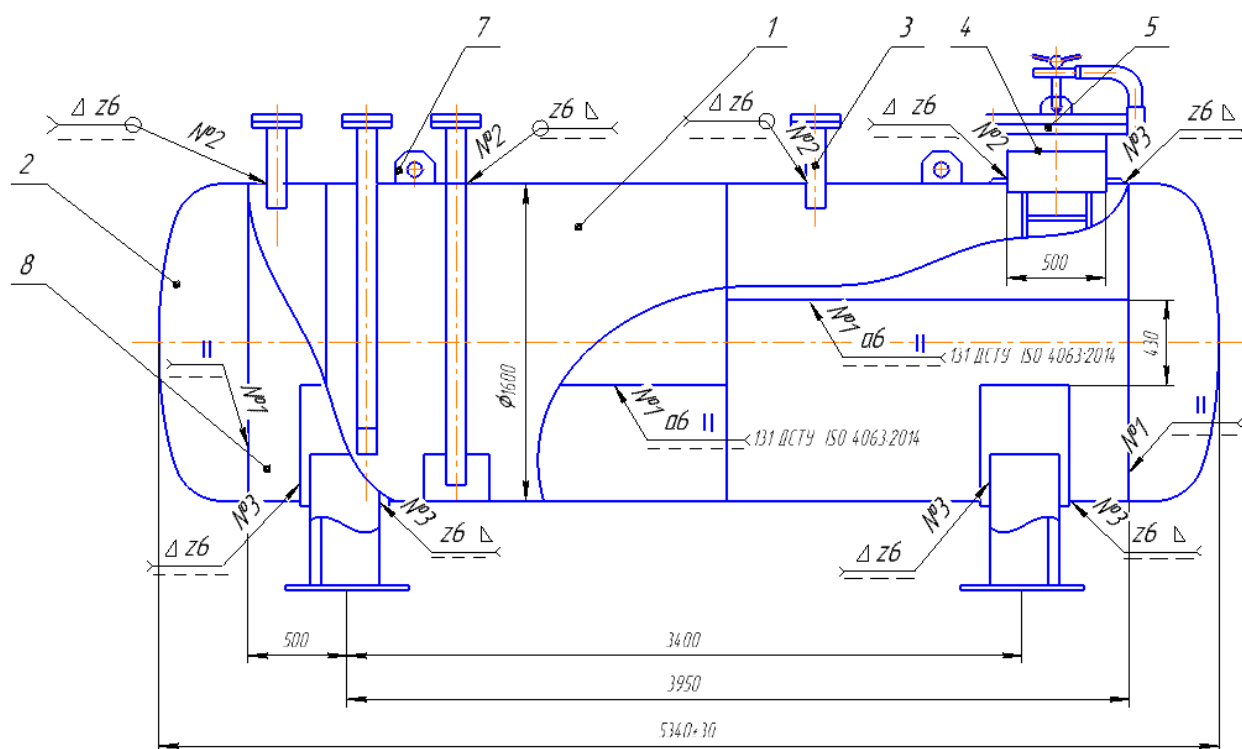


Рисунок 1. Ескіз цистерни зварної

Характеристика зварних з'єднань

Виріб має 3 типи зварних швів.

- шви №1 стикові.
- шви №2 таврові.
- шви №3 напускні.

Зварювані листи товщиною 6 мм. Зварні шви № 1 довгі, тобто більше 0,5 м та поєднують однакові за товщиною листи по 6 мм.

В даній роботі проектуємо розглянемо питання зварюван **зварювання стикового повздовжнього шва обичайки шва №1.**

1.2 Технічні вимоги на виготовлення конструкції

1.2.1 Призначення та вимоги

Зварна цистерна, зображена на рисунку 1, призначена для зберігання різних рідин і широко використовується в різних секторах промисловості. Вимоги до конструкції відповідають нормам ДБН В.2.6-163:2010 "Сталеві конструкції: норми проектування, виготовлення і монтажу". Цистерна виготовляється з низьковуглецевої сталі марки СВ09Г2С та захищається за допомогою захисних і декоративно-захисних покриттів згідно з ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Вона повинна відповідати вимогам технічних умов та комплекту документації креслень згідно зі специфікацією.

Згідно зі складальним кресленням, цистерна складається з наступних компонентів:

- Дві зварні обичайки діаметром 1600 мм і шириною 1970 мм.
- Зварне кільце діаметром 1600 мм і шириною 400 мм.
- Чотири опори, приварені до двох сегментів.

- Горловина з кришкою.
- Патрубки з фланцями.
- Транспортувальні пластини з отворами.

Всі ці компоненти з'єднуються між собою методом дугового зварювання. Конструкція повинна бути спроектована для витримування динамічних і статичних навантажень.

1.2.2 Основні Параметри та Розміри

Основні параметри та розміри цистерни повинні відповідати вимогам, зазначеним у таблиці 1.

Допуски на основні габаритні розміри:

- По довжині: ± 30 мм
- По ширині: ± 30 мм
- По висоті: ± 80 мм
- Відхилення від циліндричності в поперечному перерізі: ± 30 мм
- Поздовжній прогин: ± 30 мм

Допускається складання деталей методом прихоплювання. У зварних швах не допускаються тріщини, непровари, несплавлення та підрізи глибиною більше 0,5 мм.

Таблиця 1. Габаритні розміри та матеріали

Назва параметру або розміру	Норма
Габаритні розміри виробу	5340x2750x1600 мм
Профіль прокату для виробу	лист 6*2000*6000 ДСТУ 8541:2015
	09Г2С ДСТУ 8541:2015
	труба $\frac{D500 \times 6 \text{ ДСТУ 8540: 2015}}{09Г2С \text{ ДСТУ 8541: 2015}}$
Антикорозійне покриття	Вик.1: Грунтовка ГФ-021 (сірий) та нітроемаль НЦ132 (чорний) Вик. 2: Грунтовка ГФ-021 (сірий)
Вага	до 1250 кг

1.2.3 Надійність та Естетичні Параметри

1.2.3.1 Показники надійності

Показники надійності зварної цистерни відповідають виду II згідно ДСТУ 8647:2016. Цистерна є виробом тривалого використання, і в разі відмови або переходу до граничного стану можуть виникнути катастрофічні наслідки, що становлять загрозу для життя людей.

Номенклатура показників виробу:

- Середній час зберігання естетичного вигляду лакофарбового покриття: не менше 10 років.
- Середній повний строк служби: не менше 25 років.

Критерії відмов виробу повинні відповідати вказаним у таблиці 2. Поверхневі пошкодження металевої конструкції та її лакофарбового покриття під час експлуатації не впливають на функціональну здатність виробу і не вважаються відмовами.

Таблиця 2. Критерії відмов виробу

Виріб	Критерії відмов	Методи усунення відмов
Цистерна зварна ТУ У 25.1 – 14312565 – 001 – 2024	Наскрізна корозія більше 5% відсотків поверхні, корозійні руйнування зварних швів	Заміна секції

Граничним станом виробу є такі пошкодження, що виникли під впливом атмосферних умов під час його експлуатації або внаслідок форс-мажорних обставин, які неможливо усунути на місці експлуатації виробу. Форс-мажорні обставини охоплюють пошкодження виробу внаслідок землетрусів, повеней, ураганів або актів вандалізму, аварій транспорту.

1.2.4 Вимоги до Сировини та Матеріалів

1.2.4.1 Виготовлення елементів обичайок

Елементи обичайок виготовляються з використанням таких матеріалів:

- Листи сталеві гарячекатані, товщиною 6 мм (ознака – лист (600x02000 ДСТУ 8540:2015)/(09Г2С ДСТУ 8541:2015)). Матеріал листа – сталь марки 09Г2С згідно хімічного складу згідно ДСТУ 8541:2015. Відхилення розмірів відповідно до ДСТУ 8540:2015 не повинні перевищувати ± 0.45 мм за перетином.
- Труби сталеві безшовні гарячекатані, холоднотягнуті або електрозварні діаметром 500 мм, товщиною стінки 6 мм (ознака – труба (D500x6 ДСТУ 8540:2015)/(09Г2С ДСТУ 8541:2015)). Матеріал труби – сталь марки 09Г2С згідно хімічного складу згідно ДСТУ 8541:2015. Мірна довжина заготовок труб – 6000 мм.
- Труби сталеві безшовні гарячекатані, холоднотягнуті або електрозварні діаметром 100 мм, товщиною стінки 6 мм (ознака – труба (D100x6 ДСТУ 8540:2015)/(09Г2С ДСТУ 8541:2015)). Матеріал труби – сталь марки 09Г2С, з поставкою згідно хімічного складу відповідно до ДСТУ 8541:2015. Мірна довжина заготовок труб становить 6000 мм. Відхилення

зазначених труб повинно відповідати вимогам ГОСТ 8639: зовнішній перетин не повинен перевищувати ± 0.4 мм; відхилення за товщиною стінки – $\pm 12\%$ від її товщини; кривизна будь-якої ділянки труби не повинна перевищувати 0.75 мм.

1.2.4.2 Обробка заготовок

Заготовки елементів виробу з прямолінійними різами обробляються плазмовим різанням, після чого зачищаються за допомогою абразивного інструменту. Кінці листів та труб повинні бути обрізані відповідно до відповідних креслень і зачищені від заусенців. Допускається утворення фаски при видаленні заусенців.

1.2.4.3 Очищення поверхні

Зовнішня поверхня заготовок повинна відповідати другому ступеню очищення поверхні чорних металів від окалини та корозії згідно ДСТУ ГОСТ 9.402.

1.2.5 Вимоги до зварних з'єднань

Зварні шви виконуються зварюванням плавким електродом у середовищі активних газів – тип 135, згідно ДСТУ 4063:2014. Типи зварних з'єднань у відповідності до з'єднання елементів конструкції виробу наведено в табл. 3.

Зміна способів зварювання швів №2 та №3 (див. табл.3) на РДЗ плавким електродом (111 згідно з ДСТУ 4063:2014) допускається, однак це не повинно відбуватися під час виконання одного шву.

Таблиця 3. Типи зварних з'єднань

№ зварного шву згідно креслення	З'єднання елементів	Тип з'єднання	Назва НД
1	Повздовжні шви обичайок та кільця; З'єднання обичайок; Приварювання кільця до обичайок; Приварювання днищ до обичайок	1.22	ДСТУ EN ISO 9692-1
2	Приварювання патрубків до обичайок; Приварювання горловини до обичайки. Приварювання транспортуючих пластин з отворами	3.11	ДСТУ EN ISO 9692-1
3	Приварювання опор	3.12	ДСТУ EN ISO 9692-1

1.2.6 Виготовлення елементів обичайок

Елементи обичайок можна виготовляти шляхом з'єднання двох частин за допомогою зварювання, як описано в пункті 1.5.1. Найменша довжина складової частини не повинна бути менше 30% від загальної довжини елементу. Кількість складових елементів не повинна перевищувати 25% від їх загальної кількості, що вказано в технічних вимогах. Тип зварювального з'єднання для стійок повинен відповідати стандарту ДСТУ EN ISO 9692-1. Після завершення зварювання підсилення шва видаляється, а зона прилягання очищається від залишків електродного металу.

1.2.7 Використання матеріалів для зварювання

Для зварювання використовується оміднений дріт типу G4Si1 (згідно з ДСТУ ISO 14341) діаметром 1.6 мм. Для механізованого зварювання в середовищі активних газів слід використовувати відповідне обладнання.

1.2.7.1 Рекомендації щодо середовища для зварювання

Для зварювання в середовищі активних газів рекомендується використовувати суміш газів Ar+18%CO₂ згідно з ISO 14175:2008.

1.2.7.2 Ручне дугове зварювання

Ручне дугове зварювання виконується з використанням електродів типу Э38, Э42, Э46 з основним або рутиловим покриттям діаметром 3-4 мм. Використовуйте відповідне обладнання для ручного дугового зварювання на постійному або змінному струмі.

1.2.8 Атестація зварників

Зварники, які здійснюють зварювальні роботи під час виготовлення виробу, повинні мати атестацію згідно з ДНАОП 0.00-1.16-96 і відповідні посвідчення.

1.2.9 Очищення зварних швів

Зварні шви цистерни мають бути очищені від шлаку та інших залишків згідно з ДСТУ Б В. 2.6-193:2013. Навколишню зону також слід очистити від бризок електродного дроту та інших залишків згідно з ДСТУ Б В. 2.6-193:2013.

1.2.10 Перевірка якості зварювальних з'єднань

Перевірка якості зварювальних з'єднань проводиться після очищення шва та навколишньої області згідно з вимогами ДСТУ Б В. 2.6-193:2013 перед нанесенням лакофарбового покриття на виріб.

1.2.11 Вимоги щодо захисту від корозії

1.2.11.1 Підготовка поверхні для фарбування

Підготовка поверхні звареного металевого виробу для фарбування здійснюється після оцінки якості зварювальних з'єднань. Поверхня виробу перед нанесенням лакофарбового покриття повинна відповідати другому ступеню очищення поверхні чорних металів від окалини та корозії згідно з ДСТУ Б В. 2.6-193:2013.

1.2.11.2 Нанесення лакофарбового покриття

Послідовність нанесення лакофарбового покриття та вибір коліру залежать від призначення виробу (типу 1 або типу 2), зазначених у таблиці 1. Перший шар лакофарбового покриття наноситься за допомогою ґрунтівки ГФ-021.

1.2.11.3 Використання нітроемалі

Після підготовки поверхні виробу вона фарбується нітроемаллю НЦ132. Для досягнення потрібної густини фарби, вказану нітроемаль розбавляють розчинником № 646.

1.2.11.4 Антикорозійне покриття

Антикорозійне покриття виробу має відповідати вимогам ДСТУ ISO 12944-5:2019 "Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій лакофарбовими системами".

1.3. Характеристика основного металу

Для даної зварної конструкції, що експлуатується під як статичними, так і змінними навантаженнями, критичним аспектом є вибір матеріалу з властивостями задовільної пластичності. Один із оптимальних варіантів для цієї мети - сталь 09Г2С, яка відповідає вимогам ДСТУ 8541.

Цей матеріал здебільшого використовується в промисловому виробництві завдяки високій міцності та достатній пластичності, а також його універсальному застосуванню та відносно низькій вартості. Вироби зі сталі 09Г2С зберігають свої механічні властивості у широкому температурному діапазоні і відповідають вимогам як до статичних, так і до ударних навантажень.

Таблиця 4. Хімічний склад сталі 09Г2С ДСТУ 8541 [1]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Cu	As
до 0.12	0.5 - 0.8	1.3 - 1.7	до 0.3	до 0.035	до 0.03	до 0.3	до 0.12	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Механічні характеристики сталі 09Г2С наведені в таблиці 5.

Таблиця 5. Механічні характеристики Сталі 09Г2С (ДСТУ 8541) [1]

Сталь	Тимчасовий опір розриву σ_B , кг/мм ²	Межа текучесті σ_T , кг/мм ²	Відносне подовження δ_5 , %
Сталь 09Г2С	430-490	265-345	21

Сталь 09Г2С – низьковуглецева низьколегована сталь, не містить хімічноактивних елементів.

Перевіряємо схильність металу шва до утворення гарячих тріщин за максимально несприятливому вмісті легуючих компонентів:

$$HCS = \frac{C(S+P+0.004Si+0.01Ni)}{3Mn+Cr} = \frac{0.12(0.035+0.03+0.004*0.8+0.01*0.3)}{3*1.3+0.3} = 0.000162$$

Так як $HCS = 0.000162$, що менше 0,004, то метал не схильний до утворення

гарячих тріщин.

Провіряємо схильність основного металу до утворення холодних тріщин за максимальним вмістом легуючих компонентів:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} = 0,12 + 1,7/6 + (0,3+0,12)/5 + 0,3/15 + 0,3/13 + 0,03/2 = 0,545$$

Так як $C_{\text{экв}} = 0,37$, що більше $0,40 \dots 0,45$., то основний метал схильний до утворення холодних тріщин при максимально несприятливому вмісті легуючих компонентів

Проте, слід зазначити, що в реальних умовах таке поєднання елементів маловірогідне. Тим не менш в заводських умовах необхідно контролювати склад сталі по сертифікатах.

1.4 Вибір способу зварювання плавленням

Вибір методу зварювання залежить від кількох ключових чинників у виробництві, включаючи хімічний склад матеріалу (табл. 4), товщину деталей (рис. 2), положення зони зварювання, довжину та форму шва, доступність для зварювання, виробничу програму та економічні витрати. Першочерговим аспектом є хімічний склад матеріалу та активність легуючих елементів.

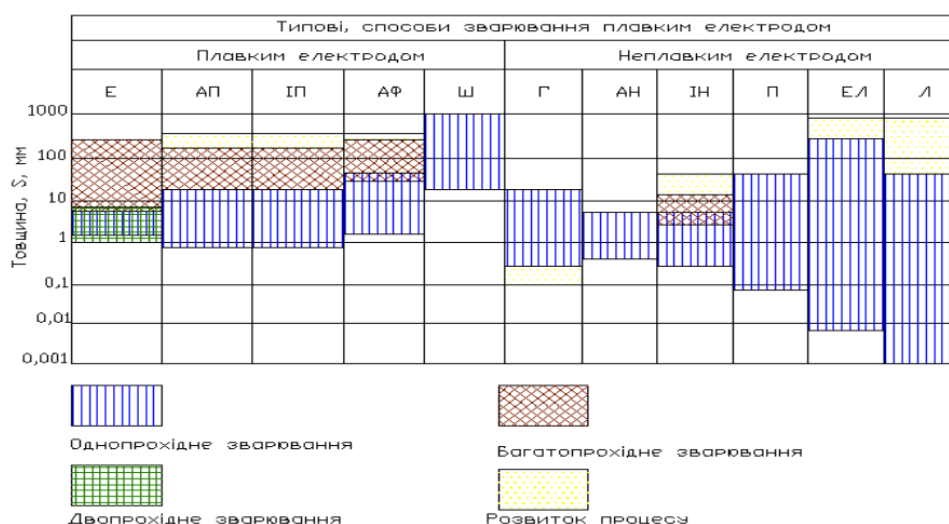


Рисунок 2. Діаграма діапазонів товщин металу, що зварюється типовими способами за один, два і багато проходів [2]

Типові способи зварювання низьковуглецевих низьколегованих сталей розглянуті у табл. 6.

Таблиця 6. Типові способи зварювання сталей [2]

№	Група матеріалів	Типові способи зварювання										
		Плавким електродом					Неплавким електродом					
		Ручне дугове [Е]	В вуглекислому газі [УП]	В інертному газі [П]	Автоматичне під флюсом [Ф]	Електрошлаков е [Ш]	Газове [Г]	Неплавким електродом в активних газах [АН]	Аргонодугове [ПН]	Плазмове [П]	Електронно-променеве [ЕП]	Лазерне [Л]
1	09Г2С	+	++	(+)	++	++	+	+(CO ₂ , повітря)	(+)	(+)	(+)	(+)

При виборі оптимального методу зварювання необхідно враховувати положення та доступність зони зварювання, а також форму та довжину шва. У випадку масового виробництва рекомендується використовувати високопродуктивні методи для скорочення часу виготовлення та зниження витрат матеріалів.

З урахуванням розмірів деталей, положення зони зварювання та вимог виробництва, найбільш відповідними методами є автоматичне зварювання під флюсом та автоматичне зварювання в активних газах плавким електродом. Зварювання під флюсом передбачає додаткові операції, такі як нанесення флюсу та його контроль, що може збільшити час та витрати. Водночас цей метод зазвичай потребує більше зварювальних матеріалів порівняно зі зварюванням в активних газах.

Розглядаючи параметри конструкції, довжину зварних швів та тип виробництва, раціональним вибором є використання автоматичного або автоматизованого зварювання. Це обумовлено його високою продуктивністю та здатністю зменшити час виготовлення продукції.

Отже, автоматичне/автоматизоване зварювання в активних газах плавким електродом є оптимальним вибором для забезпечення продуктивності та ефективних витрат у масовому виробництві.

1.5 Вибір зварювальних матеріалів

К було показано вище за допомогою розрахунків, Сталь 9Г2С має задовільну здатність до зварювання при середньому вмісті легуючих елементів. Вона не схильна до утворення як гарячих так і холодних тріщин. Проте, під час зварювання можуть утворюватися пори через наявність таких сполук:

1. **СО (оксид вуглецю):** Виникнення в зварювальній ванні відбувається через реакцію $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$. Щоб уникнути цієї реакції, зварювальний дріт повинен містити розкислювачі, такі як марганець або кремній. Прикладами таких дротів є Св-08ГА, Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-9Г2С.
2. **N₂ (азот):** Азот може потрапляти в зварювальну ванну з повітря в разі недостатнього захисту.
3. **H₂ (водень):** Водень може потрапляти через вологу на електродах, у балоні з CO₂, а також через іржу або мастило, що можуть бути присутні в зоні зварювання.

Заходи для запобігання утворенню пор включають:

1. **Технологічні заходи:** Ретельне очищення кромки від іржі, мастил і фарб.
2. **Захист зони зварювання:** Необхідно забезпечити захисну газову атмосферу, таку як CO₂, аргон, або використовувати флюси, щоб уникнути потрапляння азоту.
3. **Зменшення швидкості зварювання:** Це допомагає вивільнити гази, що можуть сприяти утворенню пор.

Ці заходи дозволяють забезпечити якісне зварювання сталі 9Г2С і запобігти утворенню дефектів в зварних швах.

1.5.1 Вибір газу

Для забезпечення високих характеристик зварних з'єднань під час експлуатації в умовах значних динамічних навантажень рекомендовано використовувати газову суміш $\text{Ar}+18\%\text{CO}_2$ (позначка M21 - ArC – 18, відповідно до ISO 14175:2008). Цей газ забезпечує високу якість зварних з'єднань, що є особливо важливим в умовах значних динамічних навантажень. З урахуванням того, що зварювання відбуватиметься на заводських площадках, можна успішно використовувати місцеву систему захисту.

1.5.2 Вибір зварювального дроту

Враховуючи властивості сталі 09Г2С, обраний спосіб зварювання та вимоги, що висуваються до процесу зварювання та властивостей готового виробу, необхідно ретельно обирати матеріали та методи для забезпечення високої якості зварювання і уникнення дефектів, зокрема утворення пор. Загалом, використання високоякісного зварювального дроту разом із правильною технологією гарантує надійне та міцне зварне з'єднання без дефектів.

Вибір хімічного складу та діаметру дроту для зварювання сталей регулюється стандартами, такими як ДСТУ EN ISO 14341, ДСТУ EN ISO 14343, ДСТУ EN ISO 16834. Окрім того, на ринку існує велика кількість марок сталевих зварювального дроту, які виробляються за індивідуальними технічними специфікаціями.

При виборі зварювального дроту найбільш важливою є близькість його хімічного складу до основного металу та висока якість зварювання. Рекомендований зварювальний дріт повинен містити розкислювачі, які запобігають утворенню тріщин.

Наприклад, зварювальний дріт типу ER70S-6 (аналог Св08Г2С, G4S1 згідно з ДСТУ ISO 14341:2014) є відмінним вибором для зварювання

конструкцій різного призначення, включаючи низьковуглецеві і вуглецеві сталі, які використовуються у суднобудівництві та виробництві балонів під тиском. Особливу увагу слід звернути на хімічний склад дроту, щоб забезпечити якісне зварювання.

Нанесення мідного покриття на поверхню дроту є ефективним методом для покращення його властивостей. Це дозволяє знизити рівень розпилення металу під час зварювання, скоротити час настройки стабільного процесу зварювання і зменшити кількість випадкових торкань дротом до поверхні основного металу.

Діаметр намотування дроту також має значення для стабільності контакту між "дріт-наконечник" і розташуванням торця електрода щодо осі наконечника. Важливо вибрати оптимальний діаметр намотування, який забезпечить надійний контакт і стабільність процесу зварювання.

Отже, обраний обміднений зварювальний дріт ER70S-6 (аналог Св08Г2С, G4S1, ДСТУ ISO 14341:2014) (табл. 7), і виконання технологічних вимог дозволяють забезпечити високу якість зварювання сталей типу 09Г2С в умовах дугового зварювання в суміші Ar+18%CO₂.

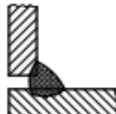
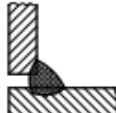
Таблиця 7. Хімічний склад зварювального дроту ER70S-6 [3]

Дріт	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
ER70S-6	0.08-0.1	1.5-1.8	0.9-1.1	0.03	0.025	0.20	0.25	0.20

1.6 Призначення зварних швів згідно ДСТУ

Для механізованого зварювання плавким електродом в середовищі активних захисних газів обираємо розробку кромки згідно ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 (табл. 8).

Таблиця 8. Вибір типу зварного з'єднання для автоматизованого/автоматичного зварювання плавким електродом в середовищі захисних газів (тип 13, 131, 135) згідно ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 [4]

№ шову	Тип з'єднання	Форма підготовки кромок	Характер виконання шва	Підготовлені кромки	Виконаний шов	Товщина зварювальних деталей	Умовне позначення зварного з'єднання
№1	Стикове	Без скосу кромок	Односторонній	Без розробки кромок		6-6 мм	1.2.2
№2	Таврове	Без скосу кромок	Односторонній	Без розробки кромок		6-6 мм	3.1.1
№3	Напускне	Без скосу кромок	Односторонній	Без розробки кромок		3-6 мм	3.1.2

1.7 Розрахунок режимів зварювання

Для зварювання цистерни, використовуємо спосіб автоматичного зварювання в захисному газі.

В нашому випадку, для забезпечення постійної високої якості зварних з'єднань, використовуємо автоматизоване зварювальне обладнання.

Для зварювання в активних газах для стикових з'єднань елементів, товщиною 6 мм, згідно літературних даних параметри режиму зварювання знаходяться в межах, наведених в табл. 9, 10 [5].

Таблиця 9. Параметри режиму зварювання в газах для стикових з'єднань

Товщина, мм.	Величина зазору	Діаметр дроту	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварюв, м/год	Виліт, мм	Витрати газу, г/хв
6	0,5-2	1,2-2,0	200-420	25-36	25-60	12-30	10-16

Таблиця 10. Параметри режиму зварювання для таврових з'єднань:

Товщина, мм.	Величина зазору	Діаметр дроту	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварюв, м/год	Виліт, мм	Витрати газу, г/хв
6	0,5-2	1,2-2,0	200-260	22-26	25-35	10-12	8-10

1.7.1 Розрахунок режимів зварювання поздовжнього стикового шва.

Для розрахунку параметрів режиму зварювання використовуємо параметри, наведені у табл. 11.

Таблиця 11. Параметри режиму зварювання. Розрахунок.

Характеристика зварного з'єднання			Вид зварного з'єднання	Значення H_p , [мм]
Зварювання з одного боку	Зварювання в один прохід	без зазору, наплавлення $S=0,8-8,0$		$h_p = S$

При товщині металу $S=6$ мм параметри зварного з'єднання приймаємо такими:

- $b=0+2$ мм приймаємо $b=2$ мм;
- e – не більш 12 мм приймаємо $e = 8$ мм;
- $g=1.5 \pm 0.5$ мм приймаємо $g=1$ мм;
- $g_1=1.5 \pm 1.0$ мм приймаємо $g_1=1$ мм.

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 $n_{\text{пр}}$;
- Витрати захисного газу.

Вибір діаметру дроту d_d залежить від товщини матеріалу та глибини проплавлення h . Однак, глибина проплавлення залежить від величини зазору (приймаємо $b=2$) та форми підготовки крайок (в нашому випадку – без розробки крайок). Щоб врахувати ці фактори, вводимо розрахункову глибину проплавлення h_p .

$h_p = S$, де S – товщина металу.

$$h_p = 6 \text{ мм.}$$

$$d_d = \sqrt[4]{h_p} \pm 0.05 h_p;$$

$$d_d = 1,26 - 1,86$$

Значення діаметру електродного дроту обмежуються способом зварювання по рівню автоматизації та положенню шва. Отриманий розрахунковим шляхом d_d округляємо до найближчого із стандартного ряду (0.8; 1.0; 1.2; 1.4; 1.6;).

Далі у розрахунках будемо використовувати стандартні значення, розрахунковим діапазоном відповідають стандартні діаметри 1,4 мм. Вибираємо діаметр дроту $d_d = 1,4$ мм.

Швидкість зварювання $V_{\text{зв}}$ (мм/с) розраховуємо виходячи із параметрів зварного шва по залежності:

$$V_{\text{зв}} = \frac{8870 d_d - 2500}{I_{\text{зв}}}$$

$$V_{\text{зв}} = \frac{8870 \times 1.4 - 2500}{265} = 37.4 \text{ м/год}$$

Отримане значення $V_{\text{зв}}$ не виходить за межі допустимого (16 ... 40 м/год).

Силу зварювального струму $I_{\text{зв}}$ (А):

$$I_{\text{зв}}'' = (130 \times d_d^{1.5} \pm 50)$$

$$I_{\text{зв}}'' = (130 \times 1.6^{1.5} \pm 50)$$

Отримане значення $I_{зв}$ не виходить за межі допустимого. Тому приймаємо значення струму

$$I_{зв}=265 \text{ A}$$

Напруга зварювання $U_{зв}$ залежить, в основному, від зварювального струму.

$$U_{зв}^H = 15 + 0,05 I_{зв}$$

$$U_{зв}^H = 15 + 0,05 \times 265 = 28.25 \text{ B}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{п.д}^{\pm} = 1.9 \frac{I_c}{d_d^2} + 2.5 \times 10^{-3} \frac{I_c^2}{d_d^3}$$

$$V_{п.д}^{\pm} = 1.9 \frac{265}{1.4_d^2} + 2.5 \times 10^{-3} \frac{265^2}{1.4_d^3} = 320 \text{ м/год}$$

Витрати на угар і розбризкування.

$$\alpha_p^{\pm} = 11.7 + 0.0156 \frac{I_{зв}}{d_o};$$

$$\alpha_p^{\pm} = 11.7 + 0.0156 \frac{265}{1,4} = 14.63 \text{ г / Ач}$$

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \Psi_p);$$

$$\Psi_p = -4,72 + 17,6 \times 10^{-2} j - 4.48 \times 10^{-4} j^2 = 12.30 \text{ г / Ач}$$

$$j = \frac{I}{\frac{\pi d^2}{4}} = 172.23$$

Витрати газу.

$$Q_{гз} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot I_{зв}^{0,75}$$

$$Q_{гз} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 265^{0,75} = 0,216 \text{ л / с} = 12 \text{ л / хв}$$

1.8 Вибір устаткування для зварювання

Виходячи з отриманих параметрів режиму зварювання обираємо джерело живлення, що відповідає висунутим до нього вимогам:

Для виконання зварювання в активних газах елементів конструкції зварної цистерни обираємо джерело живлення постійного струму, з жорсткою вольт-амперною характеристикою. Таким чином, для зварювання на зазначених режимах було обрано напівавтомат фірми Fronius TransPuls Synergic 5000 CMT (рис. 3, табл. 12)



Рисунок 3. Зовнішній вигляд TransPuls Synergic 5000 CMT

Таблиця 12. Технічні характеристики TransPuls Synergic 5000 CMT[6]

Welding current max.	400,0 A
Welding current min.	3,0 A
Welding current / Duty cycle [10min/40°C]	400A / 50%
Welding current / Duty cycle [10min/40°C]	365A / 60%
Welding current / Duty cycle [10min/40°C]	320A / 100%
Operating voltage	14,2V - 34V
Open-circuit voltage	70,0 V
Mains frequency	50-60Hz
Mains voltage	3 x 400V
Mains fuse	35A
Degree of protection	IP23

Обираємо цей апарат, так як він задовольняє всім вимогам, повністю підходить по режимам зварювання, та ця марка апарату є сучасна, що може забезпечити нам, більш стабільну роботу.

Також може використовуватися зварювальний випрямляч для зварювання в активних газах типу ВДГ-401 та подаючий механізм ПДГ-401 для виконання прихваток.

1.9 Визначення структури металу навколошовної зони та необхідності додаткових термообробки

1.9.1 Визначення структур металу зварного з'єднання. Розрахунок фазового складу металу зварного шву

Для визначення фазового складу металу зварних швів низьколегованих сталей можна застосовувати діаграму (рис. 4), яку побудовано на підставі експериментальних даних.

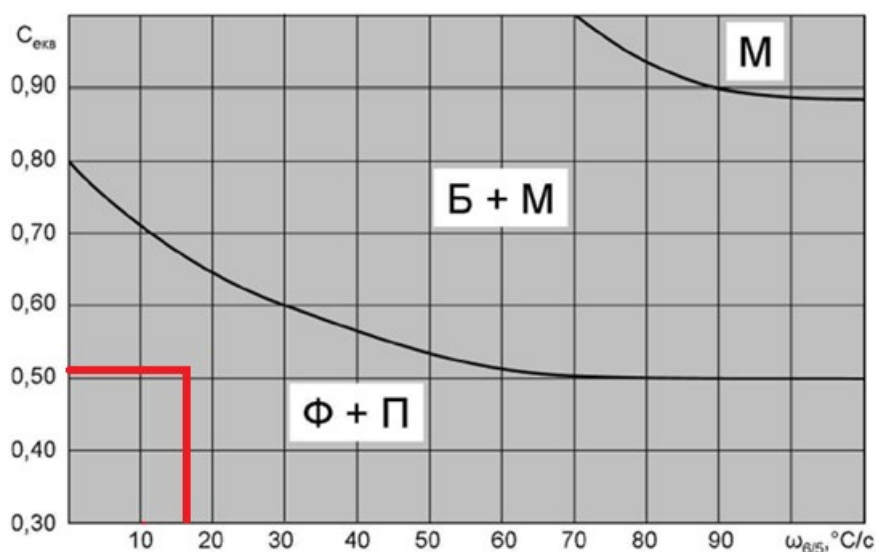


Рисунок 4. Розрахунок фазового складу металу зварного шву

Знайдемо середню швидкість охолодження металу шва $\omega_{6/5}$:

$$\rho = 7700 \text{ Кг/м}^3;$$

$$T = 550 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q = I \cdot U \cdot \eta = 265 \cdot 29 \cdot 0.85 = 6363 \text{ Дж};$$

$$V = 0.0104 \text{ м/с}; s = 0.006 \text{ м};$$

$$\lambda = 41.9 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)};$$

$$c_p = 4.8 \cdot 10^6 \text{ Дж / (м}^3 \cdot \text{К)}$$

Приймаємо схему нагріву ПШЛД. Швидкість охолодження буде виглядати так:

$$\omega_T = 2\pi\lambda c_p \frac{(T - T_0)^3}{(q/v)^2} \delta^2$$

$$\omega_T = 2 \cdot 3.14 \cdot 41.9 \cdot 4.8 \cdot 10^6 \cdot \frac{(550 - 20)^3}{\left(\frac{6363}{0.0104}\right)^2} \cdot 0.006^2 = 16.7$$

Знаходимо вуглецевий еквівалент:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}$$

$$C_{\text{екв}} = 0.12 + 1.7/6 + (0.3 + 0.12)/5 + 0.3/15 + 0.3/13 + 0.03/2 = 0.545$$

1.9.2 Побудова термічних циклів

Для спрощених розрахунків температурних полів під час зварювання застосовують, зазвичай, розрахункові схеми потужних швидкодіючих джерел тепла:

- потужне швидкодіюче лінійне джерело тепла в пластині з тепловіддачею (ПШЛД) для випадків зварювання з повним проплавленням стикових з'єднань.

Розрахунок температурного поля.

Підставляючи в рівняння (1.20) відповідні значення координати y , та часу t , розрахуємо температурне поле, та побудуємо ізохрони. Вісь Ox в даному випадку відновлюється штучно із залежності: $|x| = t \cdot V$

Результати розрахунків подаємо у вигляді таблиць.

Надалі в розрахунках початкову температуру пластин приймаємо: $T_0 = 0$

Вважається, що джерело тепла рухається швидше, ніж встигає розповсюдитись теплота в тілі. В цьому випадку можна знехтувати тепловими потоками вздовж руху джерела тепла і розглядати тільки теплові потоки в поперечному до осі руху джерела тепла напрямку.

$S=0.006$ -м - товщина пластини

$I=265$ -А - зварювальний струм

$U=29$ -В - зварювальна напруга

$V=0.01$ -м/сек - швидкість зварювання

$\eta=0.85$ -ККД

$q=\eta \cdot I \cdot U$ - Дж - теплова потужність

$\lambda=41,9$ - коефіцієнт теплопровідності

$c_p=4.8 \cdot 10^6$ - теплоємність

$\alpha=60$ - коефіцієнт тепловіддачі

$a=8,7 \cdot 10^{-6}$ - коефіцієнт температуропровідності

$b := \frac{2 \cdot \alpha}{c_p \cdot s} = 0.005$ - коефіцієнт повної поверхневої температуровіддачі

Приймемо

y_0 - поперечна, відносно осі руху джерела тепла, координата точок тіла, для яких знаходиться температура – ΔT , К

$y_0 = 0,003; 0,005; 0,007; 0,01; 0,012; 0,015; 0,02; 0,03; 0,045$ м.

• $t = 1, 2, 3, 4, 6, 9, 15, 25, 30, 45, 60, 100$ с.

тоді, враховуючи, що $x = v \cdot t$,

$x = 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,09; 0,15; 0,25; 0,30; 0,45; 0,6; 1$ м.

$$\Delta T = \frac{q}{V \cdot s \cdot \sqrt{4\pi \cdot \lambda \cdot c_p \cdot t}} \cdot e^{-\frac{y^2}{4at} - bt}$$

За даною формулою розраховуємо значення $T(x,y)$ (див табл. 13)

Таблиця 13. Результати розрахунків температурних полів зони зварювання

x, м	T (x,y)								
	y ₀ , м								
	0,003	0,004	0,005	0,007	0,01	0,012	0,015	0,02	0,03
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,005	2130	1425	850	212	12	1	0	0	0
0,0075	2065	1578	1119	446	64	12	1	0	0
0,01	1946	1600	1230	614	139	40	4	0	0
0,015	1725	1509	1269	800	301	129	27	1	0
0,02	1557	1408	1237	876	421	223	69	6	0
0,03	1319	1236	1132	899	553	361	165	30	0
0,035	1236	1165	1082	890	586	408	210	50	0
0,04	1164	1105	1035	871	604	440	245	69	2
0,05	1048	1007	956	833	621	482	303	110	6
0,06	960	929	890	779	621	503	341	147	13
0,075	860	837	809	715	607	512	376	192	28
0,1	742	727	708	648	571	503	398	241	58
0,15	596	590	580	554	502	462	395	282	110
0,2	505	501	495	477	443	416	370	288	140
0,3	394	299	388	379	361	346	320	271	168
0,45	299	298	295	292	282	274	261	233	185
0,6	241	240	239	232	230	226	217	200	195
0,75	200	199	199	197	193	190	184	172	175

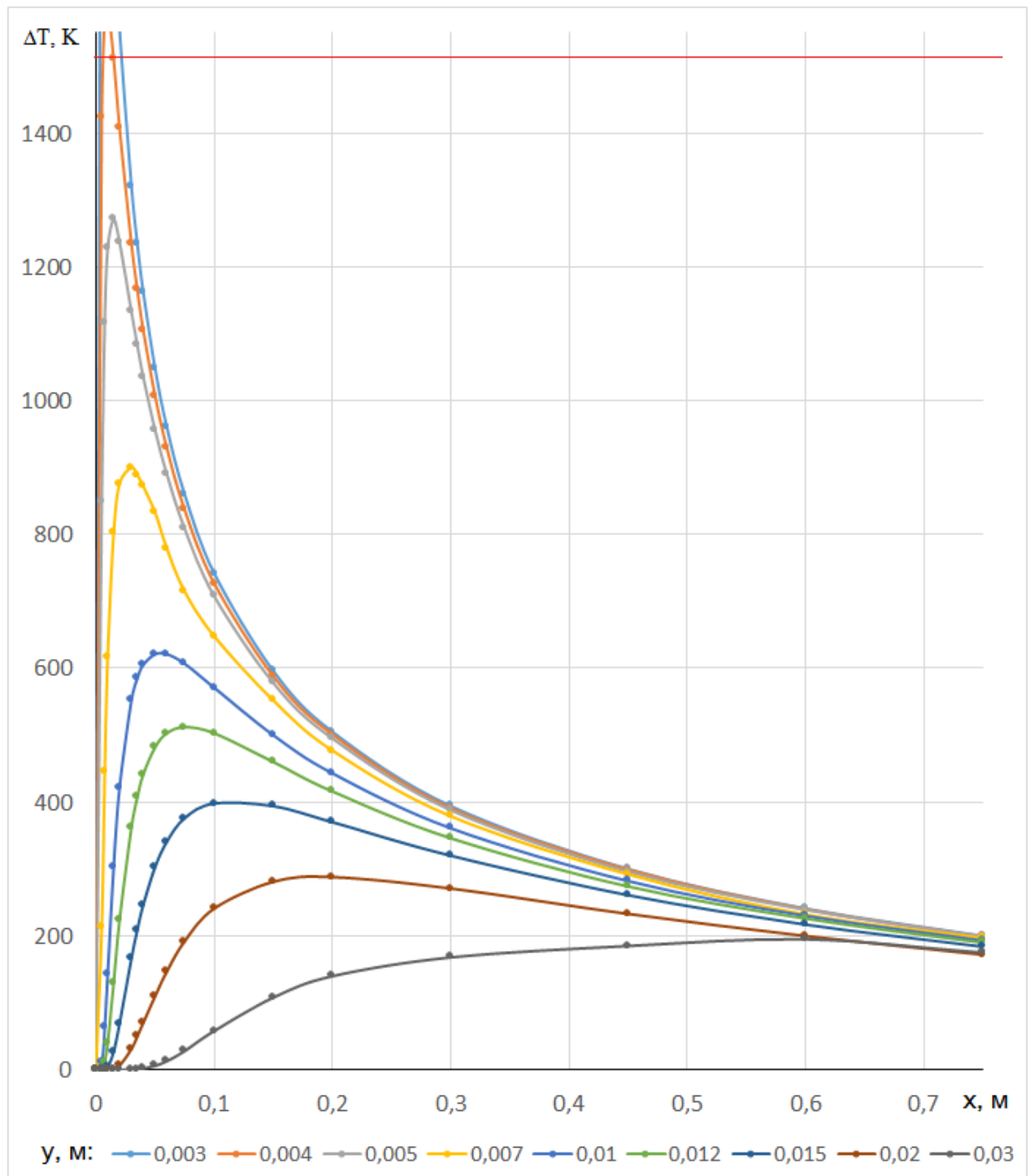


Рисунок 5. Ізохрони вздовж осі руху джерела

Максимальну температуру термічного циклу з урахуванням поверхневої тепловіддачі визначаємо за формулою:

$$T_{\max}(y_0) := \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot e}} \cdot \frac{q}{s \cdot V \cdot c_p \cdot y_0} \cdot \left(1 - b \cdot \frac{y_0^2}{2 \cdot a} \right)$$

y_0 - поперечна, відносно осі руху джерела тепла, координата точок тіла, для яких знаходиться температура

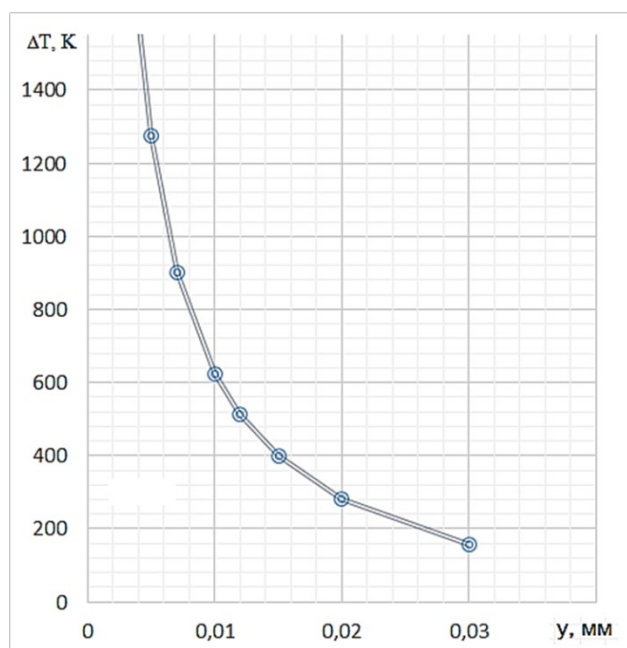


Рисунок 6. Максимальні температури термічного циклу

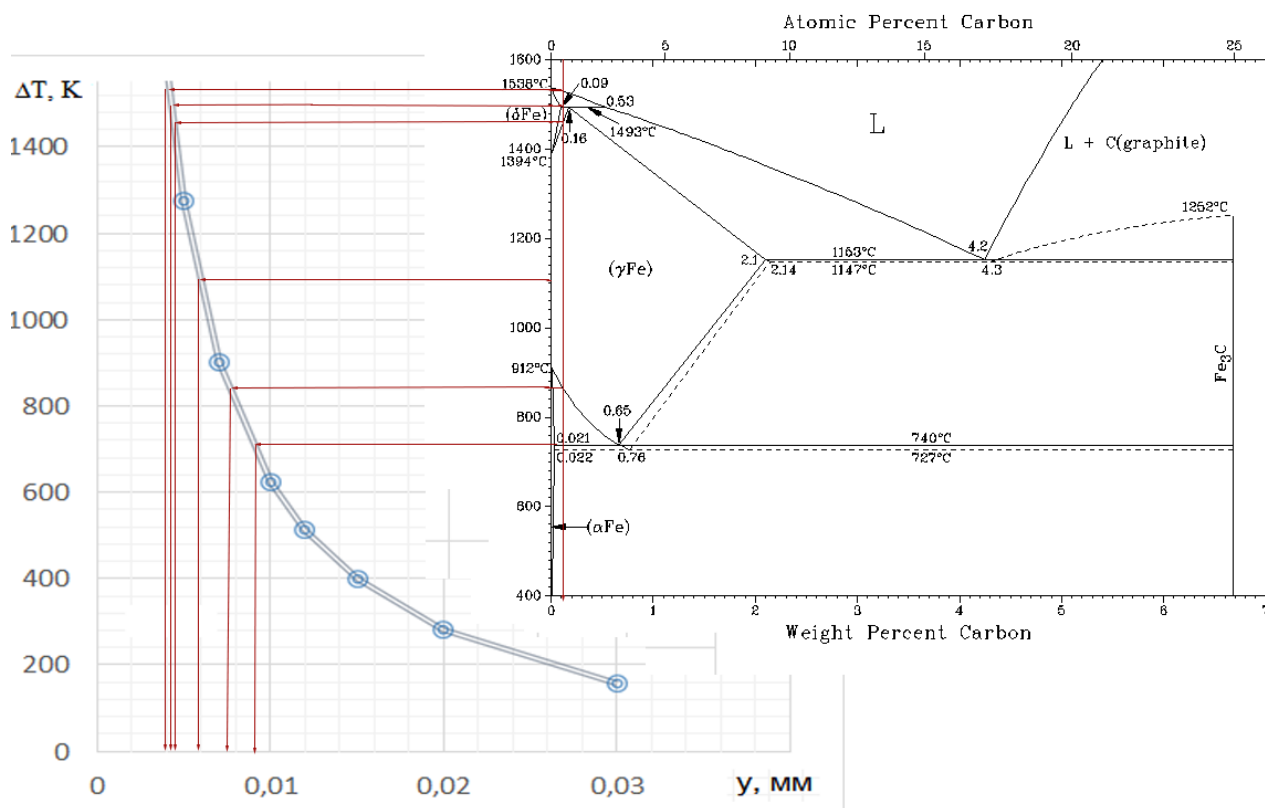


Рисунок 7. Протяжність структурних ділянок навколо шовної зони

Зона термічного впливу (ЗТВ) під час зварювання складається з п'яти структурних ділянок, кожна з яких відрізняється структурою і властивостями:

1. **Y1...Y2-ділянка неповного розплавлення:** Розташована в безпосередньому контакті зі швом. В нашому випадку закінчується на відстані 0.06 м від осі шва. Ця ділянка відрізняється неповним розплавленням металу, де вміст домішок і легуючих елементів знаходиться в межах між складом металу шва та основного металу. Відбувається дифузія вуглецю та легуючих елементів в напрямку меншої концентрації, що впливає на формування перехідних властивостей цієї ділянки.

2. **Y2...Y1100-ділянка перегріву:** Починається на відстані 0.062 м від осі шва. В цій зоні відбувається перегрів металу з наступним α - γ перетворенням при нагріванні вище температури A_{c3} та γ - α перетворенням під час охолодження. Після кристалізації формується крупнозерниста структура, а при швидкому охолодженні можлива поява структур загартування.

3. **Y1100...Y3-ділянка нормалізації:** Починається на відстані 0.065 м від осі шва і має довжину 0.04 м. Під час нагрівання до температури нормалізації відбувається формування дрібнозернистої структури з високими механічними властивостями.

4. **Y3...Y4-ділянка неповної перекристалізації:** Розташована на відстані 0.0105 м від осі шва і має довжину 0.02 м. У цій ділянці зерна не повністю проходять процес перекристалізації, але піддаються нагріванню від температури A_{c1} до A_{c3} . Ця зона характеризується частково загартованою структурою для середньолегованих сталей, а для низьколегованих сталей вона майже не відрізняється від основного металу.

5. **Ділянка рекристалізації після Y4:** Починається після Y3...Y4-ділянки і характеризується зниженою міцністю та твердістю. Вона виникає при нагріванні до температури нижче A_{c1} і включає рекристалізацію та ріст зерен.

1.9.3 Визначення структури металу навколошовної зони

Визначення структури металу навколошовношовної зони включає аналіз кривих охолодження, які наносяться на діаграми анізотермічного розпаду аустеніту. Ці діаграми визначаються для різних марок сталей і відображають процеси перетворення аустеніту в залежності від швидкості охолодження. Криві охолодження починаються з температури 800 (900)°C і досягають максимальної температури 1350°C, і їх розташування на діаграмах визначає структуру металу та його твердість. Наприклад, утворення мартенситних або бейнітних структур з твердістю понад 30 HRC (300 HB, 300 HV) характеризується низькою пластичністю, що може призвести до тріщин. Для забезпечення високої пластичності і відсутності тріщин в металі необхідна ферито-перлітна (сорбітна) структура, для чого крива охолодження повинна знаходитись у області закінчення аустенітно-перлітного перетворення, що відповідає часу $t_{8/5}$.

Ділянка основного металу, яка нагрівається до температури 1350 має координату:

$$y_{1350} = \frac{I \cdot U \cdot 0.85}{\sqrt{2\pi e} \cdot \delta \cdot V \cdot c \rho \cdot 1350}$$

$$y_{1350} = 0.003$$

Термічний цикл цієї точки описується наступним рівнянням:

$$\Delta T = \frac{I \cdot U \cdot 0.85}{\sqrt{4\pi \lambda \cdot c \rho \cdot t \cdot \delta \cdot V}} * e^{-\frac{0.003^2}{4 \cdot a \cdot t} - b \cdot t}$$

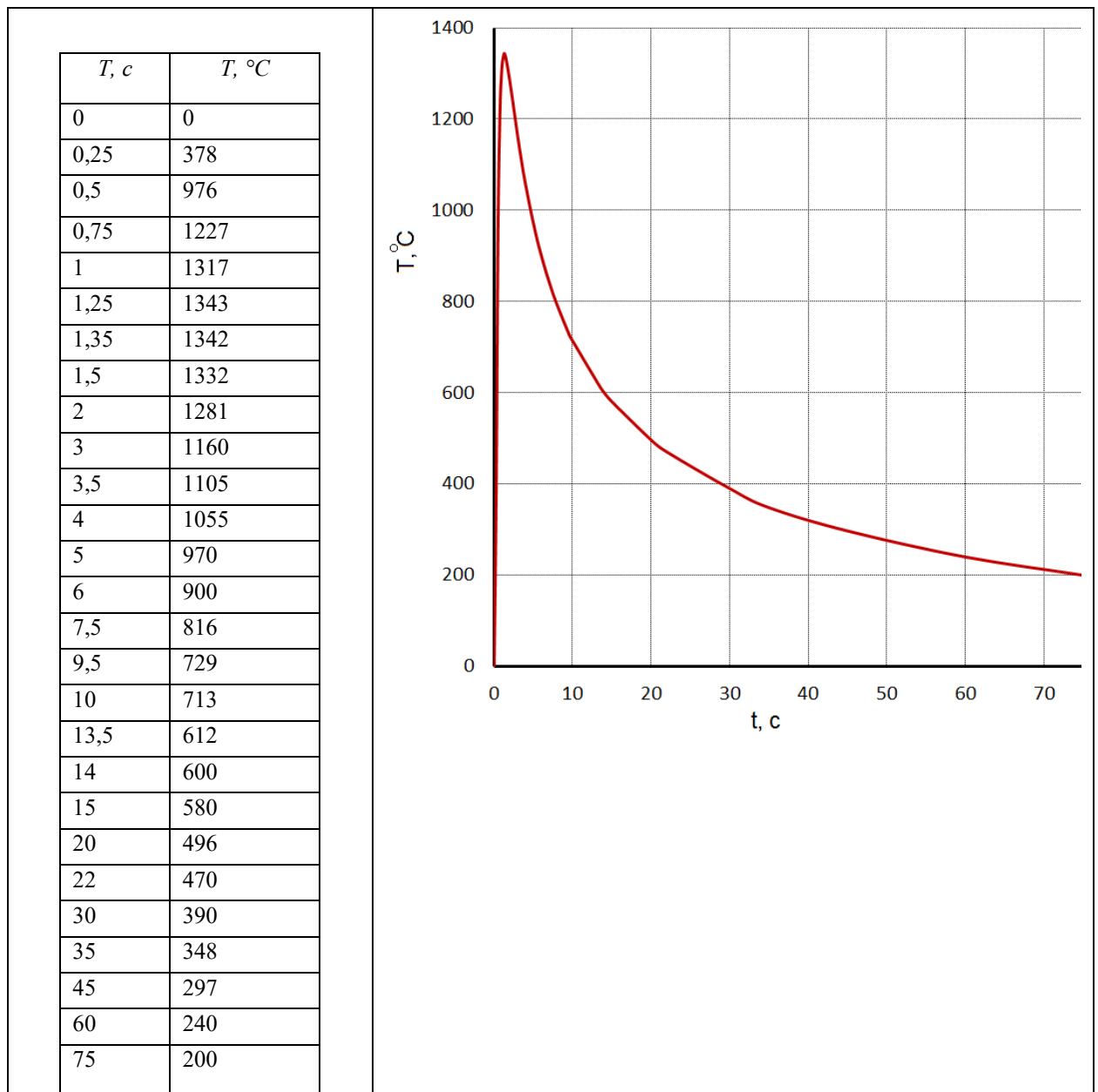


Рисунок 8. Термічний цикл ділянки навколошовної зони, яка нагрівається до $1350^\circ C$

Накладемо отриману криву на діаграму анізотермічного розпаду аустеніту:

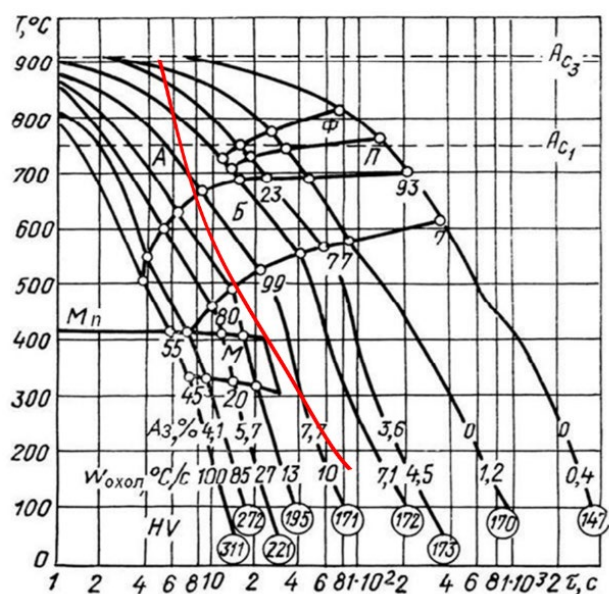


Рисунок 9. Визначення структури металу навколошовної зони

Зазвичай, пластичні властивості металу з гарантованою відсутністю тріщин забезпечує ферито-перлітна (сорбітна) структура металу.

На малюнку розрахункова крива охолодження відповідає Бейнітній структурі з невеликою частиною залишкового аустеніту (з твердістю близько 170 HV), а отже **попередній підігрів виробу не потрібен** (рис. 9).

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ-ЗВАРЮВАННЯ ВИРОБУ

Технологічна послідовність складання та зварювання виробу, такої як зварна цистерна, передбачає наступні етапи [7]:

1. **Аналіз креслень та технічних вимог:** Ґрунтовне вивчення креслень виробу та технічних вимог щодо розмірів, матеріалів, точності складання та інших параметрів.
2. **Вибір базової деталі:** Вибір основної деталі, яка служитиме фундаментом для всієї конструкції, наприклад, зварна обичайка (поз. 1, рис. 1).
3. **Підготовка складально-зварювального пристрою:** Підготовка спеціального пристрою для складання та зварювання конструкції. Забезпечення правильного базування базової деталі на установочних поверхнях пристрою.
4. **Фіксація елементів конструкції:** Закріплення всіх складових елементів конструкції на базовій деталі відповідно до креслень та технічних вимог. Використання універсальної складально-зварювальної оснастки для точного та ефективного складання.
5. **Перевірка відповідності:** Перевірка відповідності розмірів та розташування всіх елементів конструкції відповідно до креслень та технічних вимог.
6. **Зварювання конструкції:** Здійснення зварювання складених елементів конструкції за допомогою відповідних методів та зварювальних матеріалів.
7. **Контроль якості:** Проведення контролю якості зварних з'єднань та загальної якості конструкції після завершення зварювання.
8. **Обробка та оздоблення:** Виконання обробки та оздоблення конструкції за необхідності.
9. **Фінальна перевірка:** Проведення фінальної перевірки якості та відповідності зварної конструкції технічним вимогам.

10. **Приймання готової конструкції:** Прийняття готової зварної конструкції після успішного завершення всіх етапів технологічного процесу для подальшого використання в виробничих процесах або експлуатації.

2.1 Вибір технологічних баз та базування заготовки

У розробці технологічної послідовності складання-зварювання виробу, зокрема зварної цистерни, ключовим аспектом є правильний вибір технологічних баз і їх базування. Бази, в контексті виготовлення або ремонту виробу, означає встановлення його відносно обраної системи координат, щоб забезпечити точне положення відповідно до вимог. Цей процес включає кілька ключових етапів:

1. **Вибір системи координат:** Перший крок полягає в обранні системи координат, яка буде використовуватися для базування. Це визначається залежно від конкретних вимог і технічних умов проекту.

2. **Вибір технологічних установочних баз:** Вибір технологічних установочних баз, які визначатимуть положення виробу під час його виготовлення або ремонту. Установочні бази бувають головні, направляючі та упорні, залежно від кількості ступенів свободи, які вони забезпечують.

3. **Згідність та узгодження положень деталей:** Встановлення взаємної згідності конструкторських і технологічних баз дозволяє зменшити можливість помилок під час збирання і зварювання виробу.

Таким чином, вибір технологічних баз та їх правильне базування є критичними аспектами в процесі розробки та виготовлення складних виробів, таких як зварні цистерни.

Зокрема, при виготовленні заданої зварної цистерни за базову деталь візьмемо обичайку (рис. 10). Для виконання операцій складання використовується спеціальний стенд для складання обичайки та спеціальна установка з відцентровувачем, пневмопритискачами та гвинтовими притискачами для складання обичайки з днищами.

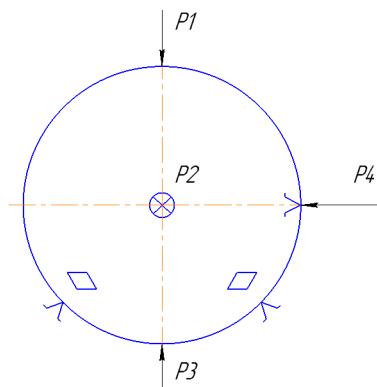


Рисунок 10. Схема базування основних несучих деталей.

2.2 Розроблення технологічної послідовності складання-зварювання

Метою розробки технології складання-зварювання зварного виробу є визначення послідовності складально-зварювальних операцій, що включає вибір оптимальних методів та засобів зварювання, налаштування параметрів процесу та вибір необхідного обладнання. На початковому етапі загального складання важливо здійснити приєднання інших елементів зварної конструкції до базової деталі відповідно до креслень і технологічних вимог. Усі зварні вузли мають бути попередньо складені та зварені перед початком загального складання. Правила складання-зварювання вузлів базуються на тих же принципах, що і загальне складання конструкції.

Зокрема, відповідно до технічних вимог, на виріб можуть бути встановлені зварні обичайки з попередньо зварених частин листів. Це забезпечує необхідну структурну цілісність та міцність зварної конструкції.

Основою проектування раціональних технологічних процесів є їх різноманітний характер, який враховує різні техніко-економічні фактори. Варіативність технологічних процесів базується на можливостях вибору різних типів зварних з'єднань, методів складання та розчленування зварної конструкції на складальні одиниці та деталі. Це дозволяє оптимізувати виробничі процеси з урахуванням вимог до якості та ефективності виготовлення зварних виробів.

Виконання корпусу цистерни (Рис. 11) може бути реалізоване у декількох варіантах.

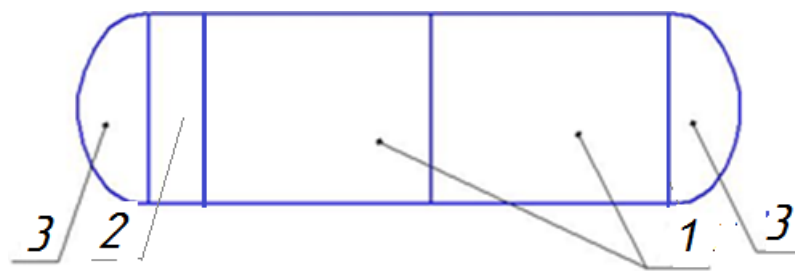


Рисунок 11. Структура корпусу цистерни.

Перший варіант структури корпусу цистерни (рис. 12) передбачає складання великої обичайки з попередньо складених та зварених двох обичайок та кільця.

В другому варіанті зварюються дві однакові обичайки, потім вони прихоплюються між собою та зварюються кільцевим швом. Далі по черзі до них прихоплюються та приварюються кільце та днища.

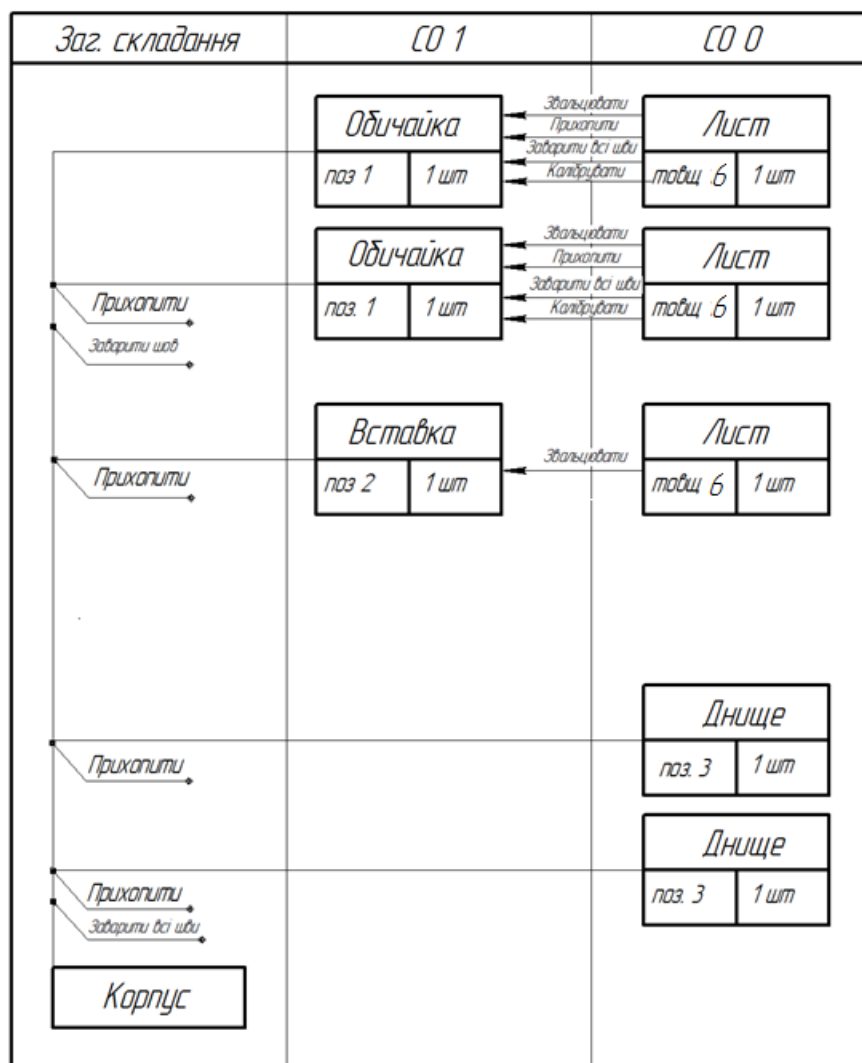


Рисунок 12. Технологічна схема складання корпусу (1 варіант)

В третьому варіанті (рис. 13) ієрархічну структуру можна представити так:



Рисунок 13. Ієрархічна структура

В цьому варіанті з полотнища, звареного з листів, формується одразу вся обичайка, потім вона зварюється та калібрується. Після цього на спеціальній

установці до неї одночасно за допомогою двох автоматів приварюються днища (рис. 14).

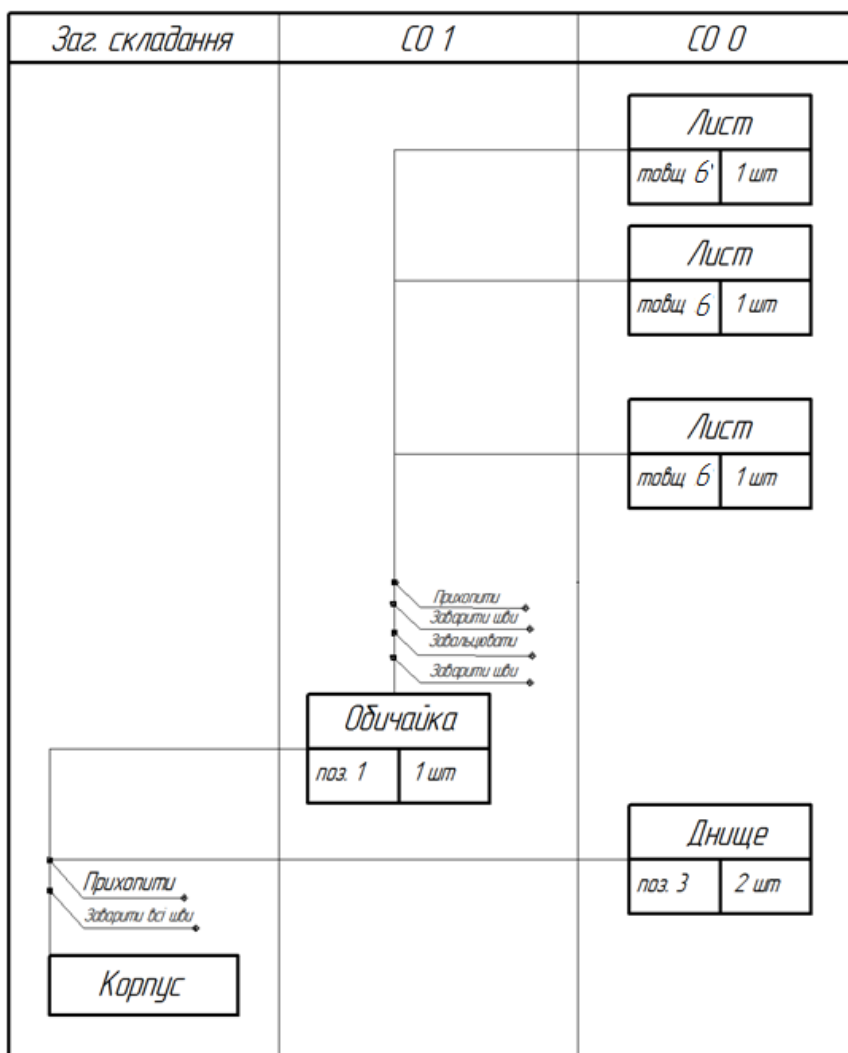


Рисунок 14. Технологічна схема складання корпусу (3 варіант)

Підсумовуючи наведене, варто відзначити, що послідовності технологічних операцій складання-зварювання зварного виробу формуються на основі аналізу конструкторської документації та технічних умов на виготовлення зварної конструкції. Результати цього аналізу, разом із призначеним розчленуванням (декомпозицією) зварного виробу, служать основою для розроблення технологічних послідовностей.

На стадії розробки технологічних процесів складання-зварювання, ці послідовності можуть бути відображені у вигляді технологічних схем загального та вузлового складання. Ці схеми графічно відображають структуру виробу та

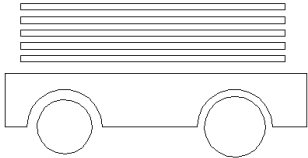
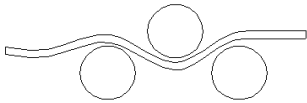
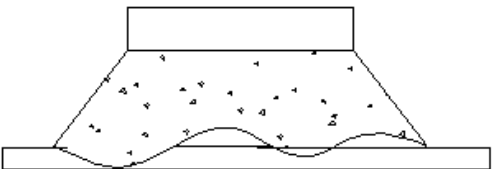
послідовність складання зварної конструкції та її складових елементів. Це сприяє кращому розумінню та візуалізації процесу виготовлення виробу, а також дозволяє виявити потенційні проблеми або недоліки в технологічному процесі та вчасно внести необхідні зміни.

В результаті аналізу структури виробу та його декомпозиції **обрано перший варіант збирання цистерни** під зварювання. Цей вибір здійснюється на основі оцінки ефективності, безпеки та відповідності технічним вимогам, що підкреслює важливість правильного планування технологічного процесу для досягнення успішного результату.

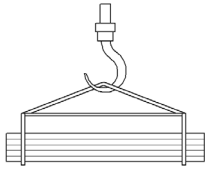
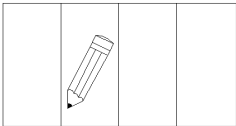
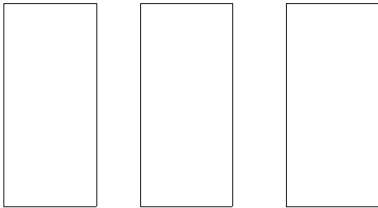
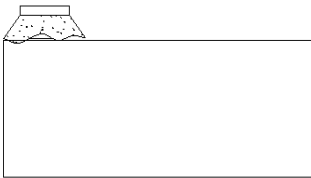
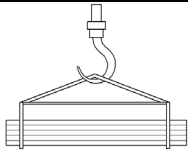
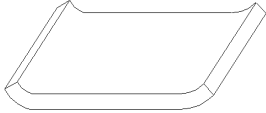
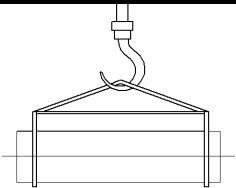
2.3 Технологічний процес виготовлення зварної цистерни

Технологічний процес виготовлення зварної цистерни наведений в табл. 14.

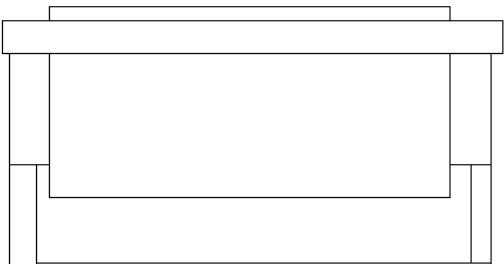
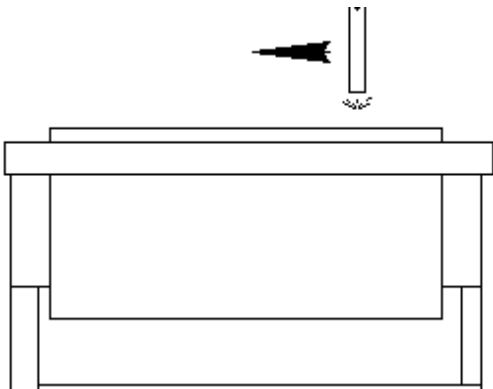
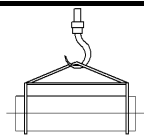
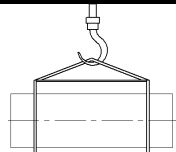
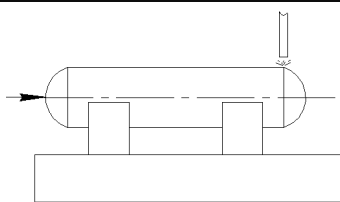
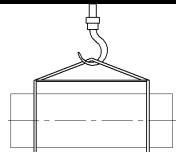
Таблиця 14. Схема технологічного процесу

<i>Схема технологічного процесу</i>			
<i>№ опер.</i>	<i>Назва та зміст операції</i>	<i>Необхідне обладнання</i>	<i>Ескіз</i>
010	Транспортна	Транспортуємо вантажним автомобілем листовий метал на заготівельну дільницю	
015	Правильна	Правимо листи на правильних вальцах	
020	Слюсарна	Відчистити метал від бруду іржі та окалини дробеструменевою обробкою	

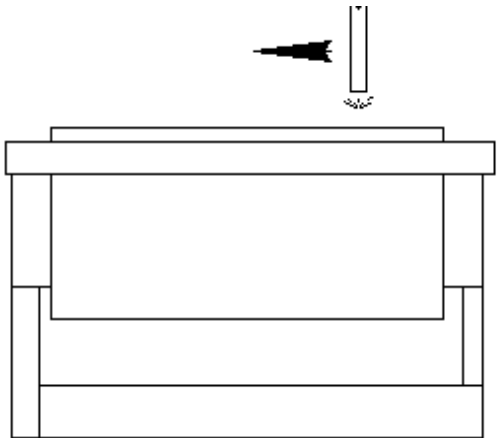
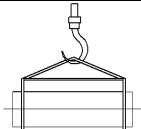
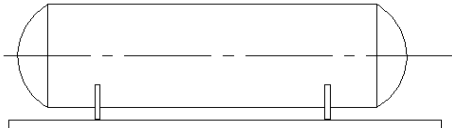
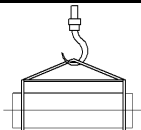
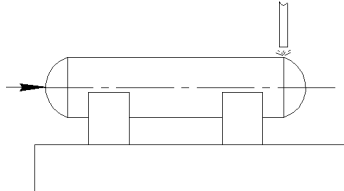
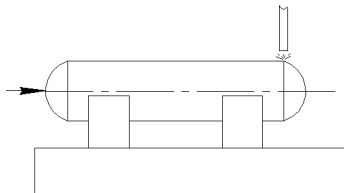
Продовження таблиці 14

025	Транспортна	Виконуємо транспортування розмічених листів до ділянки механічної обробки	
030	Слюсарна	Розмітити листовий прокат	
035	Різання	Вирізати заготовки, використовуємо портальну машину для плазмового різання Plasma-Jet DS 12030.	
040	Слюсарна	Зачистити заготовки від шириною не менше 20мм, прибрати дефекти різання.	
045	Транспортна	Передати листові заготовки на ділянку вальцювання	
050	Слюсарна	Виконати попереднє підгинання кромки	
055	Вальцювання	Звальцювати обичайку діаметром 1600мм.	
060	Транспортна	Доставити заготовки на ділянку складання та зварювання повздовжнього шва	

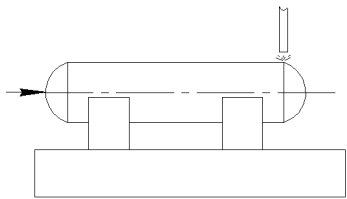
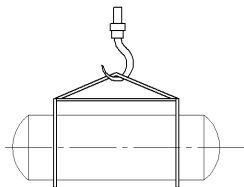
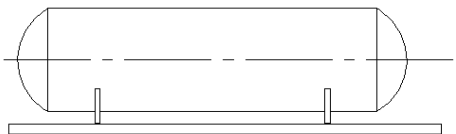
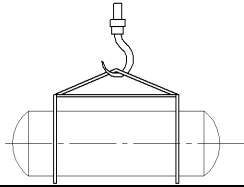
Продовження таблиці 14

065	Складальна	Встановити обичайку для на складально – зварювальний стенд. Виконати складання виробу 1. Встановити заготовку на установці 2. Притискаємо конструкцію до упору. 3. Встановити вивідні планки. 4. Виконати прихватки	
070	Зварювальна	Виконати зварювання з'єднання №1: Тип з'єднання стиковий, без підготовки кромки, шов односторонній, товщинна зварювальних деталей 6 мм за один прохід. Тип з'єднання 1.2.2. згідно ДСТУ EN ISO 9692-1 Автоматизоване зварювання Ag+CO₂	
075	Транспортна	Передати обичайку на слюсарну дільницю	
080	Механічна	Зрізати вивідні планки та зачистити шов	
085	Транспортна	Доставити заготовки до дільниці складання	
090	Складально-зварювальна	Встановити заготовку в установку складання. Виконати складання обичайок, кільця і днищ. Виконати прихватки	
095	Транспортна	Передати заготовки обичайок на установку зварювання кільцевих швів	

Продовження таблиці 14

100	Зварювальна	Виконуємо зварювання кільцевих швів з'єднання №1: Тип з'єднання стиковий, без підготовки кромок, шов односторонній, товщинна зварювальних деталей 6 мм за один прохід. Умовне позначення з'єднання 1.2.2. ДСТУ EN ISO 9692-1 Автоматизоване зварювання $Ar+CO_2$.	
105	Транспортна	Передати обичайку на слюсарну дільницю	
110	Слюсарна	Зачистити зварні шви	
115	Транспортна	Передати заготовки цистерни на ділянку кінцевого складання-зварювання	
120	Складально-зварювальна	Виконати складання цистерни з горловиною та патрубками. Виконати прихватки.	
125	Зварювальна	Виконуємо зварювання накладки під горловину. Кільцевого шва з'єднання №3 : Тип з'єднання напускний, без підготовки кромок, шов односторонній, товщинна зварювальних деталей 6 мм за один прохід. Умовне позначення з'єднання 3.1.2. ДСТУ EN ISO 9692-1 Автоматизоване зварювання $Ar+CO_2$.	

Продовження таблиці 14

130	Зварювальна	Виконуємо зварювання горловини та патрубків Кільцеві шви з'єднання №2 : Тип з'єднання тавровий, без підготовки кромок, шов односторонній, товщинна зварювальних деталей 6 мм за один прохід. Умовне позначення з'єднання 3.1.1. ДСТУ EN ISO 9692-1 Автоматизоване зварювання Ar+CO ₂ .	
135	Транспортна	Передати ємність на слюсарну ділянку	
140	Слюсарна	Зачистити зварні шви	
145	Контрольна	Контролювати щільність зварних швів	
150	Транспортна	Передати ємність на ділянку приварки опор та елементів кріплення	

3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ ДЛЯ СКЛАДАННЯ-ЗВАРЮВАННЯ ЗВАРНОЇ ЦИСТЕРНИ

3.1 Адаптування типового пристрою для складання та зварювання виробу. Обґрунтування необхідності використання технологічної оснастки

Зварювання включає не лише процес зварювання, а й складання, що передбачає розміщення елементів конструкції вузла відповідно до креслень та технологічного процесу, а також їхню фіксацію для забезпечення необхідного взаємного розташування. Ці операції суттєво впливають на якість зварної конструкції [6].

У виробництві важливо використовувати методи, які забезпечують високу точність взаємного розташування листів для виготовлення відповідальних несучих конструкцій. В рамках цього проекту було розроблено складально-зварювальну оснастку для виготовлення виробу, де враховані геометричні параметри деталей та їх вага для визначення методів транспортування і вантажопід'ємності кранів і механізмів. З міркувань ефективності виробництва важливо мінімізувати людський вплив на процес виготовлення корпусу.

У дрібно-серійному виробництві цілком доцільно використовувати універсальну складально-зварювальну оснастку для скорочення часу збирання виробу та зменшення часу розкріплення. У випадку, коли універсальна оснастка не відповідає вимогам щодо реалізації операцій складання, рекомендується розробка спеціалізованої оснастки. В масовому виробництві застосовуються спеціалізовані установки та пристрої з високим рівнем механізації та автоматизації, включаючи пристрої з програмним керуванням.

Важливо враховувати, що розробка технологічних процесів супроводжується вибором, розробкою та замовленням нових засобів технічного оснащення. Правильно підібрана технологічна оснастка має значний ряд переваг, таких як скорочення тривалості виробничого циклу, полегшення умов праці, зниження вартості виробництва та підвищення якості зварних виробів.

3.2 Компонування складально-зварювального стану

Основою складально-зварювального стану (рис. 15) є нижній стіл, який закріплений на опорній колоні. Для фіксації кромки обичайки стан оснащений складними мідними пневмопритисками (3) та упорами, що забезпечують правильне позиціонування виробу під час складання. Фіксація здійснюється за допомогою пульта керування (5). Прихватки розміщуються автоматизовано для зварювання з використанням джерела живлення (4) та захисного (активного) газу (6).

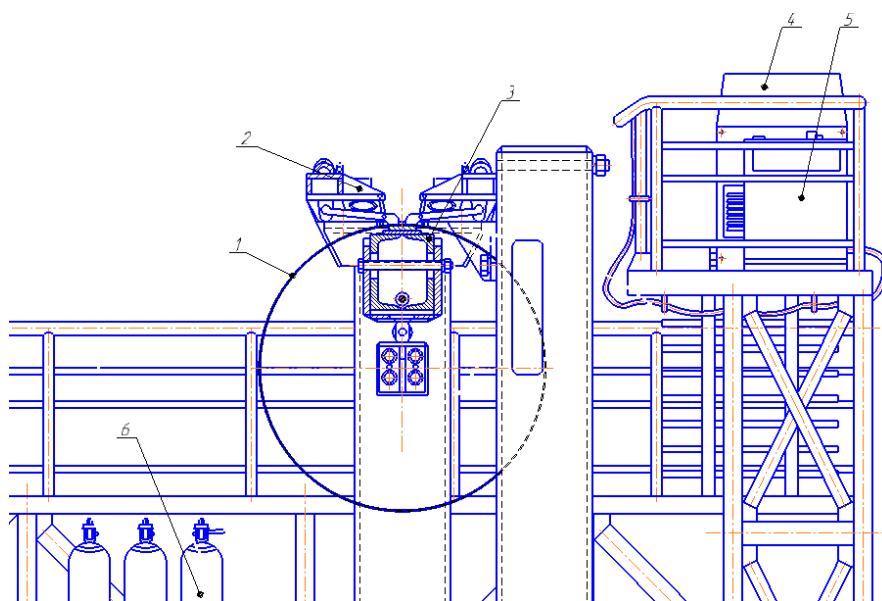


Рисунок 15. Стенд для складання обичайок

Цей технологічний засіб відповідає усім вимогам і забезпечує:

- Збирання та установку деталей без потреби у додаткових підгонюючих операціях.
- Точність складання в межах встановлених кресленням допусків.
- Вільний доступ до місць постановки прихваток та виконання швів.
- Швидке та надійне закріплення зварного виробу притисками.
- Можливість зварювання в нижньому положенні.
- Швидке відведення тепла від місць інтенсивного нагрівання.
- Зниження зварювальних деформацій.

- Виключення можливості заклинювання затискних механізмів під час зварювальних операцій.
- Легкість виймання звареного виробу з оснастки.
- Можливість ремонту.
- Технологічність оснастки.
- Забезпечення безпеки під час експлуатації.

3.3 Компонування установки для зварювання повздовжнього шва обичайки

Для зварювання листів використовується (рис. 16): зварювальна головка (1) від зварювального напівавтомата Fronius TransPuls Synergic 5000 CMT (5), розміщена на рейковому механізмі переміщення (7). Для підвищення продуктивності виробництва застосовані швидкознімні фіксатори-притискачі (4). З метою зниження зварювальних напружень та деформацій зварювання проводиться на мідній підкладці (3).

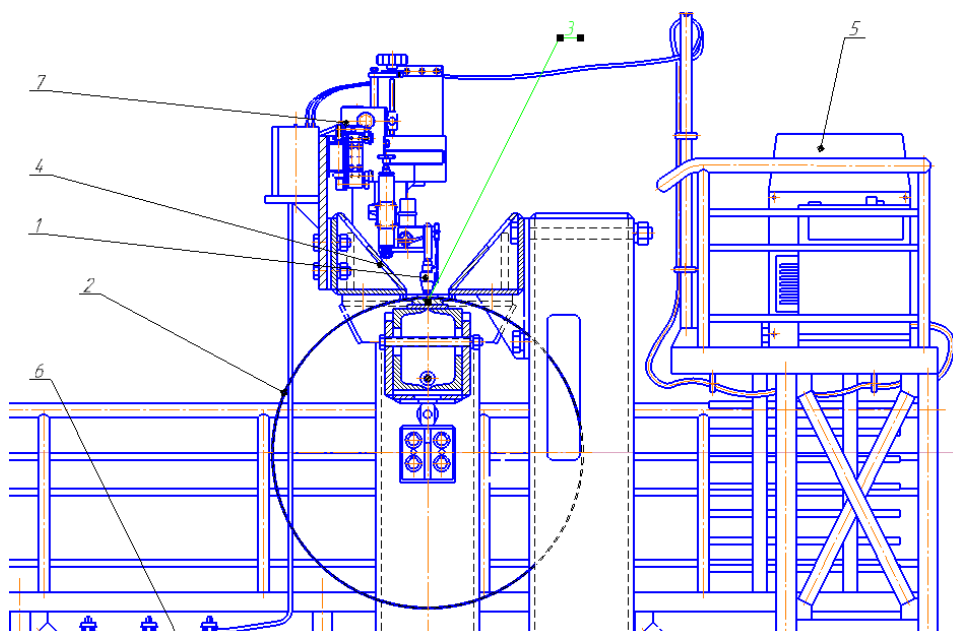


Рисунок 16. Схема розташування зварювального апарату під час зварювання повздовжнього шву обичайки.

3.4 Обґрунтування вибору стандартних ЗТО для ущільнення стиків

Враховуючи особливості конструкції даної зварної цистерни застосування будь-яких засобів для ущільнення стиків є не доцільним.

3.5 Обґрунтування вибору допоміжних ЗТО

До допоміжних механізмів і опцій обладнання для орбітального зварювання відносяться:

- різні системи подачі дроту (холодної або підігрітою) для зварювання методом MIG;
- автономні блоки водяного охолодження (застосовуються дуже часто, враховуючи напружений режим роботи устаткування);
- системи газового захисту кореня шва зсередини.

Допоміжними нестандартизованими пристроями до вказаних агрегатів можуть бути стаціонарні естакади та пересувні немеханізовані майданчики обслуговування.

Враховуючи особливості конструкції даної зварної цистерни застосування допоміжних ЗТО є не доцільним.

3.6 Розрахунок сил, необхідних для притиску заготовок

3.6.1 Розрахунок клавійного затискного пристрою

Виконаємо розрахунок клавійного затискного пристрою при односторонньому стиковому зварюванні поздовжньо шва обичайки радіусом 0,25 м завтовшки $\delta = 4$ мм і завдовжки 1000 мм з 09Г2С по наступним вихідним даним: $E = 2 \times 10^5$ МПа, $\sigma_T = 350$ МПа, власна вага клавій зі шлангом $G = 0,5$ кгс/см,

крок розміщення клавiш $t=5$ см, $l=30$ см, $l_1=10$ см, $l_2=18$ см, $l_3=20$ см, $l_4=10$ см, $l_5=5$ см, хiд клавiш $h_k=4$ см, залишкова кутова деформацiя $\text{tg}\alpha=0,01$.

Розрахуємо силу притиску кромок, зусилля пневмошланга та зворотнiї пружини, поперечний перерiз клавiш, дiаметр пневмошланга, хiд зворотнiї пружини та пневмошланга (рис. 17).

1. Визначаємо критичне значення кутової деформацiї:

$$\text{tg} \alpha_{kr} = \frac{2l_5 \cdot \sigma_{\text{доп}}}{3E\delta} = \frac{2 \cdot 0,05 \cdot 300 \cdot 10^6}{3 \cdot 1,12 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 0,0015} = \frac{3 \cdot 10^7}{5,04 \cdot 10^8} \approx 0,03 \quad (3.1)$$

2. Для визначення погонної сили притиску зварювальних кромок обичайки порiвняємо критичне значення кутової деформацiї з залишковою кутовою деформацiєю. В нашому випадку $\alpha < \alpha_{kr}$, тому погонна сила притиску однієї кромки визначається за формулою:

$$P_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{доп}} \delta^2}{6l} = \frac{350 \cdot 10^6 \cdot 0,0015^2}{6 \cdot 0,05} = \frac{675}{0,3} = 2625 = 0,265 \cdot 10^{-4} \frac{\text{H}}{\text{м}} \quad (3.2)$$

3. Зробимо перевiрку стану прилягання кромок до пiдкладки:

$$\Delta_3 = f - f_0; \quad (3.3)$$

$$f = l_5 \cdot \text{tg} \alpha = 0,05 \cdot 0,01 = 5 \cdot 10^{-4} \text{м}; \quad (3.4)$$

$$f_0 = \frac{4Pl_5^3}{E\delta^5} = \frac{4 \cdot 2625 \cdot 0,05^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 0,0015^5} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{м};$$

Зазор не утвориться, оскільки $f_0 > f$.

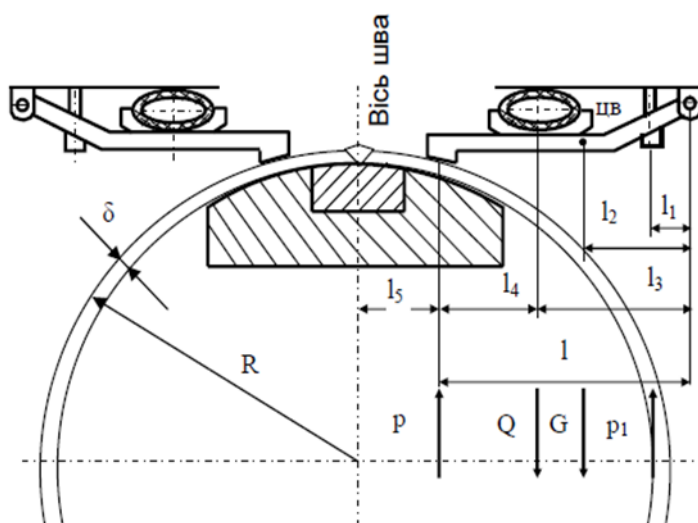


Рисунок 17. Розрахункова схема клавiшного затискного пристрою

4. Розрахункове зусилля на один клавiш:

$$P_k = P \cdot t = 2625 \cdot 0,05 = 131,25 \text{ Н}. \quad (3.5)$$

5. Найбільший згинальний момент, що діє на клавiш:

$$M_3 = Pl = 131,25 \cdot 0,1 = 13,25 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.6)$$

6. Визначимо ширину клавiша при заданій товщині $\delta=10$ мм зі сталі Ст.3 для якої допускне напруження $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$

$$b = \sqrt{\frac{6M_3}{\delta[\sigma]}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 11,25}{0,0015 \cdot 160 \cdot 10^6}} = 0,0167 \text{ м}. \quad (3.7)$$

Приймаємо ширину клавiша 16 мм.

7. Необхідне зусилля пневмошланга, що приходить на одиницю його довжини:

$$Q = 1,05p \frac{l}{l_3} = 1,05 \cdot 2250 \cdot \frac{0,3}{0,2} = 3,544 \cdot 10^3 \text{ Н/м} \quad (3.8)$$

8. Зусилля зворотної пружини:

$$p_1 = \frac{Gl_2 + 0,05pl}{l_1} = \frac{0,5 \cdot 0,18 + 0,05 \cdot 2250 \cdot 0,3}{0,1} = 338,4 \text{ Н/м} \quad (3.9)$$

9. Необхідне зусилля пневмошланга на кожну клавiшу з урахуванням кроку t :

$$Q_{кл} = Qt = 3544 \cdot 0,005 = 17,72 \text{ Н} \quad (3.10)$$

10. Зусилля зворотної:

$$P_{пр} = p_1 t = 338,4 \cdot 0,005 = 1,692 \text{ Н} \quad (3.11)$$

11. Хід пневмошланга:

$$h = h_k \frac{l_3}{l} = 0,04 \cdot \frac{0,2}{0,3} = 0,027 \text{ м} \quad (3.12)$$

12. Хід зворотної пружини:

$$x = h_k \frac{l_1}{l} = 0,04 \cdot \frac{0,1}{0,3} = 0,013 \text{ м} \quad (3.13)$$

13. Необхідний діаметр пневмошланга:

$$d_{ш} = \frac{2Q}{\pi q} + h + \Delta = \frac{2 \cdot 3544}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 10^6} + 0,027 + 0,005 = 0,0365 \text{ м} \quad (3.14)$$

Рукава пожежні напорні прогумовані з синтетичних ниток наступних діаметрів: 51 мм, 66 мм, 77 мм, 150 мм завдовжки $L=20 \pm 1$ м.

Вибираємо пневмошланг діаметром $d_{ш}=51$ мм.

14. Визначаємо допустимий тиск повітря:

$$q_{\text{доп}} = \frac{2Q}{\pi(d_{\text{ш}} - h - \Delta)} = \frac{2 \cdot 3544}{3,14 \cdot (0,055 - 0,027 - 0,005)} = 0,098 \text{ МПа}$$

3.6.2 Обґрунтування вибору та розрахунок конструктивних елементів оснастки

1. Визначаємо відстань l_1 від осі зварного шва до лінії дії сили притиску P_1

$$l_1 = (5 \dots 10)\delta = 9 \times 2 = 18 \text{ мм.}$$

2. Конструктивно приймаємо розміри плечей важеля наступними:

$$l_2 = 120 \text{ мм, } l_3 = 200 \text{ мм.}$$

3. Використовуючи методику І.П.Трочуна визначаємо залишкову кутову деформацію при односторонньому стиковому зварюванні за формулою

$$\beta = 0,0144 \text{tg}\varphi/2,$$

де φ - кут розробки кромки або кут форми проплавлення при односторонньому зварюванні.

Прийнявши кут форми проплавлення $\varphi = 70^\circ$, визначаємо залишкову кутову деформацію $\beta = 0,0144 \times \text{tg}70^\circ/2 = 0,0144 \times 0,7002 = 0,01 \text{ рад.}$

При симетричному розташуванні притискачів відносно осі зварного шва сили притиску будуть чинити опір утворенню кутових деформацій

$$\alpha = \beta/2 = 0,01/2 = 5 \times 10^{-3} \text{ рад.}$$

4. Визначаємо критичну кутову деформацію

$$\alpha_{\text{кр}} = \frac{2\sigma_T l_1}{3E\delta} = \frac{2 * 250 * 10^6 * 0,018}{3 * 2 * 10^5 * 10^6 * 2 * 10^{-3}} = 7,5 * 10^{-3} \text{ або } \alpha_{\text{кр}} = 0,0075 \text{ рад}$$

5. Визначаємо погонну силу притиску листів при зварюванні. Якщо $\alpha > \alpha_{\text{кр}}$, то силу притиску визначають за формулою

$$P_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{доп}} \delta^2}{6l_1}$$

а якщо $\alpha < \alpha_{\text{кр}}$, то погонну силу притиску визначають за наступною формулою

$$P = \frac{E \delta^3 \text{tg}\alpha}{4l_1^2}$$

В нашому випадку залишкова кутова деформація менша критичної, тому силу притиску листів визначаємо за другою формулою

$$P = \frac{2.1 * 10^5 * 10^6 * (2 * 10^{-3})^3 * 0.005}{4 * 0.018^2} = 6.481 * 10^4 \text{ Н/м}$$

6. Розташовуємо притискачі з кроком $t=200$ мм.

7. Визначаємо зосереджену силу, що припадає на один притискач

$$P_{\text{пр}} = P_1 * t = 64810 * 0,2 = 12.962 * 10^3 \text{ Н.}$$

8. З рівняння моментів сил на двоплечому важелі визначимо силу на штоці силового приводу

$$P_2 l_3 = P_{\text{пр}} l_2$$

звідки з урахуванням к.к.д важеля $\eta=0,8$

$$P_2 = P_{\text{пр}} \frac{l_2}{l_3 \eta}$$

$$P_2 = 12962 * \frac{0.12 * 1}{0.2 * 0.8} = 9.721 * 10^3 \text{ Н}$$

9. Визначаємо діаметр пневматичного циліндра

$$D = \sqrt{\frac{4P_2}{\pi * p_{\text{пов}} * \eta_{\text{пц}}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 9721}{3.14 * 0.5 * 10^6 * 0.9}} = 0.165 \text{ м}$$

Обираємо стандартний пневмоциліндр діаметром $D=200$ мм.

10. Визначаємо максимальну величину зазора, який може утворитися між листом та стендом в місці дії притискачів

$$\Delta = f - f_0 = l_1 \tan \alpha - \frac{4P_1 * l_1}{E \delta^3}$$

$$\Delta = 0.018 * 0.05 - \frac{4 * 12.962 * 0.018}{2.1 * 10^5 * 10^6 (2 * 10^{-3})^3} = 0.0009$$

11. Визначаємо розміри $b \times \delta_1$ прямокутного поперечного перерізу важеля, виходячи з максимального згинального моменту

$$M_{зг} = P_2 l_3 = 9.721 * 0.2 = 1.9442 * 10^3 H$$

Конструктивно прийнявши товщину важеля $\delta_1=20$ мм та допустимі напруження для сталі Ст.3 $[\sigma]=160$ МПа з рівняння міцності визначаємо ширину важеля b

$$b = \sqrt{\frac{6P_2 l_3}{[\sigma]\delta_1}}$$

$$b = \sqrt{\frac{6 * 9721 * 0.2}{160 * 10^6 * 20 * 10^{-3}}} = 0.06 \text{ м}$$

Приймаємо ширину важеля $b=70$ мм.

12. Визначаємо діаметр осі важеля.

Вісь важеля можна представити як двохопорну шарнірно закріплену балку, навантажену зосередженою силою P_2 посередині прольоту l_0 . Оскільки вісь закріплюється в підшипникових опорах, то довжину осі приймаємо від середини опор, тобто $l_0=50$ мм. Матеріал для осі сталь 35 для якої $[\sigma]=220$ МПа.

Максимальний згинальний момент

$$M_{зг1} = \frac{P_2 l_{0з}}{4} = \frac{9721 * 0.05}{4} = 121.5 \text{ нм}$$

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{M_{зг1}}{0.1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{121.5}{0.1 * 220 * 10^6}} = 0.0176 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр осі важеля $d_0=18$ мм.

Оскільки в осі виникають нормальні та дотичні напруження, то еквівалентні напруження не повинні перевищувати допустимих напружень

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]$$

$$\sigma = \frac{M_{зг1}}{0.1 * d_0^3} = \frac{121.5}{0.1 * 0.018^3} = 208 \text{ МПа}$$

$$\tau = \frac{4 * P_2}{\pi d_0^2} = \frac{4 * 9721}{3.14 * 0.018^2} = 38 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{екв} = \sqrt{208^2 + 3 * 38^2} = 218.1 \text{ МПа}$$

Таким чином умова міцності осі важеля виконується

4 ПРИЗНАЧЕННЯ СПОСОБУ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНОГО ВИРОБУ

Експлуатаційна надійність і економічність зварних конструкцій в значній мірі залежать від якості зварних з'єднань. Наявність дефектів у зварних з'єднаннях може суттєво погіршити експлуатаційні характеристики виробу і в певних випадках призвести до аварій під час експлуатації або монтажу. Запобігання дефектам та зниження їх ймовірності, навіть за рахунок збільшення витрат на технологічні операції, є економічно обґрунтованим, оскільки контроль якості виробів та виявлення усіх можливих дефектів – це ресурсомісткі та дорогі процеси.

Перша категорія дефектів пов'язана з металургійними, термічними та гідродинамічними процесами, які відбуваються під час формування, кристалізації зварної ванни та охолодження зварних з'єднань. До цієї категорії належать пори, холодні тріщини у металі шва та околошовної зони, втрати міцності та пластичності металу шва і зварного з'єднання, зміни властивостей металу околошовної зони.

Друга категорія дефектів включає непровари, підрізи, пропали, напливи, кратери, включення вольфраму, колірні неоднорідності, відхилення від розмірів шва та інші. Ці дефекти зазвичай з'являються через неправильний вибір параметрів зварювального процесу, порушення режимів зварювання, несправності устаткування, недостатній захист зони зварювання і охолоджуються ділянок шва, недостатня підготовка та складання стику під зварювання, неточне розташування кінця електрода відносно зварюваних крайок тощо.

Також до дефектів можна віднести відхилення від проектувальних розмірів і форми окремих елементів або всього виробу, спричинені його деформацією під час зварювання.

4.1 Рекомендації щодо вибору способу контролю якості зварювання

Рекомендації щодо вибору методів контролю якості зварювання [8-10]:

1. **Ультразвуковий контроль (УЗК):** Використовується для виявлення внутрішніх дефектів у зварному шві, таких як порожнистість, включення, тріщини. Цей метод ефективний для детального аналізу якості зварного шва, особливо у важкодоступних місцях.

2. **Магнітний контроль (МК):** Використовується для виявлення поверхневих і внутрішніх дефектів у зварних з'єднаннях, таких як тріщини, напливи, непровари. Цей метод дозволяє виявити дефекти, які не видно за допомогою візуального огляду.

3. **Візуальний контроль (ВК):** Проводиться шляхом огляду зварного з'єднання для виявлення видимих дефектів, таких як тріщини, непровари, включення, неправильна форма шва. ВК є швидким і дешевим способом перевірки якості зварювання.

4. **Рентгенівський контроль (РК):** Використовується для виявлення внутрішніх дефектів у зварному шві, особливо корисний для товстих матеріалів або для деталей з обмеженим доступом.

5. **Контроль магнітно-порошковий (КМП):** Цей метод використовується для виявлення поверхневих тріщин і недоліків у зварних з'єднаннях, де магнітне поле використовується для розподілу порошку, який накладається на область контролю.

Вибір конкретного методу контролю залежить від вимог щодо якості зварювання, матеріалів, товщини та форми зварних з'єднань, а також від доступності та ефективності методу для конкретного виробничого процесу. Зазвичай комбінують декілька методів контролю для забезпечення повного охоплення якості зварювання.

Вибір конкретного методу контролю якості зварювання залежить від вимог щодо якості зварювання, властивостей матеріалів, геометрії (товщини та форми) зварних з'єднань, а також від доступності та ефективності методу для

конкретного виробничого процесу. Для забезпечення повного контролю якості зварювання часто використовують комбінацію різних методів контролю.

Перед зварюванням важливо перевірити якість зварювального дроту, оскільки він повинен відповідати вимогам щодо чистоти поверхні, відсутності розшарувань та покриттів, що можуть негативно вплинути на технологічний процес зварювання.

Якість зварювання в значній мірі залежить від ефективності та правильної роботи зварювального та механічного зварювального обладнання. Контроль у цьому випадку включає забезпечення належного стану зварювального обладнання відповідно до виробничих стандартів. Джерела живлення для дугового зварювання мають забезпечувати стійке збудження дуги, її стабільне горіння, точне регулювання зварювального струму, а показники приладів повинні відповідати фактичному зварювальному струму та напрузі на дузі. Контрольно-вимірювальні прилади використовуються для перевірки цих параметрів порівняно з еталонними значеннями.

Також необхідно забезпечити ефективну роботу кожного вузла механічного зварювального обладнання, включаючи чітку фіксацію зварювальних виробів, дотримання заданих швидкостей обертання або переміщення виробу відповідно до технологічних вимог та безвідмовність роботи протягом всього технологічного циклу. Підготовка елементів та їх складання в певну конструкцію перед зварюванням також впливають на продуктивність та якість зварювання. Для цієї мети використовуються спеціальні шаблони або універсальні вимірювальні інструменти для перевірки якості підготовки країв, відповідності кута розробки, зазорів, притуплення та прихоплювань до допустимих значень.

4.2 Контроль готового виробу (цистерни)

Контроль якості зварювання цистерн включає кілька важливих аспектів, що охоплюють зварювальне обладнання, механічне зварювальне обладнання, підготовку елементів для зварювання та остаточний контроль готового виробу. Ось ключові рекомендації для кожної з цих областей:

1. Зварювальне обладнання:

- Перевірка зварювальних джерел живлення для забезпечення стабільного горіння дуги, точного регулювання струму та напруги.
- Перевірка контрольно-вимірювальних приладів і порівняння їх показань з еталонними для забезпечення вимірювань високої точності.

2. Механічне зварювальне обладнання:

- Перевірка фіксації зварювальних виробів в обладнанні і стабільності швидкості обертання або переміщення відповідно до технічних вимог.
- Перевірка безвідмовності роботи механічного обладнання протягом усього технологічного циклу.

3. Підготовка елементів та складання для зварювання:

- Перевірка якості підготовки крайок, включаючи чистоту, кут розробки, зазори та притуплення.
- Перевірка відповідності складання заготовок заданим параметрам, таким як кількість та розміри прихоплювань.

4. Контроль готового виробу:

- Зовнішній огляд зварних швів та вимірювання їх геометричних розмірів.
- Використання ультразвукової дефектоскопії для виявлення внутрішніх дефектів.

У разі виявлення дефектів під час контролю вони мають бути усунені та вирівняні з урахуванням наступних вимог:

- Надмірне посилення зварних швів видаляється механічним способом.
- Недостатнє посилення виправляється підварюванням після зачищення шва.

- Напливи видаляються механічно і, за необхідності, підварюються.
- Підрізи та поглиблення між валиками підварюються після зачищення місць підварки.

- Дефектні ділянки (тріщини, незаплавлені кратери, пори, неметалеві включення і непровари) видаляються до чистого металу, уникаючи залишення гострих кутів, та підварюються до отримання шва нормального розміру.

На ділянках шва з тріщиною її кінці перед зачисткою повинні бути засвердлені свердлом діаметром від 2 мм до 4 мм. Видалення дефектів проводиться механічною зачисткою абразивним інструментом. При видаленні дефектів механічною зачисткою ризику на поверхні металу від абразиву повинні бути направлені уздовж зварного з'єднання. Якщо при контролі виправленої ділянки будуть виявлені дефекти, то допускається проводити повторне виправлення в тому ж порядку, що і перше. Виправлення дефектів на одній і тій же ділянці зварного з'єднання допускається проводити не більше трьох разів.

Враховуючи відповідальний характер конструкції після проведення візуального контролю готових виробів необхідно провести вибірковий ультразвуковий контроль. Розмір вибірки – не менше 10%.

Ультразвуковий метод контролю виявлення дефектів в зварних швах є ефективним і широко використовується в промисловості. Нижче подано послідовність кроків для його виконання:

1. Підготовка поверхні для контролю:

- Зачистка поверхні зварного шва від залишків шлаку, фарби та іржі.
- Очищення смуг завширшки приблизно 50 мм з обох боків від зварного шва.
- Покриття контрольованої зони рідиною для забезпечення кращого проходження ультразвукових хвиль.

2. Налаштування приладу:

- Попереднє налаштування приладу на товщину стінки зварної деталі.

3. Виконання контролю:

- Переміщення п'єзоелектричного перетворювача по зигзагоподібній траєкторії вздовж зварного шва.

- Періодичне обертання п'єзоелектричного перетворювача навколо своєї осі для отримання максимально чіткого зображення на екрані приладу.

- Фіксація та запис координат виявлених дефектів.

4. Випробування на герметичність (рис. 18):

- Герметизація контрольованого виробу разом з елементами системи контролю.

- Створення тиску, що перевищує робочий, і утримання його протягом встановленого часу.

- Перевірка на витоки підвищеного тиску.

Використання цих методів контролю дозволить підвищити якість зварних з'єднань та забезпечити надійність конструкції для зберігання рідин.

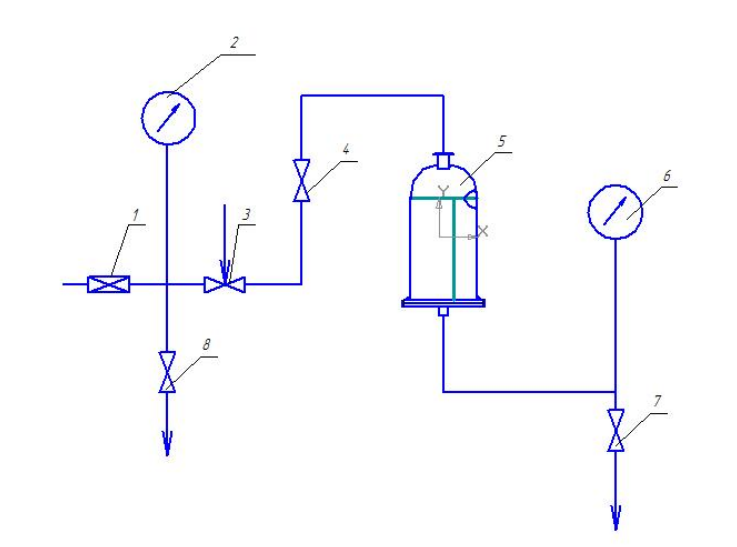


Рисунок 18. Схема контролю на надлишковий тиск

Контрольна речовина надходить із системи через редукційний клапан 1, вентиль заповнення 3 та запобіжний клапан 4 у виріб 5, який контролюють. Тиск вимірюють манометром 2. Випробувальний тиск дорівнює приблизно 1,1 – 1,2 від робочого тиску. Тривалість випробування під тиском може досягати кількох десятків годин. Враховуючи, що зварну конструкцію використовують в

хімічному виробництві, виріб вважається герметичним, якщо за 1 годину тиск падає не більше, ніж на 0,1% для токсичних, і на 0,2% для вибухонебезпечних речовин для нових виробів, і на 0,5% під час періодичних випробувань. Падіння тиску реєструє контрольний манометр високого класу точності (понад 0,01МПа). Зменшують тиск в системі за допомогою вентилів 7, 8. Для наочності поверхні швів можна покрити за допомогою пензля піноутворюючою речовиною (1 частина води, 50 частин господарського мила, 5 частин гліцерину). Випробування стисненням повітрям виконують після гідравлічних випробувань на міцність з дотриманням техніки безпеки. Показники випробувань заносять у журнал випробувань і оформлюють актом на випробування.

5 ПЛАН РОЗМІЩЕННЯ ЗАСОБІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СПОРЯДЖЕННЯ НА ВИРОБНИЧІЙ ПЛОЩІ

У проектуванні промислових будівель ключовими елементами є колони, підкроквяні ферми, кроквяні ферми і ліхтарі. Колони є опорними стовпами, які несуть навантаження від будівельного каркасу, снігових навантажень та мостових кранів і передають їх на ґрунт через фундамент. Розташування колон утворює сітку будівельних колон, що визначає промислові можливості цеху (рис. 19).

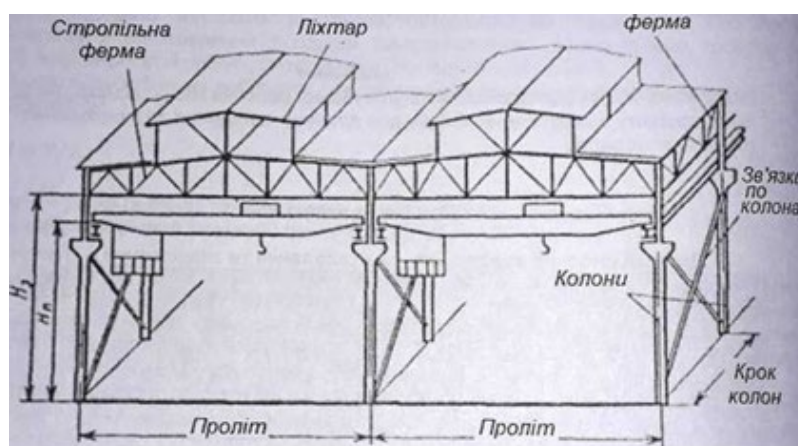


Рисунок 19. Каркас промислової будівлі

Колони одного ряду з'єднуються підкроквяними фермами, на які спираються кроквяні ферми. Відстань між осями колон сусідніх рядів визначає ширину прольоту цеху, яка зазвичай становить 18, 24, 30 або 36 метрів. Широкі прольоти підвищують промислові можливості, але збільшують масу та вартість металоконструкцій будівлі. Використання прольотів ширинами 30 і 36 метрів потребує додаткового обґрунтування.

Крок колони, тобто відстань між колонами у одному ряду, зазвичай складає 12 метрів (іноді 6 метрів). Зв'язки по колонах приймають навантаження від поздовжнього гальмування кранів і вітрового навантаження, а потім передають їх на фундаменти колон. Ліхтарі використовуються для природної вентиляції та освітлення прольотів.

5.1 Планування складально-зварювальних дільниць

При розробці плану складально-зварювальних дільниць важливо визначити необхідну кількість прольотів та їх розміри. Ці параметри уточнюються в процесі детального проектування з урахуванням стандартів технологічного проектування.

Ширину кожного прольоту визначаємо, порівнюючи ескізи розміщення робочих місць та обчислюючи суму ширини робочих місць, проходів та проїздів між ними. Обладнання, робочі місця складально-зварювальних дільниць розташовуються поруч зі складськими зонами для зручного доступу до деталей і збірних одиниць, утворюючи ряди вздовж прольоту.

У практиці проектування застосовуються чотири основні варіанти розташування робочих ліній з проїздами між ними.

Ширину кожного прольоту визначаємо шляхом порівняння ескізів планування робочих місць у прольоті та обчислення суми розмірів ширини робочих місць, проходів і проїздів між ними. При цьому обладнання, складально-зварювальні робочі місця розташовуються поруч зі складськими місцями для зручності доступу до деталей і складальних одиниць, і розміщуються рядами, що простягаються вздовж прольоту.

Розрахунок ширини прольоту

У кожному прольоті зі зростанням кількості ліній робочих місць збільшується необхідна ширина прольоту ($b_{пр}$), і використання площі прольоту змінюється. Залежно від кількості ліній робочих місць використання площі прольоту може бути відображено у відсотках. Значення ширини прольоту $b_{пр}$ може бути визначено наступним чином:

- $(b_{пр})_{min}=2(b_1+ b_m)$ – спрощений розрахунок;
- $(b_{пр})_{max}=2(b_1+b_2+ b_m+b_{скл})+b_n$ – деталізований розрахунок.

Числові значення величин, що входять в наведені вище вираження, відповідно до вимог норм технологічного проектування і за даними практики приймають в наступних межах:

b1 - відстань від тильної сторони робочого місця до осі повздовжнього ряду колон, Ц як правило, не менше 1 м;

b2 - відстань між робочим місцем або огорожею зварювальної kabіни і складальним місцем для прибуваючих деталей;

bt - ширина робочого місця, обумовлена шириною складально-зварювального ; пристрою;

bsкл - ширина складського місця, що залежить від розмірів складених біля робочих місць деталей і складальних одиниць;

bp - ширина проїзду між двома лініями робочих місць, розташованих в одному прольоті, приймають в межах 3-4 м.

Довжину прольотів в межах кожного відділення проектного складально-зварювального цеху встановлюють на основі проектування планування обладнання і робочих місць на плані кожного прольоту. При цьому крок колон (6 x 12, 12 x 18, 12 x 24 м) і ширина прольотів являють собою основні параметри сітки колон, що служить канвою для складання технологічного плану цеху.

У відповідності зі ДНАОП 2.09.02-85 "Розміри виробничих приміщень": ширина проходів – 1 м, коридорів – 1,4 м, дверей – 0,8 м.

Площа на одного працюючого – 5 кв. м. Обсяг виробничого приміщення на одного працюючого – 15 куб. м (відповідно до НАПОП 4088-86).

Висота приміщень від підлоги до виступаючих частин комунікацій:

- у місцях регулярного проходу людей – 2 м;
- у місцях нерегулярного проходу людей – 1,8 м.

Планування ділянки забезпечує вільний і безпечний доступ обслуговуючого персоналу до устаткування.

Згідно з вимогами "Норм проектування промислових підприємств", відстань від стін до задньої частини устаткування повинна бути не менше 900 мм, а до передньої частини - не менше 200 мм.

На основі цих норм і розробленого технологічного процесу ми будемо планування складально-зварювальної ділянки. Мережу колон приймаємо з

розмірами 12000x18000 мм, а висота цеху становить 10.8 м до підкранового шляху. Для переміщення металу та піддонів з деталями, вузлами і виробами необхідно обладнати ділянку мостовим краном вантажопідйомністю 5 тонн і довжиною 18 метрів.

На кресленні цеху пропонується розподіл на чотири основні дільниці (рис. 20).

Перша дільниця - заготівельна - відповідає за прийом, підготовку та перевірку якості металу, а також його відповідність сертифікатам.

Друга дільниця - складально-зварювальна - займається складанням деталей та їх зварюванням між собою.

Третя дільниця - дільниця контролю якості зварних швів - займається перевіркою швів на наявність дефектів, недоліків та відповідність міжнародним стандартам якості. При задовільних результатів аналізів виріб передається на четверту дільницю.

На четвертій дільниці - дільниці випуску готової продукції - виріб ґрунтується, наносять марку заводу та готують до відправлення замовнику. Таким чином, процес виробництва проходить через ці чотири дільниці з виконанням відповідних операцій на кожній з них.

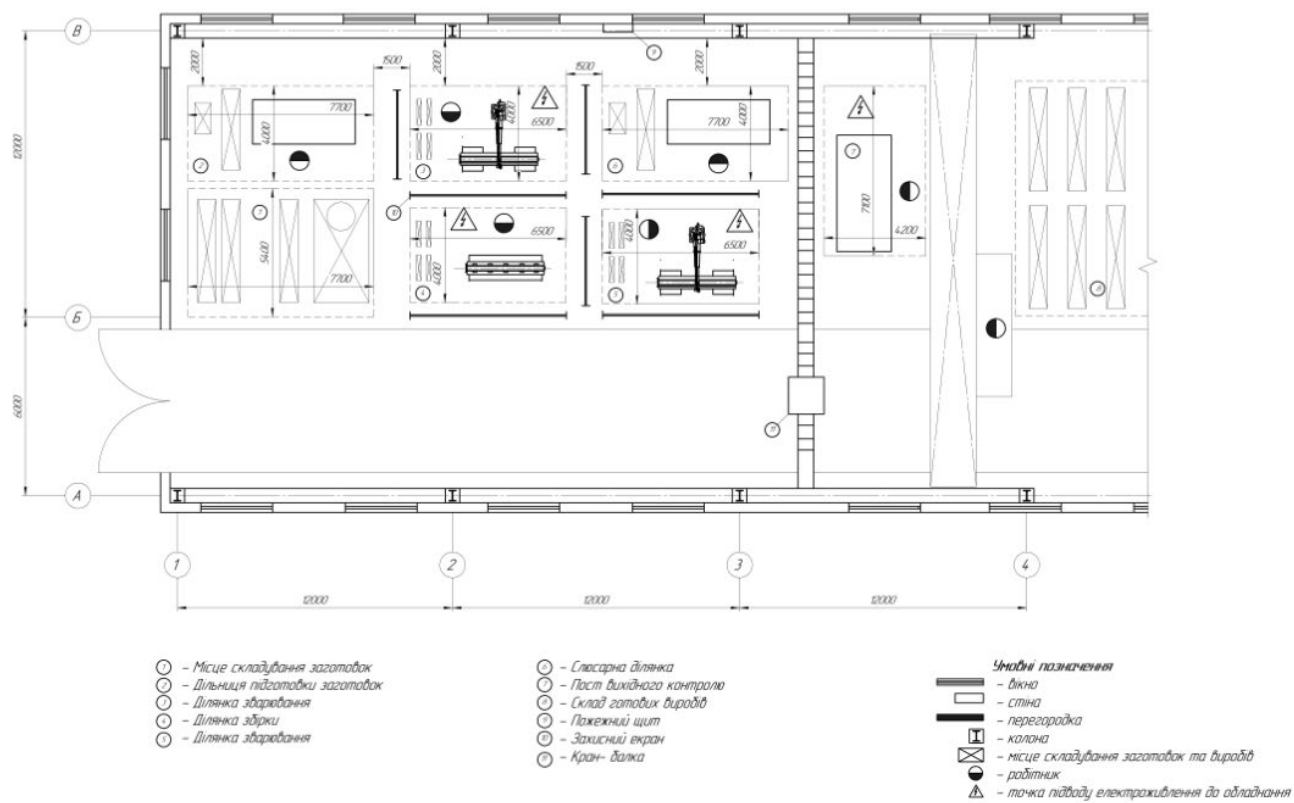


Рисунок 20. План комплексної складально-зварювальної дільниці

ВИСНОВКИ

Запропонований дипломний проєкт з розроблення технології складання зварювання зварної цистерни зі сталі 09Г2С спрямований на оптимізацію виробничих операцій, але й має потенціал зниження витрат та підвищення конкурентоспроможності підприємства.

Основні переваги впровадження спроектованого обладнання включають:

- 1. Зменшення трудомісткості та скорочення часу виготовлення:** Використання передового зварювального обладнання спрощує процес збирання та зварювання цистерн, що значно зменшує час виготовлення і трудомісткість.
- 2. Підвищення якості продукції:** Нове обладнання забезпечує високу якість зварних з'єднань і загальної якості цистерн завдяки кращому контролю за процесом виробництва і точнішому виконанню.
- 3. Ефективне використання ресурсів:** Вдосконалені технологічні процеси дозволяють економити матеріальні ресурси та енергію, що призводить до значного зниження витрат на виробництво і підвищення загальної ефективності виробництва.
- 4. Можливість подальшого вдосконалення:** Після впровадження обладнання в експлуатації будуть зібрані дані щодо його роботи, що дозволить вдосконалювати технологічні процеси для досягнення ще кращих результатів.

Отже, впровадження спроектованого складально-зварювального обладнання є стратегічним кроком, який сприятиме покращенню виробничих процесів, забезпечить високу якість продукції та знизить витрати виробництва, що відповідає сучасним вимогам та потребам підприємства.

6 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

6.1 Стартап як форма підприємництва

Стартапи, або молоді венчурні проєкти, на сьогоднішній день є важливим елементом економіки, що сприяють інноваціям та розвитку. За останнє десятиліття їх популярність зросла завдяки зниженню бар'єрів для виходу на ринок. Цей фактор значно полегшує знаходження інвесторів, пошук ресурсів та експансію на міжнародні ринки.

Стартапи відзначаються гнучкістю та здатністю швидко адаптуватися до змін, що робить їх особливо привабливими для інвесторів, які шукають високі ризики для досягнення значних фінансових віддач. Проте, стартапи також відзначаються високим рівнем ризику, і лише дуже невелика частка з них насправді досягає успіху на ринку.

Для підвищення ймовірності успіху стартап-проєкту важливо правильно спланувати його розвиток з самого початку. Наприклад, маркетинговий аналіз є ключовим компонентом успішного запуску проєкту, оскільки він дозволяє ретельно проаналізувати ідею продукту чи послуги, ринкові можливості та стратегії виходу на ринок. Ці аналізи створюють основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень і забезпечують успішне впровадження проєкту на ринку.

Загалом, стартапи є потужним інструментом для створення інноваційних рішень та розвитку нових ринків. Їхній вплив на економіку і суспільство в цілому набуває все більшого значення в умовах постійних технологічних змін та вимог ринкової конкуренції.

В рамках дипломного проєкту буде виконано перший етап проєктування – маркетинговий аналіз стартап-проєкту, який включатиме:

- Розробку опису ідеї проєкту та визначення напрямків використання потенційного продукту чи послуги.
- Аналіз ринкових можливостей для реалізації проєкту.

- Розробку стратегії виходу на ринок на основі аналізу ринкового середовища.

6.2 Маркетинговий аналіз стартап-проєкту з виготовлення зварної цистерни для зберігання та транспортування рідин.

6.2.1 Опис ідеї проєкту

Метою стартап-проєкту є розробка і впровадження технології виробництва зварної цистерни. Даний виріб може використовуватись в різних галузях промисловості, включаючи енергетичну та транспортну галузь (для зберігання та транспортування рідин, в тому числі пально-мастильних матеріалів); в хімічній та харчовій промисловості для зберігання та/або транспортування води, лужних розчинів, а також органічних сполук.

Розроблена технологія складання-зварювання має забезпечувати необхідний рівень якості виробу, гарантувати безпечну експлуатацію в період встановленого строку користування, зберігаючи при цьому мінімальний рівень собівартості.

Деталізований опис ідеї стартап-проєкту з виготовлення зварної цистерни наведемо у вигляді таблиці 15.

Таблиця 15. Опис ідеї стартап-проєкту виготовлення зварної цистерни для зберігання та транспортування рідин

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Впровадження розробленої технології виробництва зварної цистерни, яка забезпечить необхідний рівень якості при мінімальній собівартості.	1. Транспортна галузь	Безпека, герметичність, ефективність
	2. Нафтохімія	Надійність, збереження вмісту, довготривала експлуатація

Отже, згідно таблиці 15, попередньо, можна зробити висновок, що потенційними ринками збуту продукції будуть компанії нафто-хімічного комплексу (в тому числі нафтобази) а також транспортні компанії (в тому числі Укрзалізниця) та логістичні підприємства ЗСУ.

6.2.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг

Для оцінки конкурентоспроможності, проведемо аналіз переваг, виходячи з таких техніко-економічних характеристик:

- Вартість обслуговування та експлуатації обладнання:** загальні витрати на підтримку виробничого обладнання протягом його життєвого циклу:
 - Первісні витрати на придбання обладнання;
 - Витрати на регулярне технічне обслуговування та ремонт;
 - Адміністративні витрати (страхування, сертифікація);
 - Витрати на апгрейд та модернізацію.
- Обсяг виробництва:** кількість зварних виробів (зварних цистерн), яку може виготовити підприємство за певний період часу,
- Довговічність:** здатність зварного шва витримувати механічні навантаження та корозію протягом тривалого періоду.

4. **Трудомісткість виготовлення:** загальний час і праця, необхідні для виготовлення зварного виробу, виміряна в людино-годинах або нормо-годинах.
5. **Забезпечення герметичності конструкції:** здатність зварних швів та з'єднань бути непроникними для рідин, газів і інших речовин.
6. **Енергоефективність:** ефективне використання енергії в процесах зварювання, що особливо важливо для зменшення витрат енергоресурсів.
7. **Екологічність:** мінімізація негативного впливу на навколишнє середовище під час виробничих процесів:

- зокрема оптимізація робочих процесів (більш високий рівень автоматизації та роботизації, що забезпечить більш точний контроль процесу та кількість дефектів та відходів виробництва);

- підвищення ефективності (оптимізація виробничих процесів для зменшення споживання ресурсів);

- переробка та утилізація відходів (створення систем для збору, переробки та утилізації відходів зварювання, таких як залишки металу, зварювальні шлаки та використані флюси);

- Контроль викидів (впровадження високоефективних систем фільтрації, а також зменшення кількості шкідливих викидів) для збереження здоров'я робітників та довкілля.

Для визначення кола потенційних конкурентів, які займаються виготовленням подібних зварних конструкцій, важливо орієнтуватися на ці ключові характеристики.

Barrel Dash - українське підприємство, з виготовлення цистерн різного призначення. Лінійку продукції заводу представлено напівпричепами-цистернами - бензовозами, бітумовозами, масловозами, аміаковозами, а також паливними резервуарами та газовим обладнанням.

Everlast - виробник автоцистерн, напівприцепів, прицепів, а також надбудови на автошасі, для транспортування газів, темних та світлих нафтопродуктів, хімічних речовин, харчової продукції.

"ALI RIZA USTA" ("Али Риза Уста"). – провідна турецька компанія, що спеціалізується на виробництві автомобільних цистерн та металоконструкцій. Компанія має значний досвід і репутацію в інноваційному виробництві сталі, задовольняючи потреби різних галузей промисловості по всьому світу.

Переваги/недоліки ідеї проєкту в порівнянні з конкурентами представимо у вигляді таблиці 16.

Таблиця 16. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

№ n/n	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			
		Мій Проєкт	Barrel Dash	Everlast	ALI RIZA USTA
1.	Вартість обслуговування та експлуатації обладнання	N	S	S	W
2.	Обсяг виробництва	W	N	S	S

Продовження таблиці 16

3.	Довговічність	S	N	N	N
4.	Трудомісткість виготовлення	S	W	W	W
5.	Забезпечення герметичності конструкції	S	S	S	S
6.	Енергоефективність	S	N	N	S
7.	Екологічність	N	N	N	N

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

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

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

Аналізуючи дані з таблиці 16, можна зробити висновок, що запропонована ідея показує потенціал конкурентоспроможності на ринку виробництва зварних конструкцій. Ідея відзначається перевагами у таких аспектах, як довговічність, трудомісткість виготовлення та енергоефективність.

Варто відзначити, що обсяг виробництва на даний момент є невеликим. Однак цю проблему можна вирішити шляхом інвестицій у розширення виробничих потужностей та модернізацію обладнання. У загальному, проєкт, що пропонується до розгляду, має потенціал успішної реалізації на ринку виробництва металоконструкцій.

6.2.3 Технологічний аудит ідеї проєкту

Проведемо технологічний аудит ідеї проєкту для встановлення наявності та доступності технологій, необхідних для виробництва.

Таблиця 17. Технологічна здійсненність ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Виробництво зварної цистерни	135 спосіб зварювання (за ISO 4063).	Наявна	Доступна
	Використання механізованого оснащення для кантування конструкції.	Наявна	Доступна
	Ультразвукова перевірка якості виконання шва	Наявна	Доступна
	Випробування готового виробу на надлишковий тиск	Наявна	Доступна
	Технології заготівельного етапу	Наявна	Доступна
	Фарбування металевих поверхонь	Наявна	Доступна

На підставі даних, представлених у таблиці 17, можна зробити висновок про те, що реалізація стартап-проєкту є можливою з використанням наявних технологій.

Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

- **Прогнозується динамічне зростання ринку**, обумовлене наступними факторами:

- **Ремонт та відновлення інфраструктури:** Внаслідок військових дій значна частина інфраструктури, включаючи транспортні маршрути та об'єкти транспортної і ресурсозберігаючої інфраструктури, була пошкоджена чи зруйнована. Це створює підвищену потребу у сталевих цистернах для тимчасового зберігання та транспортування палива та рідин, які є необхідними для функціонування, відновлення та зростання економіки.

- **Підвищене замовлення на ремонт та будівництво:** В умовах релокації, розгалуження, модернізації та перепрофілювання виробництв, нафто-хімічної, харчової та оборонної промисловості зростає попит на сталеві конструкції (зокрема цистерни різного призначення) для швидкого відновлення та розширення виробничих потужностей.

- **Забезпечення безпеки та стійкості:** У зоні конфлікту важливо мати надійні засоби транспортної комунікації для забезпечення підвищеного попиту на паливо-мастильні матеріали, нафтохімію, хімію, питну воду, тощо, що можуть використовуватися для військових, господарських та гуманітарних потреб.

- **Повоєнна відбудова** викличе збільшення інвестицій в транспортну, будівельну та промислову інфраструктуру, обумовить зростання потреби в цистернах різного призначення.

Водночас, слід зазначити про наявність низки обмежень для входу на ринок:

- Військові дії, терористичні атаки на громадську інфраструктуру, а також політична та економічна нестабільність в Україні. Ці фактори може негативно впливати на інвестиційну привабливість ринку та ускладнювати ведення бізнесу.

- Високі капіталовкладення. Для успішного входу на ринок необхідні значні інвестиції для закупівлі обладнання, наймання кваліфікованого персоналу та розробку маркетингової стратегії.

Важливо ретельно оцінити ці фактори перед входом на ринок, попередню характеристику сегменту ринку наведемо у вигляді таблиці 18.

Таблиця 18. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	50000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає, в зв'язку з постійною необхідністю компенсувати
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Інвестиції в закупівлю обладнання, пошук кваліфікованого персоналу та розробка маркетингової
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Сертифікація згідно ДСТУ/ISO на кожний вид робіт.
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15,5%

Цільовою аудиторією є транспортні (в тому числі залізничні) та нафто-хімічні компанії (в тому числі нафтобази), які займаються виготовленням, транспортуванням та зберіганням рідин різного призначення, в тому числі нафтопродуктів, а також компанії ВПК.

Потреби, котрі формують ринок; вимоги споживачів до товару; ринкову поведінку потенційних клієнтів деталізовано в таблиці 19.

Таблиця 19. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Виробництво та зберігання нафтопродуктів	Компанії нафто-переробного комплексу, нафтобази, сховища нафтопродуктів	Своєчасність та повнота постачання, відповідність державним стандартам та нормам, сертифікація виробів, дотримання гарантійних зобов'язань	Безпека, довговічність
2	Транспортування рідин різного призначення	Транспортні компанії, в тому числі залізничні, логістичні підрозділи міністерства оборони.	Своєчасність та повнота постачання, відповідність державним стандартам та нормам, сертифікація виробів, дотримання гарантійних зобов'язань	Своєчасність, та безперебійність постачань, надійність.

Для ефективної розробки маркетингової стратегії та надання споживачам якісного продукту разом із комплексним сервісним обслуговуванням важливо чітко розуміти потреби та вимоги цільової аудиторії. Складання таблиць, які відображають фактори, що сприяють та перешкоджають ринковому впровадженню проєкту, допомагає: зрозуміти ринкову ситуацію; приймати обґрунтовані рішення; розробляти ефективні стратегії; підвищувати шанси на успіх; ефективно управляти ресурсами; демонструвати обґрунтованість проєкту та збільшувати довіру інвесторів. Фактори можливостей наведено у формі Таблиці 20.

Таблиця 20. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростаючий попит, пов'язаний з релокацією, модернізацією виробництв та компенсацією втрат критично важливих галузей промисловості	Постійне збільшення попиту на зварні металоконструкції	Розширення виробництва, інвестування у нові технології та збільшення обсягів випуску продукції
2	Державні і недержавні програми, спрямовані на підтримку економічної активності.	Державні субсидії та гранти: (можуть бути використані на фінансування таких витрат, як дослідження та розробки (R&D), розробка чи модернізація програмного забезпечення, тестування та маркетинг, оренда приміщень та заробітна плата) податкові пільги (Малі та середні підприємства (МСП) можуть скористатися перевагами єдиного податку на доходи фізичних осіб (ЄПД), який передбачає спрощену систему оподаткування з нижчими ставками. Розмір податкових ставок ЄПД залежить від річного обсягу доходу та обраної групи платника. Для стартапів, що займаються виробництвом зварних конструкцій, реєстрація як платника ЄПД 3 групи може бути вигідною, оскільки ставка податку становить лише 2% від доходу.) доступ до фінансування (міжнародні кредитні програми для підприємств з України: Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР): надає фінансування та технічну підтримку малим і середнім підприємствам у різних галузях, включаючи виробництво зварювальних конструкцій. ЄБРР також надає гранти для технічного обслуговування, консалтингових послуг та навчання. Міжнародна фінансова корпорація (IFC): IFC є частиною Світового банку і надає кредити та інвестиції для підтримки приватного сектору в Україні. Вони підтримують проекти в різних галузях, включаючи виробництво. Програма COSME (Competitiveness of Enterprises and Small and Medium-sized Enterprises): COSME є програмою Європейського Союзу, яка спрямована на підвищення конкурентоспроможності малих і середніх підприємств. Програма пропонує фінансові інструменти для полегшення доступу до кредитів. Проект "EU4Business": Ця ініціатива ЄС спрямована на підтримку малого та середнього бізнесу в країнах Східного партнерства. Вона надає фінансування, консультації та навчання для підприємств. Програма USAID: USAID надає підтримку українському бізнесу через різні проекти, зокрема через кредитні гарантії та технічну допомогу. Глобальний фонд підприємництва (GEF): GEF надає фінансову підтримку для розвитку малого і середнього бізнесу в різних країнах, включаючи Україну. Фонд підтримує інноваційні проекти та стартапи в галузі виробництва.)	Зменшення загальних витрат підприємства Компанія може скористатися пільговими умовами для зниження витрат на виробництво та збільшення інвестицій у розвиток

Продовження таблиці 20

3	Іноваційні технології	Вихід на ринок новітніх технологій, котрі можуть покращити техніко-економічні характеристики виробництва	Впровадження нових технологій
4	Автоматизація/Роботизація виробництва	Впровадження у виробництво комплексів з високим рівнем автоматизації виробництва	Впровадження роботизації певних технологічних процесів

Фактори загроз представимо у вигляді таблиці 21.

Таблиця 21. Фактори загроз

№ n/n	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Зниження попиту	Економічного спад, спричинений військовими діями та втратою промислових потужностей	Розширення асортименту виробництва зварних металевих конструкцій
2	Зростання конкуренції	Вихід на ринок нового сильного конкуренти, покращення характеристик у старих	Покращення якості виробництва. Перехід на виробництво інших металевих конструкцій
3	Економічна нестабільність	Коливання валютного ринку, інфляція	Підвищення цін на продукцію, Створення запасів витратних матеріалів та запасних частин.
4	Технологічні збої	Відмова обладнання або проблеми з програмним забезпеченням	Регулярне технічне обслуговування, резервне обладнання, страхування
5	Руйнування виробничих потужностей	Внаслідок бойових дій можливі руйнування виробничих потужностей, складів, офісів та інших об'єктів підприємства.	Дисперсія виробничих потужностей, збільшення об'єму матеріальних запасів
6	Перебої логістики	Воєнні дії можуть призвести до перебоїв з постачанням сировини, комплектуючих та інших необхідних для виробництва матеріалів.	Збільшення вартості продукції, створення розгалуженої мережі постачальників
7	Втрата кваліфікованих кадрів	Втрата кваліфікованих кадрів пов'язана з загибеллю, травмуванням, мобілізацією та виїздом спеціалістів за кордон	Бронювання спеціалістів, моніторинг та робота з ринком праці Тимчасова релокація виробництва
8	Енергетична криза	Гальмування темпу виробництва, більші витрати на енергоресурси,	Встановлення генераторів резервного живлення, збільшення вартості продукції, інвестиції в альтернативні джерела генерації

Загалом, складання таблиць факторів, що сприяють та перешкоджають ринковому впровадженню проєкту, є цінним інструментом для прийняття обґрунтованих рішень, підвищення шансів на успіх проєкту та покращення його результативності.

SWOT-аналіз є ключовим інструментом для стратегічного планування, що дозволяє систематично оцінити сильні та слабкі сторони проєкту, а також ідентифікувати можливості та загрози на ринку. Цей аналіз допомагає виявити внутрішні переваги, такі як передові технології виробництва чи досвідчена команда проєкту, а також потенційні обмеження, наприклад, високі витрати на виробництво чи обмежену масштабність продукції. Зовнішні чинники, такі як зростаючий попит на продукцію чи конкуренція на ринку, також враховуються для визначення стратегічних напрямків розвитку проєкту.

Цей аналіз включає чотири ключові складові:

1. **Сильні сторони (Strengths):** Це внутрішні аспекти проєкту, які надають йому конкурентні переваги. Наприклад, це може бути передова технологія виробництва, досвідчена команда проєкту або добре розроблена дистрибуційна мережа.
2. **Слабкі сторони (Weaknesses):** Це внутрішні обмеження чи проблеми проєкту, які можуть стати перешкодою на шляху до успіху. Наприклад, це можуть бути високі витрати на виробництво, недостатня масштабність виробництва чи обмежені ресурси для маркетингу.
3. **Можливості (Opportunities):** Це зовнішні фактори або умови на ринку, які можуть бути використані для досягнення успіху проєкту. Наприклад, можливості можуть включати зростаючий попит на сталеві конструкції, сприятливі умови на ринку або демографічні зміни.
4. **Загрози (Threats):** Це зовнішні фактори, які можуть ускладнити чи загрожувати успіху проєкту. Наприклад, це можуть бути конкуренція на ринку, зміни в законодавстві або економічні нестабільності.

Проведення SWOT-аналізу є фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проєкту. На його основі визначаються альтернативи

ринкової поведінки та орієнтовний оптимальний час їх реалізації з урахуванням потенційних проєктів конкурентів.

Представимо SWOT аналіз проєкту з виробництва зварних цистерн у вигляді таблиці 22.

Таблиця 22. SWOT-аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: 1. Довговічність 2. Трудомісткість виготовлення 3. Енергоефективність	Слабкі сторони: 1. Початкові витрати на закупівлю і встановлення необхідного спорядження 2. Невеликі обсяги виробництва
Можливості: 1. Стабільно зростаючий попит на металоконструкції 2. Державні програми, спрямовані на підтримку та модернізацію громадської та військової інфраструктури. 3. Іноваційні технології 4. Роботизація	Загрози: 1. Зниження попиту 2. Зростання конкуренції 3. Економічна нестабільність 4. Технологічні збої 5. Руйнування виробничих потужностей 6. Перебої логістики 7. Втрата кваліфікованих кадрів 8. Блекаут

У зв'язку з обмеженою кількістю конкурентів та помірним рівнем їх конкурентоспроможності, варто активно використовувати ринкову стратегію, яка базується на постійному аналізі ринкового середовища, конкурентів та потреб клієнтів. Основна мета такої стратегії полягає в максимальному використанні усіх наявних ринкових можливостей та здобутті стійкої конкурентної переваги.

Ключові характеристики активної ринкової стратегії включають:

- **Швидка адаптація:** оперативна реакція на зміни в ринковій кон'юктурі з внесенням відповідних корективів до продуктової політики, ціноутворення та каналів збуту.
- **Інноваційність:** пошук нових продуктів, послуг, технологій та бізнес-моделей для випередження конкурентів.
- **Агресивність:** активна боротьба за частку ринку через різноманітні маркетингові інструменти та конкурентні стратегії.

Для успішної реалізації активної ринкової стратегії важливо:

Для успішної реалізації активної ринкової стратегії важливо:

- **Глибоке розуміння цільової аудиторії:** необхідно чітко визначити потреби, вимоги та поведінку цільової групи споживачів для адаптації стратегії до їхніх потреб.
- **Проводити постійний моніторинг ринкових тенденцій:** активна стратегія передбачає оперативну реакцію на зміни у конкурентному середовищі, технологіях та вимогах споживачів.
- **Інновації та технологічний прогрес:** постійний пошук нових продуктів, послуг або підходів, які можуть стати новими джерелами конкурентних переваг.
- **Ефективний маркетинг та комунікації:** активна комунікація з ринком через різноманітні маркетингові канали і інструменти для просування бренду та залучення клієнтів.
- **Гнучкість та готовність до змін:** здатність швидко адаптувати стратегію до нових умов ринку або вимог споживачів, що дозволяє підтримувати конкурентоспроможність в довгостроковій перспективі.
- **Інвестувати в дослідження та розробки:** постійне удосконалення продуктів та послуг для підтримки конкурентоспроможності.

• **Мати значні інвестиційні ресурси** для впровадження стратегії і підтримки її ефективності.

Активна ринкова стратегія може забезпечити успіх компанії на конкурентному ринку, але варто усвідомлювати й ризики, пов'язані з таким підходом. Для досягнення максимального результату необхідно мати достатній обсяг ресурсів та ініціатив для ефективної реалізації стратегії.

Таблиця 23. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

<i>№ п/п</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Маркетинговий аналіз стартап-проєкту	Середня	2-3 місяці
2	Пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції компанії	Висока	4-6 місяці
3	Організація стартап- проєкту	Середня	2-3 місяці
4	Проведення рекламної кампанії	Середня	1 місяць
5	Реалізація продукції	Висока	3 місяці
6	Проведення опитування і отримання відгуків	Низька	1 місяць
7	Аналіз отриманих даних	Висока	1 тиждень
8	Адаптація проєкту під	Висока	1-2 місяці

Висновки

Для успішного ринкового впровадження зварювальних виробів (в даному випадку зварних цистерн) важливо систематично аналізувати як внутрішні, так і зовнішні фактори. Застосування активної ринкової стратегії дозволяє оперативно реагувати на зміни, інтегрувати інновації та ефективно використовувати ринкові можливості. Це сприяє створенню стійкої конкурентної переваги та забезпечує довгостроковий успіх на ринку зварних цистерн.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Електродугове зварювання, а також споріднені з ним технології, зберігають свою актуальність як ключові процеси у машинобудівній промисловості. Однак, ці технологічні операції супроводжуються наявністю шкідливих та небезпечних виробничих чинників, які можуть індукувати типові професійні захворювання серед персоналу, залученого до зварювальних робіт [11].

Незважаючи на постійні удосконалення методик дугового зварювання та матеріалів, що використовуються, існують значні гігієнічні проблеми в зварювальному виробництві, які ще не були повністю вирішені. Це призводить до того, що умови праці електрозварників залишаються незадовільними, негативно впливаючи на їх здоров'я та працездатність. Комплексний характер дії шкідливих та небезпечних виробничих чинників на здоров'я зварників, а також висока вимогливість та інтенсивність праці, обумовлюють необхідність запровадження різноманітних заходів для поліпшення їхнього стану здоров'я.

При виконанні зварювальних робіт у середовищі вуглекислого газу та суміші газів $Ar+CO_2$, працівники можуть зазнавати впливу шкідливих та небезпечних виробничих чинників. До шкідливих чинників належать: висока запиленість та загазованість робочої зони, ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне випромінювання зварювальної дуги, а також шум. Небезпечні виробничі чинники включають: дію електричного струму, іскри та бризки, викиди розплавленого металу, а також рухомі механізми та системи, що знаходяться під тиском.

Безпека зварювальних робіт безпосередньо залежить від рівня професійної майстерності, знань та навичок зварника у виконанні своїх обов'язків

7.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Властивості елементів виробничого середовища та виробничих факторів, що впливають на персонал, формують умови праці, які згідно з гігієнічними критеріями підрозділяються на чотири класи [11, 14]:

- оптимальні;
- припустимі;
- шкідливі;
- небезпечні.

Відповідно до стандартів ДСТУ 2456-94 та ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007, при основних способах дугового зварювання працівник-зварювальник підпадає під вплив шкідливих та небезпечних хімічних та фізичних чинників виробничого середовища, а також психофізіологічних факторів, пов'язаних з організацією праці, облаштуванням робочого простору та обладнання.

У цьому дипломному проєкті, враховуючи специфіку робіт, а також можливість виконання ремонтного зварювання, було обрано автоматизоване та ручне механізоване зварювання плавким електродом у середовищі активних газів

Шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що виникають при цих способах зварювання, включають:

1. Виділення шкідливих речовин;
2. Ультрафіолетове випромінювання;
3. Видиме випромінювання;
4. Інфрачервоне випромінювання;
5. Шум при зварюванні;
6. Ураження електричним струмом;
7. Наявність іскор, бризок та викидів розплавленого металу, що утворюються в процесі зварювання;

8. Наявність приладів та обладнання, що знаходяться під тиском понад 0,07 МПа;

9. Робота на висоті

Ці фактори вимагають врахування та застосування відповідних заходів для забезпечення безпеки працівників та допоміжного персоналу.

Шкідливі речовини, що утворюються під час горіння дуги та плавлення основного металу, а також електродного дроту, формують дрібний аерозоль, який є надзвичайно небезпечним.

Такий аерозоль практично не осідає з повітря і легко проникає до людських легень. Більшість частинок у зварювальному аерозолі (ЗА) мають розмір менше 1 мкм, що робить його особливо шкідливим.

Відомо, що хімічний склад і рівень виділення ЗА при зварюванні в захисних газах залежать від складу зварювального дроту, захисного газу та режимів зварювання []. При ручному дуговому зварюванні покритими електродами, склад покриття електроду та режими зварювання також впливають на ці параметри.

Електричний струм являє собою особливу небезпеку при дуговому зварюванні, оскільки використовуються дуже великі значення сили струму. Замикання струму на тіло людини може призвести до смертельних наслідків.

Іскри, бризки та викиди розплавленого металу особливо характерні для ручного дугового та механізованого зварювання. Це пов'язано з особливостями переносу металу від електрода до зварювальної ванни та значною енергією дугового проміжку.

Наявність приладів та обладнання, що перебувають під тиском понад 0,07МПа, може створювати додаткову небезпеку вибуху.

7.2 Вимоги безпеки при зварюванні в захисному газі Ar+CO₂.

7.2.1 Вимоги до технологічних процесів

Вимоги до безпеки праці в технологічних процесах зварювання регламентуються стандартами ДСТУ 3273-95, ДСТУ 2156-93, ДБН А.3.2-2:2009, та ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007.

При виборі технології зварювання пріоритет надається процесам, які забезпечують високий рівень безпеки праці. Рекомендується використовувати зварювальні матеріали (електроди, дріт, флюси, захисні гази тощо), які мінімізують викиди шкідливих речовин у повітря під час зварювання. Забороняється використання зварювальних матеріалів, які не пройшли гігієнічну оцінку відповідно до встановлених процедур.

Розробляючи технологічні процеси зварювання, слід максимально механізувати та автоматизувати процеси зварювання та його складові елементи. Допустимі показники важкості та напруженості праці зварників не повинні перевищувати 2-й клас згідно з нормативами "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу" № 472/25249.

Зварювальне обладнання, що використовується в технологічних процесах зварювання, повинно відповідати загальним вимогам нормативних документів, таких як "Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками" № 97/31549, ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів" та ДНАОП 0.00-1.32-01 "Правила будови електроустановок".

Вентиляційні системи повинні забезпечувати видалення повітря під час дугового зварювання з урахуванням таких параметрів:

- при дуговому зварюванні в середовищі CO₂ – не менше 50 м³/год;
- при дуговому зварюванні в інертних газах та сумішах газів, а також при автоматизованому зварюванні в активних газах – не менше 150 м³/год.

Експлуатація балонів, контейнерів зі стиснутим і скрапленим газом, рамп повинна здійснюватися згідно з нормами ДНАОП 0.00-1.07-94 "Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском". Балони зі стиснутими газами повинні розташовуватися на відстані не менше 5 м від зварювального пальника і 1 м від опалювальних приладів. Якщо на опалювальних приладах встановлено екрани для захисту балонів від нагрівання, відстань від балона до екрана має бути не меншою за 0,1 м.

7.2.2 Вимоги до виробничих приміщень

Вимоги до виробничих приміщень повинні відповідати нормам технологічного проектування, будівельним нормам та відповідним регуляторним документам, зокрема ДНАОП 0.03-3.01-71, ДБН А.3.2-2:2009, ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007.

Підлоги виробничих приміщень повинні бути виготовлені з негорючих матеріалів з низькою теплопровідністю. Вони мають мати рівну та нековзку поверхню, що відповідає санітарно-гігієнічним вимогам, згідно з НПАОП 45.2-4.01-98

Виробничі приміщення повинні бути обладнані загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 та ДБН В.2.5-56:2014. Відведення витягнутого повітря в атмосферу повинно включати фільтрацію (очищення) від шкідливих речовин до допустимих концентрацій, згідно з вимогами зазначених нормативних документів та Наказу Міністерства екології від 30.07.2001 № 286 «Про затвердження Порядку визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі».

Освітлення цехів, ділянок та робочих місць, де виконуються роботи з дугового зварювання, повинно відповідати вимогам, визначеним у ДБН В.2.5-28-2006.

7.2.3 Вимоги до організації робочих місць

Організація робочих місць для зварювання повинна відповідати нормам ДБН А.3.2-2-2009. Для проведення зварювальних робіт відкритою дугою на виробках малих і середніх розмірів у стаціонарних умовах рекомендується використовувати спеціально обладнані кабінки. Ці кабінки повинні мати відкритий верх і забезпечувати зазор між стінками kabіни та підлогою не менше 50 мм (для зварювання в середовищі захисних газів - не менше 300 мм). Мінімальна площа kabіни для одного зварювального посту повинна становити не менше 3 м².

Стаціонарні робочі місця, пости та стенди для зварювальних методів, які супроводжуються виділенням аерозолів і газів, повинні бути обладнані місцевою витяжною вентиляцією та відповідати нормам гранично допустимих концентрацій (ГДК).

Вентиляційні системи, згідно з ДСТУ 2456-94, мають забезпечувати ефективну місцеву вентиляцію. Оскільки рівень шуму та вібрації є помірним, додаткові заходи захисту не є необхідними.

7.2.4 Захист від випромінювання

Для захисту робітників від випромінювання рекомендується використовувати захисний одяг з брезенту з накладками з фенілону, який має високу стійкість до ультрафіолетового випромінювання відповідно до стандарту ДСТУ EN 340-2001. Робоча ділянка повинна бути огорожена ширмою з пофарбованими титановими білилами стінками висотою 2 м. Для зварювання при силі струму до 300 А необхідно використовувати світлофільтр С-8.

7.2.5 Захист від іскр, бризок і викидів розплавленого металу

Під час зварювання відкритою дугою для захисту очей та обличчя зварника від випромінювання дуги, бризок розплавленого металу та іскор слід

використовувати щитки, які відповідають ДСТУ 7239:2011, ДСТУ EN 169-2001, ДСТУ EN 175-1997, ДСТУ EN 379-2003. Для захисту рук необхідно використовувати рукавиці згідно з ДСТУ 7239:2011, ДСТУ EN 420-2001.

7.2.6 Захист від систем, що знаходяться під тиском

Для забезпечення безпеки при роботі з системами, що знаходяться під тиском, необхідно розміщувати балони зі стиснутими газами на безпечній відстані від зварювального пальника (не менше 5 м) та від опалювальних приладів (не менше 1 м). Якщо на опалювальних приладах є екрани для захисту балонів від нагрівання, відстань між балоном та екраном повинна бути не менше 0,1 м.

7.2.7 Захисні засоби електробезпеки при нормальному режимі роботи установки

1. **Ізоляція струмоведучих елементів** – повинна бути подвійною (ДСТУ Б В.2.5-82:2016, ДСТУ 7237:2011), оскільки струмоведучі елементи знаходяться в зоні досяжності людини. Для перевірки стану ізоляції під час поточних ремонтів необхідно проводити випробування підвищеною напругою та вимірювання електричного опору.

Норми і строки контролю:

- при капітальному ремонті - не пізніше ніж через 12 років після введення в експлуатацію;
- при поточних ремонтах – не рідше 1 разу на 2 роки;
- при міжремонтних роботах – за системою планово-попереджувальних ремонтів.

2. **Блокування.** Вид блокування – електричне. Використовується дистанційне керування установкою в комбінації із майданчиком безпеки, що дозволяє:

- ізолювати робітника за рахунок покриття майданчика;

- знімати напругу зі струмоведучих елементів, якщо електричні контакти майданчика замкнені.

3. Позначення. Кольори шин:

- Фаза А – жовтий (найвіддаленіша);
- Фаза В – зелений (середня);
- Фаза С – червоний (найближча);
- Нульова – блакитний;
- Позитивна (+) – червона, найближча;
- Негативна (–) – синя, середня;

Установку також оснащено захисним зануленням. Схему занулення наведено на рисунку 20.

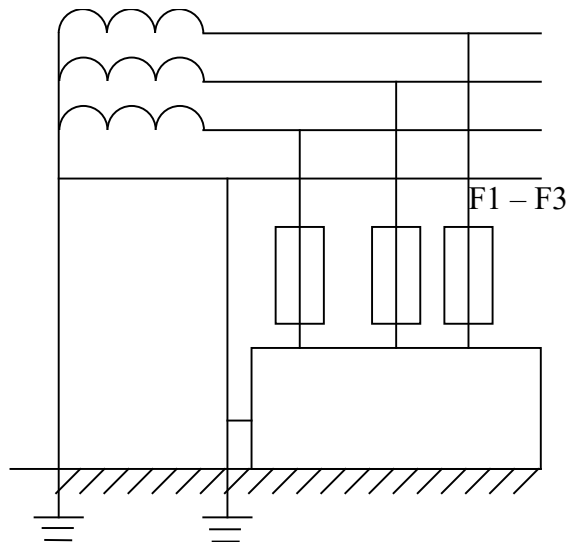


Рисунок 20. Схема захисного занулення [11]

Для аварійного відключення установки застосовуються автоматичні вимикачі типу АБ-55 (позначені як F1 – F3 на рис. 6.3 та QF1 на електричній схемі). Ці вимикачі автоматично відключають живлення установки у разі перевищення струму в колах живлення понад 1,6 від номінального значення.

Зварювальні кабелі та кабелі живлення прокладаються під підлогою, для зручності огляду передбачені металеві люки.

7.2.8 Вимоги до навчання персоналу

Навчання персоналу безпечним методам роботи повинно проводитися відповідно до ДБН А.3.2-2-2009 та ДНАОП 0.00-121-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів".

Основні вимоги включають:

- **Початкове навчання:** Нові робітники повинні навчатися безпечним методам та прийомам праці під керівництвом висококваліфікованого спеціаліста, бригадира або іншого компетентного фахівця.
- **Допуск до самостійної роботи:** Дозвіл на самостійну роботу повинен бути задокументований із зазначенням дати та підпису інструктора в журналі реєстрації інструктажу на робочому місці.
- **Повторний інструктаж:** Повторний інструктаж з безпеки проводиться не рідше одного разу на 6 місяців, незалежно від кваліфікації, освіти та стажу роботи.

Вимоги до зварювальних кабелів

Зварювальні кабелі та кабелі живлення розміщуються під підлогою для захисту та зручного огляду. Металеві люки дозволяють здійснювати регулярні перевірки стану кабелів та забезпечують безпечний доступ до них.

Ці заходи спрямовані на забезпечення високого рівня безпеки праці, запобігання аварійним ситуаціям та мінімізацію ризиків для персоналу, що працює з електрозварювальним обладнанням.

7.2.10 Вимоги до вентиляції

Таблиця 23. Аналіз шкідливих речовин, які виділяються зварюванні плавким електродом в суміші газів Ar+CO₂ [11, 14]

Речовина	Питомі виділення компонентів ЗА, які визначають токсичність, г/кг	ГДК мг/м ³	Клас небезпеки	Характер дії	Повітрообмін вентиляції, м3/год
Зварювальний аерозоль	До 12,2	10		-	До150
Оксид марганцю	0.05	0,2	2	-	
Оксид заліза	0.07	6	2	фіброгенний	
Діоксид кремнію	0.02	1	2	фіброгенний	
СО	14	20	3	Подразнюючий	
NO		5	3	Подразнюючий	
NO ₂	0.5	2	3	Подразню-ючий	
озон		0,1	1	Подразню-ючий	

Згідно зі стандартом ДСТУ 2456-94, місцева вентиляція має застосовуватись під час дугового зварювання з використанням покритих електродів, автоматичного та напівавтоматичного зварювання в захисних газах з плавким і неплавким електродом, порошкового дроту, під флюсом, а також при електрошлакових технологіях.

Вибір конструкції місцевого витяжного пристрою, обсягу повітря, яке відсмоктується, методу очищення повітря та оптимальної вартості обладнання залежить від способу зварювання, типу та марки зварювальних матеріалів, форми зварюваного виробу, обсягу приміщення, кількості зварювальних постів та інших факторів.

Розрахунок обсягу повітря, який необхідно видалити за допомогою місцевої вентиляції L_m , найкраще здійснювати, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, характеристик спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що обмежують зону всмоктування.

У цьому випадку:

$$L_m = 3600 F_0 V_0,$$

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

V_0 – швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі, m/s .

Значення V_0 визначають відповідно до умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x в зоні зварювання або різання на відстані X (м) від центра всмоктуючого отвору.

Значення V_0 визначають відповідно до умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x в зоні зварювання або різання на відстані X (м) від центра всмоктуючого отвору.

Швидкість руху повітря, що створюється місцевими відсмоктувачами біля джерел виділення шкідливих речовин, повинна бути:

— при зварюванні в активних газах дротом суцільного перерізу і порошковим — не більше 0,50 m/s ;

Визначимо кількість повітря, яке буде видалятися відсмоктувачем з розміром входної воронки 0,2 м (рис. 21).

Витрати повітря, що видаляється:

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

F_0 – площа перерізу витяжного отвору відсмоктувача, m^2 ;

V_x – швидкість повітря в зоні зварювання;

$$V_x = 0,1 \text{ м/с};$$

Швидкість повітря в отворі відсмоктувача:

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

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

$$x = 0,3 \text{ м};$$

d – діаметр вхідного отвору, м;

$d = 0,2$ м;

$V_0 = 8 \cdot 0,1 \cdot (0,3/0,2)^2 = 1,8$ м/с.

$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0 = 3600 \cdot 0,1225 \cdot 1,8 = 793,8$ м³/год.

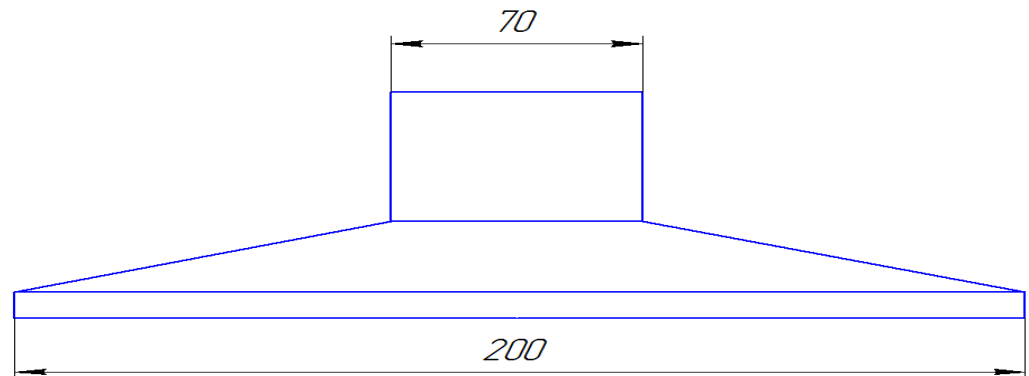


Рисунок 21. Схема вентиляції

7.2.11 Інженерні рішення для забезпечення безпеки обладнання

Зварювальні роботи, зокрема дугове та електрошлакове зварювання, вимагають використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) для забезпечення безпеки працівників. Вибір та застосування цих засобів повинні відповідати галузевим стандартам та вимогам, зокрема ДСТУ 7238:2011 та ДСТУ 7239:2011.

7.2.12 Захист органів дихання

ЗІЗ для захисту органів дихання мають відповідати вимогам ДСТУ EN 133 та ДСТУ ГОСТ 12.4.041:2006. Протиаерозольні засоби, такі як респіратори класу не гірше FFP2, застосовуються для захисту від шкідливих аерозолів, що утворюються під час зварювання.

7.2.14 Захист очей та обличчя

Під час зварювання відкритою дугою для захисту очей та обличчя від випромінювання дуги, бризок розплавленого металу та іскор використовуються щитки з відповідними світлофільтрами згідно з ДСТУ EN 175-2001 та ДСТУ EN 169-2001. Для робіт з дугового зварювання під флюсом, електрошлакового зварювання, огляду та зачищення зварних швів використовуються захисні окуляри за стандартом ДСТУ EN 167-2001.

7.2.15 Захист рук

Для захисту рук під час зварювальних робіт необхідно застосовувати спеціальні рукавиці відповідно до ДСТУ 7239:2011 та ДСТУ EN 420-2001. Ці рукавиці забезпечують ефективний захист від механічних ушкоджень та високих температур.

7.2.16 Захист від електричного струму

Для зниження ризику ураження електричним струмом працівники повинні використовувати ізолюючі килимки, згідно з ДНАОП 1.1.10-1.07-01. У умовах підвищеної небезпеки, зокрема у замкнених просторах, працівникам додатково надаються ізолюючі калоші та рукавиці типу Ен та Ев, відповідно до нормативно-технічної документації.

7.2.17 Захист голови

Під час зварювання великогабаритних виробів, а також при електрошлаковому зварюванні, необхідно використовувати захисні каски, які відповідають вимогам ДСТУ EN 397-2001. Ці каски забезпечують надійний захист голови від механічних пошкоджень та впливу інших шкідливих факторів.

Забезпечення працівників адекватними засобами індивідуального захисту відповідно до встановлених стандартів є критичним елементом інженерних рішень, спрямованих на підвищення безпеки у зварювальних роботах.

7.2.18 Вимоги електробезпеки

Виробничі приміщення, де існує ризик ураження електричним струмом, класифікуються як особливо небезпечні. Експлуатація зовнішніх електроустановок прирівнюється до умов експлуатації в таких приміщеннях. Вимоги безпеки для електротехнічних виробів регламентуються стандартом ДСТУ EN 60204-1:2015.

7.2.19 Методи захисту від ураження електричним струмом:

- 1. Ізоляція струмоведучих частин:**
 - Робоча, додаткова, подвійна або посилена ізоляція.
- 2. Безпечна напруга:**
 - Використання безпечних рівнів напруги в електричних колах.
- 3. Заземлення:**
 - Захисне заземлення металевих частин, що можуть опинитися під напругою при пошкодженні ізоляції.
- 4. Оболонки:**
 - Оболонки для запобігання випадковому дотику до струмоведучих, рухомих і нагрітих частин.
- 5. Блокування:**
 - Захист від помилкових дій та операцій.
- 6. Екрани та інші засоби захисту:**
 - Захист від електромагнітних полів, теплового, оптичного та рентгенівського випромінювання.

7. Системи видалення шкідливих речовин:

- Засоби вилучення небезпечних і шкідливих речовин, що утворюються під час експлуатації.

8. Контроль ізоляції:

- Пристрої для контролю стану ізоляції, сигналізації про її пошкодження та автоматичного вимикання при зниженні опору ізоляції до критичного рівня.

9. Попереджувальні засоби:

- Попереджувальні надписи, знаки, сигнальні фарбування та інші засоби сигналізації про небезпеку.

10. Ергономіка:

- Вимоги ергономіки для забезпечення зручності та безпеки роботи.

Захист в аварійному режимі:

1. Заземлення і занулення:

- Застосовуються завжди при живленні від мереж з ізольованою нейтраллю та у мережах з глухозаземленою нейтраллю при напрузі понад 1000 В.

2. Вимикання:

- Використання автоматичних вимикачів для відключення при аваріях.

3. Подвійна ізоляція:

- Додатковий захист від ураження струмом.

7.2.20 Стандарти і вимоги для обладнання:

Все обладнання для зварювання має відповідати вимогам ДБН А.3.2-2-2009, ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007, ДСТУ Б А.3.2-13:2011, ДСТУ EN 60204-1:2015, ДСТУ 7234:2011 та ДНАОП 0.03-1.07-73. Пристрої для дугового зварювання повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 60204:2015.

7.2.21 Електротехнічний персонал:

Підключення, вмикання, технічний нагляд та ремонт зварювального устаткування мають виконувати кваліфіковані фахівці з групою допуску не нижче III.

7.2.22 Підключення до електромереж:

Джерела живлення для зварювального обладнання повинні підключатися до розподільних мереж з напругою не вище 600 В. Безпосереднє живлення зварювальної дуги від силової, освітлювальної та контактної мережі заборонене.

7.2.23 Пожежна безпека.

Всі роботи повинні здійснюватися у відповідності до норм НПАОП 45.2-4.01-98, НАПБ А.01.001-2004 та ДБН А.3.2-2-2009. Це включає дотримання типових правил пожежної безпеки для промислових підприємств. Цехи та ділянки, де проводяться напилювальні роботи, класифікуються за НАПБ Б.07.005-86 як категорія Г виробництва, що пов'язано з вибухопожежною небезпекою.

Класифікація приміщень:

- **Категорія Г:** Виробничі процеси з негорючими речовинами в гарячому, розжареному або розплавленому стані, що виділяють променисте тепло, іскри та полум'я.

- **Клас П-Па (ПУЕ):** Зони, де є тверді або волокнисті горючі речовини.

Безпека робочих місць:

- **Очистка від легкозаймистих матеріалів:** Робочі місця повинні бути очищені від таких матеріалів в радіусі не менш ніж 5 метрів.

- **Засоби пожежогасіння:** Повинні бути присутні сухий пісок, тетрахлорні, порошкові або вуглекислотні вогнегасники.

Вимоги до будівель:

- **Ступінь вогнестійкості будівлі:** І, що означає відсутність поширення вогню на основні конструкції. Мінімальне обмеження вогнестійкості - 2,5 години, максимальне обмеження поширення вогню для внутрішніх стін - 25 см.

- **Категорія захисту від блискавки:** І, з використанням стержневих блискавковідводів (ДСТУ Б В.2.5-38:2008, ІЕС 62305:2006, NEQ).

Пожежна безпека:

- **Запобігання загоранню ізоляції:** Забезпечується максимальним струмовим захистом при короткому замиканні (КЗ).

- **Запобігання виникненню горючого середовища:** Забезпечується герметизацією обладнання та обмеженням використання і зберігання вибухонебезпечних речовин.

- **Пожежна сигналізація:** Використання датчиків типу ІДФ-1, ДПД та інших.

- **Вогнегасники:** Використання вогнегасників класу Е типу УО, ОП-10А.

- **Електробезпека:** Дотримання вимог електростатичної безпеки.

Додаткові заходи:

- **Періодичне очищення:** Регулярне очищення робочих місць, апаратури від відходів та пилу.

- **Заміна ЛЗР і ГР:** Заміна легкозаймистих і горючих речовин на вогнебезпечні технічні миючі засоби.

- **Пристрої обмеження пожежі:** Приміщення обладнуються пристроями для обмеження розповсюдження пожежі.

- **Захист від небезпечних факторів пожежі:** Встановлення колективних та індивідуальних засобів захисту від пожежі та протиповітряного захисту.

Електрообладнання:

Тип електрообладнання в приміщенні повинен відповідати класу зони пожежної та вибухової безпеки.

Висновок

У даному розділі було розглянуто комплекс заходів з охорони праці та навколишнього середовища, який враховує всі можливі джерела небезпеки та шкідливого впливу під час виконання виробничого процесу. Виконання усіх встановлених правил та заходів гарантує максимальний захист для співробітників та навколишнього середовища, виключаючи можливість нанесення шкоди. Однак, для забезпечення повноцінної безпеки, рекомендується постійно оновлювати та удосконалювати систему заходів з охорони праці на основі аналізу нових технологій, ризиків та вимог законодавства. Тільки такий підхід забезпечить ефективний контроль над безпекою праці та збереже навколишнє середовище для майбутніх поколінь.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Марочник сталей і сплавів. [Електронний ресурс] - режим доступу http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=120
2. 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.
3. Обміднений зварювальний дріт ER70S-6 та ER70S-7. [Електронний ресурс] - режим доступу <https://korsal.com.ua/zvaryvalnij-drit/obmidnenij-zvaryvalnij-drit-er70s-6>
4. Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 1. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014
5. Техніка напівавтоматичного зварювання в захисних газах стикових і кутових швів. [Електронний ресурс] - режим доступу: <https://naurok.com.ua/rozrobka-uroku-z-predmeta-tehnologiya-zvaryvalnih-robit-337048.html>
6. Зварювальне обладнання фірми "Фрониус", Україна. [Електронний ресурс] - режим доступу <http://www.fronius.com/>
7. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч.посібник .-К.: Арістей, 2005. - 268 с.
8. ДСТУ ISO 3834-2001 Вимоги до якості зварювання. Зварювання плавленням металевих матеріалів.
9. ДСТУ 3491-96 Дефекти з'єднань при зварюванні металів плавленням. Класифікація, позначення та визначення.
10. ДСТУ ISO 17637:2003 Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Візуальний контроль з'єднань виконаних зварюванням плавленням.
11. Левченко О.Г. Гігієна праці та виробнича санітарія у зварювальному виробництві. Навчальний посібник для студентів зварювальних спеціальностей. – К.: Основа, 2004. – 98с
12. Сервіс документів [Електронний ресурс] - режим доступу <https://online.budstandart.com/ua/>

13. Законодавча база [Електронний ресурс] - режим доступу <http://dnaop.com>
14. Н.М. Денисова.-Шляхи зниження забрудненості повітря робочої зони зварювальних ділянок.- Вісник Чернігівського Державного Технологічного Університету [Електронний ресурс] - режим доступу <http://vistnic.stu.cn.ua/index.pl?task=arcl&j=6&id=35>
15. ДСТУ 2456-94 - Зварювання дугове і електрошлакове
16. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 - Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва.
17. ДСТУ 2156-93 – Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення
18. ДСТУ 3273-95 - Безпечність промислових підприємств
19. ДБН А.3.2-2:2009 - Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві.
20. ДНАОП 0.03-3.01-71 - Санітарні норми проектування промислових підприємств
21. ДБН А.3.2-2:2009 - Система стандартів безпеки праці
22. НПАОП 45.2-4.01-98 - Положення про безпечну та надійну експлуатацію виробничих будівель і споруд
23. ДБН В.2.5-67:2013 - Вимоги до систем опалення і внутрішнього теплопостачання, загальнообмінної, аварійної та протидимної вентиляції, повітряного опалення, кондиціонування та охолодження повітря будівель з метою забезпечення нормованих санітарно-епідеміологічних параметрів мікроклімату приміщень, виконання вимог безпеки та охорони навколишнього середовища, раціонального використання енергетичних ресурсів під час експлуатації.
24. ДБН В.2.5-56:2014 - Вимоги до обладнання об'єктів СПЗ під час їх будівництва, реконструкції, технічного переоснащення, капітального

ремонту, зміни категорій приміщень і будинків за вибухопожежною і пожежною небезпекою згідно з НАПБ Б. 03.002.

25. НАПБ Б. 03.002 - Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою
26. ДБН В.2.5-28-2006 - Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.
27. ДСТУ EN 340-2001 - Загальні вимоги з ергономіки до термінів користування, розмірів, маркування одягу, а також до інформації, яка надається виробником.
28. ДСТУ 7239:2011 - Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту.
29. ДСТУ EN 169-2001 - Фільтри під час виконання зварювання та споріднених процесів. Вимоги до пропускання та рекомендації щодо використання.
30. ДСТУ EN 175-1997 - Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювальних та споріднених процесів.
31. ДСТУ EN 379-2003 - Засоби індивідуального захисту очей. Автоматичні зварювальні фільтрию
32. ДСТУ EN 420-2001 - Загальні вимоги щодо ергономічності, конструкції рукавиць, доброї видимості, нешкідливості чищення, комфорту та ефективності, маркування та інформації, стосовно всіх захисних рукавиць.
33. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 - Електробезпека в будівлях і спорудах.
34. ДСТУ 7237:2011 - Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.
35. ДБН А.3.2-2-2009 - Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві.
36. ДНАОП 0.00-121-98 - Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів
37. ДСТУ 7238:2011 - Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих.

38. ДСТУ EN 133 - Засоби індивідуального захисту органів дихання.
39. ДСТУ ГОСТ 12.4.041:2006 - Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту органів дихання фільтрувальні.
40. ДСТУ EN 175-2001 - Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювальних та споріднених процесів
41. ДСТУ EN 167-2001 - Ступені захисту і вимоги до пропускання світлофільтрів для тих, хто зайнятий виконанням робіт з паяння із застосуванням твердого припою, киснево-дугового зварювання для оплавлення (знімання) посилення швів, плазово-дугового різання.
42. ДНАОП 1.1.10-1.07-01 - Правила експлуатації електрозахисних засобів
43. ДСТУ EN 397-2001 - Вимоги до механічних і експлуатаційних властивостей, методи випробовування і маркування захисних промислових касок.
44. ДСТУ EN 60204-1:2015 - Безпечність машин. Електрообладнання машин.
45. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 - Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва
46. ДСТУ Б А.3.2-13:2011 - Система стандартів безпеки праці. Будівництво. Електробезпечність.
47. ДСТУ 7234:2011 - Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки.
48. ДНАОП 0.03-1.07-73 - Санітарні правила організації технологічних процесів і гігієнічні вимоги до виробничого обладнання.
49. НПАОП 45.2-4.01-98 - Положення про безпечну та надійну експлуатацію виробничих будівель і споруд.
50. НАПБ А.01.001-2014 - Правила пожежної безпеки в Україні
51. НАПБ Б.07.005-86 - Визначення категорії приміщень і будівель по вибухопожежній і пожежній небезпеці.

52. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 - Інженерне обладнання будинків і споруд.
Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд.
53. ІЕС 62305:2006 - Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд

ДОДАТКИ

[illegible]

[illegible]

[illegible]