

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та будівництва "ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Андрухів Андрій Васильович

(підпис)

Група ЗТ-21-1

Розроблення технології виготовлення ємності для транспортування бітуму

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів
“Інжиніринг зварювальних технологій”
спеціальності 131 “Прикладна механіка”**

Керівник: <u>к.т.н., доц.</u> <u>Біщак Р.Т.</u> _____ <i>підпис</i>	Завідувач кафедри будівництва: <u>к.т.н., доц.</u> <u>Андрусяк А.В.</u> _____ <i>підпис</i>
---	---

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

Інститут

архітектури та будівництва
"ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Кафедра будівництва

ОПП

"Інжиніринг зварювальних
технологій"

Спеціальність

131 "Прикладна механіка"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри БУД
А.В. Андрусяк
(ініціали, прізвище)

(підпис)

" ____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на випускні кваліфікаційну роботу бакалавра
студента Андрухів Андрія Васильовича

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення ємності для транспортування бітуму

Затверджена наказом по університету № 283/7 від "07" 05. 2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи

Технічні умови на виготовлення корпусу ємності, креслення виробу, умови експлуатації цистерни, матеріал виробу сталь 09Г2С.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити 1 Загальний розділ. 1.1 Загальна характеристика зварної конструкції корпусу корпусу ємності, та її елементів. 1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу. 1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності. 1.4. Технічні вимоги на виготовлення. 1.5 Особливості базової технології виготовлення корпусу цистерни. 2 Технологічний розділ. 2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування. 2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання. 2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів. 2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання. 2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування. 2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції. 2.2.1 Заготівельні операції. 2.2.2 Розробка технології складання та зварювання. 2.2.3 Технічний контроль якості та виправлення браку. 3. Конструкторський розділ. 3.1 Компонування складальних та зварювальних установок. 3.2 Розробка плану цеху.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Загальний вигляд корпусу цистерни для транспортування бітуму. 2. Схема технологічного процесу виготовлення цистерни. 3. Установка для складання поздовжніх швів обичайок цистерни 4. Установка для складання поздовжніх швів обичайок цистерни. 5. Стенд для зварювання кільцевих швів цистерни. 6. Стенд для зварювання кільцевих швів цистерни. 7. План ділянки цеху.

6. Дата видачі завдання _____

Керівник

_____ Біщак Р.Т.

Завдання прийняв до виконання

_____ Андрухів А.В.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Найменування роботи	Термін виконання	Фактичне виконання
1.	Вибір теми, її затвердження		
2.	Ознайомлення з рекомендованою літературою		
3.	Загальний розділ		
4.	Технологічний розділ		
5.	Конструкторський розділ		
6.	Безпека праці		
7.	Виконання розрахунково-графічної частини, додатків та ілюстрацій до роботи		
8.	Ознайомлення керівника з чорновим варіантом роботи		
9.	Оформлення роботи		
10.	Представлення роботи на кафедрі		
11.	Направлення на рецензування		

Студент _____ Андрухів А.В.

Керівник _____ Біщак Р.Т.

РЕФЕРАТ

Робота бакалавра складається із 10 слайдів презентації, пояснювальної записки із 55 аркушів, 19 рисунків, 6 таблиць та 21 посилань на використану літературу.

Об'єкт роботи - технологічний процес виготовлення корпусу ємності для транспортування бітуму.

Мета роботи – розроблення технології складання та зварювання, вибір оптимального зварювального обладнання, зварювальних матеріалів для виготовлення корпусу ємності для транспортування бітуму.

У роботі бакалавра розроблено технологічний процес складання та зварювання корпусу ємності для транспортування бітуму. У роботі запропоновано застосовувати зварювальний автомат зі зварювальною головкою ESAB A6S Compact 500 з маніпулятором, обладнаний спеціальним копіювальним механізмом, кінематикою якого повністю вирішується завдання забезпечення автоматичного зварювання.

Ключові слова: ЗВАРЮВАННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ДРІТ, ЗВАРНЕ З'ЄДНАННЯ, ESAB A6S, ОБИЧАЙКА, КОРПУС.

ABSTRACT

The bachelor's work consists of 10 presentation slides, an explanatory note of 55 sheets, 19 figures, 6 tables and 21 references to the literature used.

The object of the work is the technological process of manufacturing a container body for transporting bitumen.

The purpose of the work is to develop an assembly and welding technology, select the optimal welding equipment, welding materials for manufacturing a container body for transporting bitumen.

In the bachelor's work, a technological process of assembling and welding a container body for transporting bitumen has been developed. The work proposes to use a welding machine with an ESAB A6S Compact 500 welding head with a manipulator, equipped with a special copying mechanism, the kinematics of which completely solves the problem of ensuring automatic welding.

Keywords: WELDING, WELDING WIRE, WELDING JOINT, ESAB A6S, LINEAR, BODY.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Загальний розділ.....	8
1.1 Загальна характеристика конструкції зварного корпусу цистерни	8
1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу.....	10
1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності.....	11
1.4 Особливості базової технології виготовлення цистерни.....	13
2 Технологічний розділ.....	15
2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування.....	15
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання.....	15
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів.....	18
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання.....	18
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування.....	20
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції.....	25
2.2.1 Заготівельні операції.....	25
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання.....	29
2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями.....	31
2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку.....	36

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ					
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Розроблення технології виготовлення ємності для транспортування бітуму			<i>Лім.</i>	<i>Арк</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	Андрухів А.В.							4	4	54
<i>Перевір.</i>	Біщак Р.Т.									
<i>Реценз.</i>										
<i>Н. контр.</i>	Матвієнків О.									
<i>Затверд.</i>	Андрусяк А.В.				ІФНТУНГ ЗТ-21-1					

3	Конструкторський розділ.....	38
3.1	Компонування складальних та зварювальних установок.....	38
3.2	Розробка плану цеху.....	41
4	Безпека праці.....	44
4.1	Аналіз виявлених шкідливих факторів проектованої ділянки.....	44
4.1.1	Запиленість та загазованість повітря робочої зони.....	44
4.1.2	Виробничий шум.....	46
4.1.3	Статичне навантаження на руку.....	46
4.1.4	Вібрація.....	47
4.1.5	Забезпечення необхідного освітлення на ділянці.....	47
4.2	Аналіз виявлених небезпечних факторів проектованого виробничого середовища.....	48
4.2.1	Захист від зварювальних випромінювань.....	48
4.2.2	Електричний струм.....	49
4.2.3	Електробезпека.....	49
4.2.4	Розробка методів захисту від шкідливих та небезпечних факторів.....	49
	Висновки.....	51
	Список використаних джерел.....	52
	Додатки.....	54

ВСТУП

Для того, щоб перевозити різні нафтопродукти, застосовуються ємності та допоміжні пристрої, склад та призначення яких залежать від речовини, що перевозиться. Наприклад, під час перевезення багатьох видів нафтопродуктів потрібне застосування електроізоляційного захисного шару. Небезпека вантажу, що перевозиться, змушує практично повністю відмовитися від повітряного виду транспорту за винятком особливих випадків (виконання оборонних заходів або заходів протилежної дії, рятувальні операції, інші випадки) [1], [2]. Застосування автомобільного транспорту пояснюється зручністю та можливістю передачі значного обсягу нафтопродуктів за місцем призначення [3].

Для перевезення бітуму, бензину, зрідженого газу та дизельного палива набув широкого поширення автомобільний транспорт, який має універсальність, не вимагає прив'язки до комунікацій (за винятком прокладання автомобільної дороги). Для доставки палива кінцевому споживачеві застосування автомобільного транспорту є найбільш виправданим. При цьому слід враховувати, що найбільш рентабельним є перевезення бітуму із застосуванням автомобільного транспорту на відстані, що не перевищують 300...400 кілометрів. Тобто. автомобільне перевезення має локальний характер, що анітрохи не применшує важливості правильної організації автомобільних перевезень нафтопродуктів Крім того, слід особливо відзначити, що трубопровідний транспорт і залізничний транспорт найбільш схильні до небезпек пошкодження від різних факторів, тому з врахуванням економічної ефективності перевезень, актуальність автомобільних перевезень бітуму буде тільки зростати.

Збільшення обсягів бітуму, що перевозиться з використанням автомобільного транспорту, викликає необхідність збільшення продуктивності

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		6

зварювання цистерн і підвищення якості виконання зварювальних робіт. Для підвищення продуктивності зварювальних операцій слід застосовувати різні види механізмів, що дозволяють механізувати та автоматизувати основні та допоміжні операції. До таких механізмів відносять складальні стенди, обертачі, кантувачі, крани. Для підвищення якості та продуктивності зварювання слід передбачити застосування високопродуктивних способів зварювання, які дозволяють отримувати з'єднання з меншою, ніж у базовому варіанті технології, кількістю дефектів. Це, у свою чергу, суттєво підвищує продуктивність зварювальних та контрольних операцій.

На основі вище викладеного слід зробити висновок про актуальність обраної теми та поставленої мети: підвищення продуктивності та якості зварювальних операцій під час виготовлення цистерни для перевезення нафтопродуктів.

Поставлену мету передбачається досягати за рахунок обґрунтованого вибору способу зварювання, що дозволяє підвищити продуктивність та якість зварювальних робіт, а також застосування засобів механізації та автоматизації зварювальних робіт. При цьому основний акцент слід робити на вітчизняні розробки, що дозволить забезпечити незалежність нашої промисловості від іноземних технологій та обладнання [4].

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		7

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна характеристика конструкції зварного корпусу цистерни, та її елементів

Цистерну для транспортування бітуму встановлюють на готове шасі вантажного транспорту. Елементи цистерни виготовляють із листового прокату, а потім зварюють. У поперечному перерізі цистерна виконана у вигляді еліпса. Весь внутрішній об'єм цистерни поділяється на два зварені між собою відсіки. Розділення відсіків проводиться за допомогою спеціальної хвилегасної перегородки. У першому відсіку цистерни розташована труба з виходом в атмосферу, яка служить для видалення надлишку бітумного матеріалу, якщо відбулося перевищення технологічного обсягу цистерни. Друга функція труби – це вирівнювання тиску між цистерною та атмосферою. Наповнення цистерни бітумом проводиться за рахунок горловини з фільтром, розташованої у верхній частині цистерни.

Керування наповненням цистерни здійснюється за допомогою встановлення вентилів у різні позиції. До складу цистерни входить ручний розподільник, який застосовується при малих ремонтних роботах.

У котлах цистерн трапляються такі несправності:

- вм'ятини та пробоїни в циліндричній частині та днищах;
- нещільність зварних швів; тріщини у листах;
- корозія стінок.

Порушення цілісності цистерни є найбільш серйозним пошкодженням, що призводить до витікання бітуму.

Корпус цистерни складається з обичайок, днищ та хвилерізів, виготовлених із сталі 09Г2С ГОСТ 19281-89, які з'єднуються між собою кільцевими зварними швами (рис. 1.1).

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
						8
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Після цього проводять встановлення накладок та їх обварювання по всьому периметру. [5]

У разі ремонту пробоїни поверх пробоїни встановлюють накладку, яка має повністю перекривати пробоїну. Далі накладку проварюють зовні котла цистерни по всьому периметру, а всередині котла - по периметру кромки пробоїни.

1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу

Аналіз технологічності конструкції, що зварюється проводимо за такими критеріями.

1) Цистерна виготовляється з обичайок, що мають форму тіл обертання. Це визначає простоту компонування конструкції.

2) Еліптична форма конструкції цистерни свідчить до конструкторсько-технологічну досконалість форми.

3) Оскільки забезпечується доступ до конструкції з усіх сторін, то це визначає зручність в ремонті та експлуатації цистерни.

4) Оскільки в конструкції резервуару більшість швів є довгими, прямолінійними та кільцевими, то це визначатиме мінімальну трудомісткість при виготовленні та ремонті, оскільки, можна застосувати засоби механізації та автоматизації при виготовленні конструкції.

5) Зварювання кільцевих швів цистерни відбувається в одному положенні, що виключає витрати додаткового часу на переміщення деталі. Сталь 09Г2С зварюється добре, що виключає додаткові технологічні заходи на підігрівання чи термооброблення конструкції і, відповідно, економить час та ресурси. Те ж стосується і ремонту цистерни.

Проаналізувавши критерії технологічності, можна зробити висновок, що конструкція цистерни для транспортування бітуму є технологічною.

					КРБ.3Т-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		10

1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності

Сталь 09Г2С належить до групи низьколегованих конструкційних сталей. Основне призначення даного матеріалу - виготовлення деталей зварних металевих конструкцій та інших виробів, які працюють під тиском при температурах від -70 до +425 °С. Як замітники сталі 09Г2С можуть бути сталі марок 09Г2 і 09Г2Т, а також 09Г2ДТ та 10Г2С.

Для зварювання сталі марки 09Г2С немає обмежень, тому зварювання виконують без додаткового підігріву та подальшої термообробки. Сталь 09Г2С має низьку схильність до відпускнуї крихкості і не є флокеночутливою.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад у % сталі 09Г2С (ГОСТ 19281-2014) [6]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
до 0.12	0.5-0.8	1.3-1.7	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.3	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості при T=20 °С сталі 09Г2С за (ГОСТ 19281-2014) [6]

Сортамент	σ_B	σ_T	δ_5
-	МПа	МПа	%
Лист	500	350	21

Даній сталі притаманні такі ж відмінні риси при термообробці як і для звичайної низьковуглецевої сталі. Основні відмінності полягають у більшій схильності до утворення структур загартування в металі шва та зоні термічного впливу за високої швидкості охолодження. При високих швидкостях охолодження в швах цього матеріалу крім стандартного фериту та перліту можна знайти мартенсит, бейніт та залишковий аустеніт. Мартенсит у такому шві практично не утворюється, а бейніт – ферито-карбідна суміш із високою

дисперсністю. Розмір структурних елементів змінюється при змінах температурних циклів зварювання. При малій погонній енергії в металі шва підвищуються дисперсність і кількість мартенситу, бейніту та залишкового аустеніту. [7]

При малій величині гартівних структур вони мало впливають на механічні властивості зварних з'єднань через рівномірне і дезорієнтоване розташування цих елементів у м'якій феритній основі. Але зі збільшенням відсотка таких структур у шві та навколошовних зонах зменшується пластичність металу та його показники стійкості до крихкого руйнування. Введення додаткових легуючих елементів у сталь наприклад марганцю, кремнію та інших елементів буде збільшувати утворення у зварних швах структур гартування. Тому режими при зварюванні багатьох низьколегованих сталей обмежуються меншими (за значеннями погонної енергії) межами, ніж для зварювання низьковуглецевих сталей.

Рівномірність металу шва з основним металом досягають при легуванні його елементами, які переходять із основного металу. Іноді збільшення міцності і стійкості до крихкого руйнування виконують додаткове легування металу зварного з'єднання через дрiт для зварювання.

Стійкість металу зварного з'єднання до кристалізаційних тріщин при зварюванні низьколегованих сталей менше, ніж для низьковуглецевих, це пов'язано зі збільшенням негативного впливу вуглецю різними легуючими елементами, наприклад, кремнієм. Збільшення стійкості до утворення тріщин досягають зменшенням вмісту в зварному з'єднанні вуглецю, сірки та інших елементів при використанні зварювального дроту із зменшеним вмістом розглянутих елементів, і застосуванням необхідної технології зварювання (послідовність накладання зварних з'єднань, отримання сприятливих форм провару) і раціональної конструкції деталі. Враховуючи вище нвведене, а також досвід зварювального виробництва, вважаємо, що сталь 09Г2С зварюється добре.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		12

1.4 Особливості базової технології виготовлення цистерни

Аналіз базової технології дозволяє встановити недоліки, усунення яких дозволить підвищити продуктивність і якість виконання зварювальних робіт при виготовленні цистерни.

Першим недоліком є застосування застарілого зварювального обладнання. Заміна застосовуваного за базовим варіантом обладнання на більш економічне дозволить значно підвищити стабільність якості і продуктивність зварювання. покращить управління зварювальними процесами.

Другим недоліком є мала ступінь механізації та автоматизації основних та допоміжних операцій базового технологічного процесу складання та зварювання корпусу цистерни.

Базова технологія виготовлення корпусу цистерни передбачає послідовне виконання наступних операцій: вхідний контроль, заготівельні операції, вальцювання обичайки, складання та прихоплення обичайки, зварювання поздовжнього шва обичайки, зварювання кільцевих швів, контроль якості. Під час виконання вхідного контролю проводиться перевірка стану листового прокату. Зберігання сталевих листів та сортових заготовок повинно проводитись у закритих приміщеннях. При цьому слід виключити можливість механічного пошкодження або забруднення заготовок, контакту з кольоровими металами та іншими видами сталей. Під час приймання листів виконується перевірка:

- на поверхні листа не допускаються дефекти у вигляді: раковин, наскрізних руйнувань, забруднень, окалини, здуття, тріщин;
- усунення поверхневих дефектів проводиться зачищенням (допустиме зменшення товщини листа 0,25 - 0,4 мм);
- на обрізаних кромках прокату не допускається розшарування, тріщин, розривів;

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		13

- для контролю якості листа, його поверхні, беруть усі листи, якість поверхні контролюється візуально без застосування збільшувальних приладів;
- контролю розмірів листа підлягає кожен десятий лист з партії;
- розшарування контролюється оглядом кромek. Якщо на матеріали відсутні супровідні сертифікати, слід перевірити їх властивості на самому виробництві. При цьому така перевірка повинна бути виконана до початку робіт.

					КРБ.3Т-53.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання

Етап 1 - аналіз усіх способів, які можуть забезпечити якісний захист розплаву від взаємодії з повітряною атмосферою. При виготовленні та ремонтному зварюванні конструкцій із застосуванням низьколегованих сталей можуть бути застосовані всі способи зварювання плавленням, у тому числі можна використовувати: ручне дугове, в захисних газах неплавким і плавким електродом, під флюсом, лазерне, газове.

Етап 2 - аналіз всіх способів, які придатні для зварювання даної товщини конструкції. При зварюванні товщин до 5 мм розглядаються способи зварювання: дугове зварювання в середовищах захисних газів із застосуванням плавкого електрода; дугове зварювання в середовищах захисних газів із застосуванням неплавкого електрода, ручне дугове зварювання, дугове зварювання під флюсом, зварювання лазером.

Етап 3 - аналіз способів по довжині, геометрії та просторовому положенню зварного шва. У варіанті, що розглядається, виконують зварювання доволі довгих швів. Придатними вважаємо способи зварювання: дугове зварювання в середовищі захисних газів із застосуванням плавкого електрода, ручне дугове зварювання. Найбільш продуктивними будуть такі способи: автоматичне зварювання в захисних газах та дугове зварювання під шаром флюсу.

До переваг безпосередньо дугового зварювання із застосуванням покритих електродів (рис. 2.1) відносять рівномірність плавлення металу електрода та матеріалу обмазки, що гарантує якість шлакового захисту зварного з'єднання. Крім цього, з'являється можливість легувати метал зварного з'єднання додатково. До недоліків можна віднести: використання ручної праці,

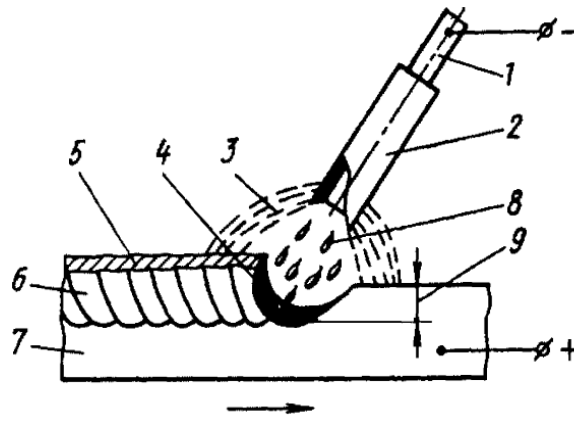
					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		15

висококваліфікованого персоналу, необхідність частої заміни електродів та переривання процесу зварювання, окрім того, немає можливості автоматизації процесу.

До переваг аргонодугового зварювання неплавким електродом можна віднести хороший захист зварного шва і зварювальної ванни аргоном, при цьому виконується якісний провар кореня шва, з'являється можливість використання дроту великих і дуже малих діаметрів, можливість вибору дроту, який повністю збігається по хімічному складу із основним металом. До недоліків можна віднести: використання дорогого та дефіцитного захисного газу, необхідність участі в роботі висококваліфікованого персоналу, інтенсивне зношування обладнання під час роботи на високому струмі зварювання (відбувається забруднення сопла, руйнування пальника).

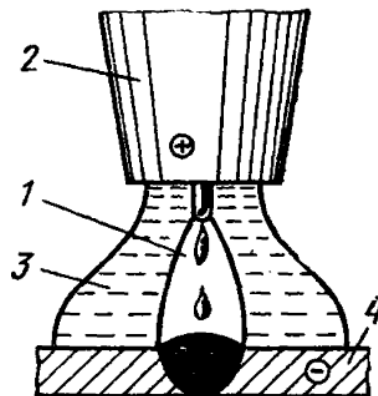
Зварювання в середовищах захисних газів із застосуванням плавкого електрода (рис. 2.1) можна виконувати як в середовищах активних газів, так і середовищах інертних газів. Основними перевагами зварювання в активному газі є, наприклад (CO_2), відносять хороший газовий захист зварювальної ванни і металу зварного з'єднання, простоту та дешевизну устаткування, що застосовується, високі показники продуктивності процесу. До переваг зварювання в інертному газі, наприклад в аргоні (Ar), відносять хороший захист зварного шва та зварювальної ванни, при цьому виконується якісний провар кореня шва, висока продуктивність операції. До недоліків зварювання в середовищах захисних газів із застосуванням плавкого електрода відносять необхідність купівлі дорогих механізмів подачі дроту, нерівномірність подачі присадкового матеріалу, необхідність змінних газових балонів, і додаткове неконтрольоване розбризкування. [7]

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		16



1 – металевий стрижень; 2 – покриття електрода; 3 – газова атмосфера дуги; 4 – зварювальна ванна; 5 – затверділий шлак; 6 – метал шва, що закристалізувався; 7 – основний метал (виріб); 8 – краплі розплавленого електродного металу; 9 – глибина проплавлення [8]

Рисунок 2.1 – Схема дугового зварювання покритими електродами



1 – дуга; 2 – сопло; 3 – захисний газ; 4 – основний метал

Рисунок 2.2 – Схема зварювання в середовищі захисного газу із застосуванням плавкого електрода [8]

У роботі обираємо автоматичне зварювання під шаром флюсу для зварювання кільцевих швів та повздовжнього шва обичайок цистерни, а також механізоване зварювання в середовищі вуглекислого газу для приварювання кріпильних елементів, горловини, що забезпечує стабільну якість та високу

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		17

продуктивність процесу, але не забезпечує провар зварного з'єднання і супроводжується розбризкуванням металу.

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

Також перед виконанням зварювання проводять контроль стану зварювального дроту. Для зварювання застосовується дріт Св-08Г2С діаметром 1,6 мм згідно з ГОСТ 2246-70. Поверхня дроту має бути очищена від жиру, іржі та інших забруднень. Граничне відхилення діаметру дроту повинне становити не більше 0,16 мм при овальності не більше 0,08 мм. Приймання зварювального дроту проводить технічний контроль підприємства. Вміст хімічних елементів у зварювальному дроті Св-08Г2С наведено в таблиці 2.1. Для того, щоб підвищити технологічні властивості дроту та полегшити його подачу, поверхня дроту покривається шаром міді не менше 0,15 мкм, який має міцне зчеплення з основою. До зварювального дроту обов'язково повинен бути сертифікат заводу-виробника, де цей дріт був випущений. Зберігання зварювального дроту слід виконувати в стані намотування на касети в закритих приміщеннях, температура в яких не повинна бути нижчою за +15 °С. При намотуванні дроту на касети необхідно забезпечити відсутність перегинів. [9]

Таблиця 2.1 - Вміст хімічних елементів у дроті Св-08Г2С

Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.7-0.95	1.8-2.1	до 0.25	до 0.025	до 0.03	до 0.2	до 0.2

Як захисний газ застосовується суміш вуглекислого газу за ГОСТ 8050-85 і аргону за ГОСТ 10157-73. Склад газової суміші: 90% вуглекислого газу та 10% аргону. Для підготовки газової суміші використовують редуктор У-30-П-2 та редуктор АР-40-2, змішувач газів УГС-1-А.

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Режими зварювання визначаються з урахуванням існуючих методик розрахунку режимів механізованого зварювання [10]. Основними параметрами, що визначають режим механізованого зварювання є:

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		18

- сила зварювального струму;
- напруга дуги;
- діаметр зварювального дроту;
- виліт електроду;
- швидкість зварювання;
- густина струму;
- рід струму;
- полярність.

На рис. 2.3, 2.4 показано розрахункові схеми зварювальних швів.

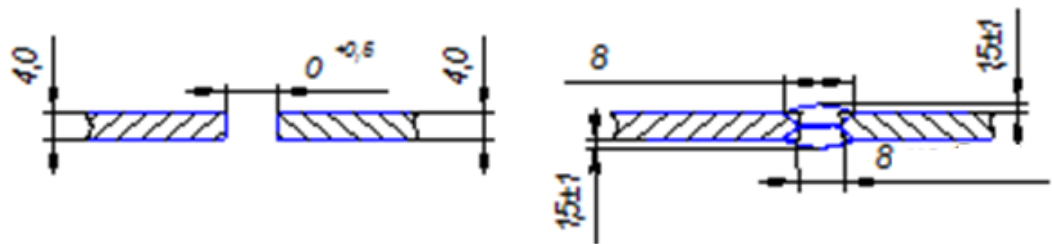


Рисунок 2.3 - Зварні шви стикових з'єднань С7 за ГОСТ 2246-70

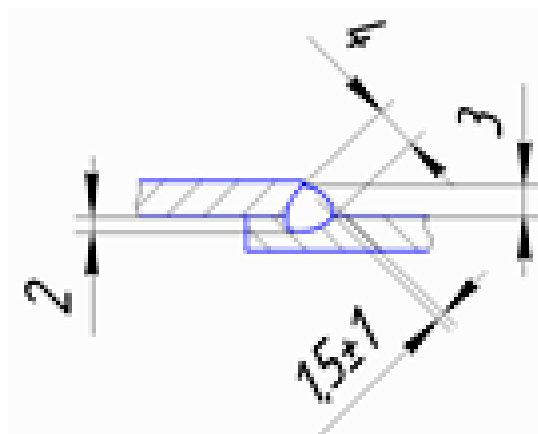


Рисунок 2.4 - Зварні шви напусткових з'єднань Н1 за ГОСТ 2246-70.

Розрахунок режиму автоматичного зварювання при виконанні швів.

1) площа поперечного перерізу шва, мм²

$$F_H = k^2 / 2, \quad (2.1)$$

де k – катет шва згідно креслення.

$$F_H = 3^2 / 2 = 4,5 \text{ мм}^2.$$

					КРБ.3Т-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		19

2) зварювальний струм, А

$$I_{зв} = \pi d_e^2 j / 4, \quad (2.2)$$

де d_e – діаметр електродного дроту, 1,2 мм [9];

j – густина струму, 100 А/мм² [5].

$$I_{зв} = \pi 1,2^2 100 / 4 = 250\text{А}.$$

3) швидкість зварювання, м/год

$$V_{зв} = \alpha_n I_{зв} / 3600 \rho F_n, \quad (2.3)$$

де α_n – коефіцієнт наплавлення, 8 г/А год [5];

ρ - густина сталі, 7,8 г/см³ [5].

$$V_{зв} = 8 \cdot 200 / 3600 7,8 0,045 = 35 \text{ м/год}.$$

4) напруга дуги, В

$$U_d = 20 + 0,05 I_{зв} / d_e^{0,5} = 20 + 0,05 \cdot 200 / 1,6^{0,5} = 30 \text{ В} \quad (2.4)$$

Виліт електрода, рід струму та полярність призначаємо на основі довідкових даних [5]. Основні параметри цього режиму мають такі значення:

- сила зварювального струму 250А;
- напруга дуги 30 В;
- діаметр зварювального дроту 1,6 мм;
- виліт електрода 15 мм;
- швидкість зварювання 35 м/год;
- густина струму 100 А/мм²;
- рід струму - постійний;
- полярність – зворотня.

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування

Для автоматичного зварювання під шаром флюсу будемо використовувати зварювальну головку ESAB A6S Compact 500 (рисунок 2.5). Технічні дані зварювальної головки приведені у таблиці 2.2 [11]

					КРБ.3Т-53.00.00.000 ПЗ	Арк
						20
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

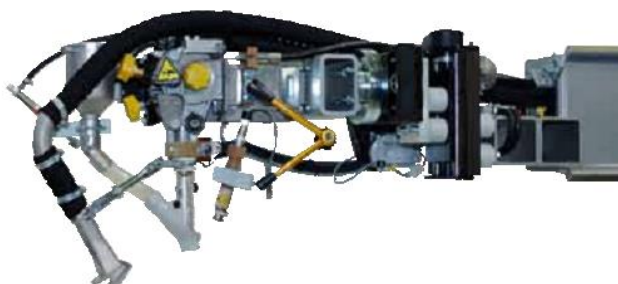


Рисунок 2.5- Зварювальна головка ESAB A6S Compact 500

Зварювальна головка складається з таких вузлів: [11]

- спрямовуючий пристрій, служить для спрямування та подачі зварювального дроту до контактної пристрою;
- контактний пристрій., який призначений для передачі зварювального струму;
- двигун-редуктор;
- бункер для флюсу заправляється флюсом, який далі подається до місця зварювання через флюсову трубку і сопло. Кількість подачі флюсу регулюється за допомогою заслінки встановленої на бункері;
- флюсове сопло;
- пристрій ведення по стику. [12]

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики зварювальної головки ESAB A6S Compact 500 [12]

Параметр	Значення
Номінальний зварювальний струм, А	1500
Номінальна робоча напруга, В	42
Швидкість подачі електродного дроту, м/год	12-240
Діаметр електродного дроту, мм	2-5
Швидкість зварювання, м/год	6-120
Рід струму	постійний, змінний
Ємкість бункера для флюсу, л	1

В якості джерела живлення вибираємо зварювальний випрямляч LAF-1250 (рисунок 2.6), призначений для автоматичного зварювання під шаром флюсу на постійному струмі вуглецевих і низьколегованих сталей.

Технічні характеристики джерела живлення приведені в таблиці 2.3 [11]



Рисунок 2.6 – Випрямляч зварювальний LAF-1250

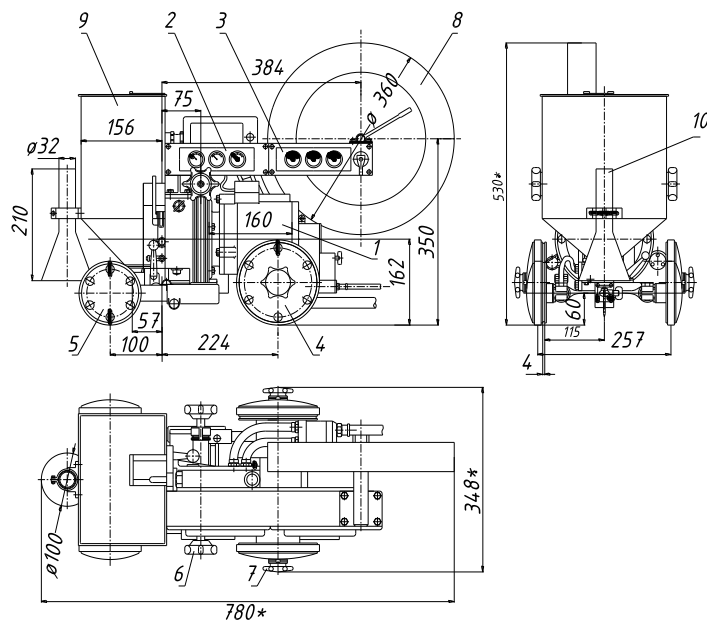
Таблиця 2.3 - Технічні характеристики зварювального випрямляча LAF-1250 [12]

Параметр	Значення
Напруга мережі живлення, В	400/415/500
Номінальний зварювальний струм, А	1250
Номінальна робоча напруга, В	44
Напруга холостого ходу, В	51
Габаритні розміри :	
довжина	774
ширина	598
висота	1428
Маса, кг	490

Для зварювання повздовжнього стика обичайки будемо використовувати зварювальний трактор ТС-17М. Зварювальний трактор комплектується самохідним візком, що дозволяє переміщувати трактор уздовж кромки зварюваного виробу. Загальний вигляд зварювального трактора ТС-17М

					КРБ.3Т-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		22

показаний на рисунку 2.7 [13]. Зварювальний трактор ТС-17М застосовується для виготовлення різних металевих конструкцій, при зварюванні під флюсом зовнішніх швів, а також при зварюванні труб і резервуарів діаметром більше 800 мм, у нижньому положенні. Технічні характеристики зварювального трактора приведені в таблиці 2.4 [13].



- 1 – електродвигун; 2 – контрольно-вимірювальні прилади; 3 – пульт керування;
 4 – ведуче колесо; 5 – переднє направляюче колесо; 6 – механізм коректування
 положення електрода; 7 – маховик включення муфти ходового механізму;
 8 – касета для електродного дроту; 9 – бункер для флюсу.

Рисунок 2.7 – Зварювальний трактор ТС-17М

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики зварювального трактора ТС-17М [11]

Параметр	Значення
Сила струму, А	1000
Швидкість подачі електродного дроту м/год	52-400
Діаметр електродного дроту, мм	1-5
Швидкість зварювання, м/год	16-126
Рід струму	постійний, змінний
Маса, кг	42

В даний час вдосконалення зварювальних процесів та обладнання для механізованого зварювання в основному відбувається з урахуванням можливостей, які можна отримати, використовуючи інверторні джерела зварювального струму та різноманітні алгоритми керування перенесенням електродного металу та циклом зварювання.

На основі літературного дослідження можна виділити такі способи перенесення електродного металу при використанні механізованого зварювання в середовищах захисних газів (рис. 2.8):

- 1) великокапельний, який характеризується наявністю коротких замикань розрядного проміжку;
- 2) великокапельний, для якого не властиві короткі замикання;
- 3) перенесення краплями середнього розміру, при якому не відбуваються короткі замикання;
- 4) струменеве перенесення;
- 5) примусове перенесення з керуванням, з характерними краплями середніх розмірів і відсутністю коротких замикань;
- 6) перенесення з примусовими короткими замиканнями;
- 7) перенесення електродного металу з завихренням струменя. [13]

У літературі [13] описано джерело живлення з керуванням дугою за принципом STT, при якому здійснюється компенсація зміни довжини вільноти електрода шляхом автоматичного коригування тривалості імпульсу струму з постійною амплітудою. Робиться це так. Під час короткого замикання система вимірює падіння напруги на електроді, пропорційно вільноту електрода. Воно усереднюється та подається на інтегратор. Останній починає інтегрування з початковими нульовими умовами в момент запалення дуги. Коли напруга на виході інтегратора зрівняється з регульованою опорною напругою (встановлюється регулятором на передній панелі джерела), імпульс плавлення припиняється, а струм дуги починає плавно спадати до базового струму паузи.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		24

Таким чином, тривалість імпульсу струму плавлення обернено-пропорційна довжині дуги.



Рисунок 2.8 – Джерело живлення Invertec STT-II з механізмом подачі дроту LF-33

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції

2.2.1 Заготівельні операції

До заготівельних операцій ставляться такі вимоги.

При виготовленні обичайок з листів та заготовок обичайок з листів застосовується механічне різання. Застосування термічного різання для аналізованих товщин не є оптимальним. Під час проведення механічного різання слід забезпечити точність 0,5 мм. Після виконання роздільного різання якість різку має дозволяти проведення подальшого збирання та зварювання без проведення додаткової обробки кромки листа. Для різання листових заготовок використовуються дискові ножиці Н4422. Споживана потужність складає 12

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		25

кВт, швидкість різання становить 4 м/хв. Зовнішній вигляд дискових ножиць представлений на рисунку 4-а.

Для вальцювання обичайок застосовується листозгинальна чотиривалкова машина ІБ-2416. Споживана потужність становить 6,3 кВт, швидкість згину становить 0,17 м/сек. На рисунку 2.9 представлена схема вальцювання із застосуванням чотиривалкової машини, яка дозволяє отримувати незвальцовану ділянку шириною не більше двох товщин.



Рисунок 2.9 – Схема вальцювання на чотиривалковій машині

Використання чотиривалкової машини дозволяє отримати високу точність вальцювання, при цьому слід відзначити простоту експлуатації чотиривалкових машин, так як вони дозволяють проводити операцію вальцювання одним оператором за рахунок того, що підтискання листа відбувається відразу після центрування і залишається затиснутим протягом усієї операції вальцювання. Також виключається можливість проковзування. При цьому вальцювання листа може бути виконане за один прохід, забезпечується можливість цифрового управління роботою машини. Зовнішній вигляд машини ІБ-2416 представлений на рисунку 2.10-б.

Для виготовлення днищ застосовують холодне штампування, яке застосовується для листів товщиною до 10 мм та має високу продуктивність, дозволяючи отримувати заготовки високої точності. Для штампування днищ застосуємо гідравлічний прес К04.К3533А, який представлений на рисунку 2.10-в. Зусилля штампування становить 2 МН.

					КРБ.3Т-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		26



Рисунок 2.10 – Устаткування для виконання заготівельних операцій: дискові ножиці (а), вальцювальна машина (б) та гідравлічний прес (в)

Виконання заготівельних операцій передбачає таку послідовність дій: очищення поверхні листового прокату, виконання розмічування, різання заготовок з листового прокату, вальцювання обичайок, штампування днищ, вирізка отвору в центральній обичайці для горловини.

Очищення поверхні листового прокату необхідне для того, щоб видалити з неї іржу, окалину та інші забруднення. Для виконання очищення застосовується дробометна камера, яка забезпечена апаратом подачі дробу, пристроєм збору відпрацьованого дробу, пристроєм очищення відпрацьованого дробу і його повернення в роботу, пристроєм видалення забрудненого повітря. Застосовується дріб діаметром 0,7...0,9 мм. Як дробомет використовується апарат 42117 виробництва ТОВ «Віл Бласт Текнолоджі», який представлений на рисунку 2.11. Швидкість виходу дробу становить 80 м/с при діаметрі робочого колеса 500 мм та частоті обертання 2250 об/хв. [13]

Після того, як було виконано очищення поверхні листового прокату, виконують його розмічування. Для виконання розмічування застосовуються шаблони, металева лінійка, рисувалка, кутник та рулетка. Вимірювальний інструмент, що застосовується, повинен мати точність не нижче 2-го класу. Точність розмічування складає 0,5 мм. При виконанні розмічування слід брати до уваги припуск на різання.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		27



Рисунок 2.11 – Добомет 42117

Для вирізання заготовок з листового прокату застосовуються дискові ножиці Н4422, які представлені на рисунку 2.10-а. Споживана потужність складає 12 кВт, швидкість різання становить 4 м/хв. Точність різання приймається рівною 0,5 мм.

Для вальцювання обичайок застосовується листозгинальна чотиривалкова машина ІБ-2416, яка представлена на рисунку 2.10-б. Споживана потужність становить 6,3 кВт, швидкість згину становить 0,17 м/сек.

Для виготовлення днищ застосовують холодне штампування на гідравлічному пресі К04.К3533А, який представлений на рисунку 2.10-в. Зусилля штампування становить 2 МН. [14]

Для вирізання отвору горловини застосовується ручне кисневе різання. Отвір, що вирізається, має діаметр 906 мм. Розмічування отвору виконують за допомогою пензля та циркуля по металу з використанням крейдового розчину. Як газу застосовується кисень згідно з ГОСТ 5583-78 і пропан згідно з ГОСТ 20448-90. Як різак застосовується різак «Полум'я» з використанням зовнішнього мундштука № 1. Витрата кисню становить 2,5... 5 м³/год. Витрата пропану становить 0,3... 0,4 м³/год. Тиск кисню у системі становить 3 кгс/см². Швидкість різання становить 15 м/год.

Після виконання зварних швів на виробі проводиться операція зачищення та шліфування зварних швів, у яких знімають підсилення. Ці операції

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		28

механізовані і при їх виконанні застосовується пневматичний інструмент та електричний інструмент. Для зачищення зварних швів та зняття підсилення застосовується кутова шліфувальна машинка, представлена на рисунку 2.12. Для зачищення застосовується зачисний круг діаметром 300 мм.



Рисунок 2.12 – Конструкція кутової шліфувальної машинки

У корпусі вмонтований електричний двигун обертання, ручка забезпечена пусковим механізмом, що здійснює увімкнення обертання шліфувального круга. Шліфувальний круг закривається кожухом. При натисканні на вимикач відбувається включення машини. Регулювання швидкості обертання забезпечується регулятором.

2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

Для механізації вантажних робіт застосовується мостовий кран з вантажопідйомністю 5 тонн та набори строп, які дозволяють закріплювати та переміщати площею цеху складові елементи цистерни: обичайки, днища, хвилерізи.

Базовий технологічний процес складання та зварювання цистерни передбачає виконання операцій у такій послідовності. Перша операція – вхідний контроль. Друга операція – вирізання заготовок для виконання обичайок, днищ та хвилерізів. Третя операція – вальцювання обичайок. Четверта операція – штампування днища. П'ята операція – складання та прихоплення (заготовок днищ, обичайок по поздовжньому стику, обичайок

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		29

між собою, хвилерізів до корпусу цистерни, днищ з корпусом цистерни). Шоста операція – зварювання (хвилерізів з днищем, днищ, поздовжніх швів обичайок, хвилерізів, кільцевих швів). Сьома операція – вирізка отвору горловини. Восьма операція – контроль якості.

Виготовлення обичайок та заготовок днищ виконується з листового прокату. При вхідному контролі матеріалів слід провести візуальний огляд листів з обох боків. На поверхні листів не допускається наявність тріщин, раковин, розривів та здуття. Якщо на поверхні листа виявлені дефекти, їх необхідно усунути механічним способом за умови, що товщина листа не зменшиться більш ніж на 0,25 мм.

Обрізані кромки листа не повинні мати тріщин, розшарування та розривів. Наявність неприпустимих дефектів визначається візуально без додаткових приладів. Контроль товщини листа виконують на кожному десятому листі.

Для виконання складальних операцій необхідно застосувувати підйомно-транспортні механізми. Складання повинно забезпечувати розташування елементів відповідно до вимог креслення. При цьому, величина проміжків повинна бути не більше 1 мм, а зміщення кромок - не більше 0,5 мм. Складання елементів необхідно виконувати у послідовності, яка забезпечує вільний доступ до виконання зварювальних робіт. Складання слід виконувати із застосуванням спеціалізованих пристроїв і прихоплень. Параметри режиму виконання прихоплень відповідають параметрам режиму виконання зварних швів. Зварювання кільцевих та поздовжніх швів слід виконувати безперервним швом.

Для вирізання отвору горловини застосовується ручне роздільне кисневе різання. Отвір, що вирізається, має діаметр 906 мм. Розмітку отвору виконують за допомогою пензля та циркуля по металу з використанням крейдового розчину. Як газу застосовується кисень згідно з ГОСТ 5583-78 і пропан згідно з ГОСТ 20448-90. Як різак застосовується різак «Полум'я» з

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		30

використанням зовнішнього мундштука № 1. Витрата кисню становить 2,5...5 м³/год, Витрата пропану становить 0,3...0,4 м³/год. Тиск кисню у системі становить 3 кгс/см². Швидкість різання становить 15 м/год.

Після виконання зварних швів їх слід зачистити від напливів та нерівностей. Після виконання кожного зварного шва необхідно здійснити його огляд. Не допускається наявність у зварному шві тріщин, пропалів, шлакових включень та непроварів. У разі виявлення дефекту, слід вирубати дефектне місце і заварити його повторно, після чого виконати контроль якості. При цьому не допускається виправлення дефектів в одному місці понад два рази.

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями

До цього часу немає єдиної думки щодо небезпеки впливу залишкових зварювальних напружень у різних видах сталевих конструкцій на їхню працездатність, надійність і довговічність. Це можна пояснити великою різноманітністю зварних конструкцій, характеристик сталей, що зварюються, типів зварних з'єднань, а також різноманітністю технологій зварювання та зварювальних матеріалів, які вносять специфічні особливості в процес утворення зварювальних напружень і деформацій. Зазначене розмаїття зварних конструкцій та технологій їх виготовлення поки що не дозволило виробити однозначних критеріїв для оцінки необхідності зняття залишкових напружень перед здачею конструкцій в експлуатацію. З одного боку, багаторічна успішна експлуатація в усьому світі мільйонів тонн багатьох типів зварних сталевих конструкцій без зняття в них залишкових зварювальних напружень дозволяє зробити висновок, що експлуатаційні властивості конструкцій та їх працездатність не залежать від власних напружень, хоча відомо, що такі напруження можуть досягати межі плинності сталі. Але, водночас, відомий негативний вплив залишкових напружень на втомну міцність і довговічність конструкцій. [15]

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		31

В основі забезпечення працездатності зварних конструкцій без попереднього зняття в них зварювальних напружень лежить явище релаксації напружень під дією зовнішніх навантажень. Сприятлива релаксація залишкових напружень відбувається у тих випадках, коли у вузлах конструкції забезпечується свобода для виникнення пластичних деформацій металу в напружених зонах зварних з'єднань. Під дією сумарного впливу зовнішніх і внутрішніх напружень знімаються піки залишкових напружень, вони вирівнюються в робочому перерізі і стають безпечними для успішної експлуатації конструкції під дією робочих навантажень. І, навпаки, у вузлах конструкції високої жорсткості, де мають місце об'ємні зварювальні напруження, в зонах дефектів, які є концентраторами деформацій, а також при низьких температурах, релаксація напружень дуже ускладнена, що може призводити до зародження тріщин при сумарному впливі зовнішніх і внутрішніх напружень. У таких випадках необхідно вживати заходів щодо зниження рівня внутрішніх напружень в конструкції до того, як вона навантажуватиметься зовнішніми навантаженнями.

Причиною різного підходу до оцінки небезпеки зварювальних напружень є складність апарату з їхнього дослідження, вимірювання, визначення величини та характеру розподілу полів напружень у робочому перерізі, а також оцінки їх фактичного впливу на роботу конкретної зварної конструкції. Проте, останніми роками знаходить дедалі ширше застосування сучасна апаратура вимірювання залишкових напружень. Для вимірювання та візуалізації полів залишкових напружень у металі, зварних швах та навколошовній зоні знаходить застосування магнітоанізотропний сканер-дефектоскоп. Після комп'ютерної обробки результатів сканування досліджуваної області конструкції на дисплей виводяться картографи розподілу механічних напружень, а також зони концентрації напружень. Ступінь небезпеки дефектів зварних з'єднань наочно ілюструється на номограмах із визначенням коефіцієнтів концентрації напружень. Такий метод контролю якості зварних з'єднань дозволяє отримувати

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		32

достовірні об'єктивні дані про наявність та ступінь небезпеки дефектів, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо необхідності їх видалення та виконання ремонтних робіт. Сканер-дефектоскоп застосовний також для оцінки ступеня зняття залишкових напружень після відповідної обробки. [16]

Висока продуктивність і достовірність при оцінці рівня остаточних напружень забезпечується в зварних конструкціях методом лазерної інтерферометрії, який дозволяє визначити параметри двохосного напруженого стану в зварному шві і зонах термічного впливу. Цей метод передбачає засвердлювання металу в контрольних точках конструкції діаметром 2...5 мм на глибину 2...3 мм. Параметри двостороннього напруженого стану визначають безконтактним оптичним методом лазерної інтерферометрії за вимірюванням переміщення кромки отворів, що виникають під впливом остаточних напружень. Після завершення процедури вимірювання полів напружених локальних зон, засвердлювання металу підлягають заварюванню за спеціально розробленою технологією. Така методика визначення залишкових напружень в зварних конструкціях реалізується за допомогою інтерферометра «ДОН-5ЦЗ».

Традиційним методом зниження залишкових зварних напружень в сталевих конструкціях є термообробка в режимі високого відпуску. Основний позитивний вплив такої обробки на працездатність і надійність зварних конструкцій полягає у відновленні пластичності металу в зонах концентрації деформацій, зокрема, в зонах дефектів зварних з'єднань.

Відомо, що на величину залишкових напружень істотно впливає технологія зварювальних робіт. У багатьох випадках застосування лише попереднього підігріву до 160 ... 200 °С дозволяє знизити напруження до рівня, що не потребує термооброблення.

При автоматичних та механізованих способах зварювання, застосуванні порошкових дротів, які забезпечують значно менше тепловкладання і більш високу швидкість зварювання, ніж ручне дугове зварювання, значно зменшується об'єм металу, що нагрівається до високих температур, внаслідок

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		33

чого значно знижуються деформації та кількість накопиченої енергії від залишкових напружень.

Дуже ефективним способом зниження зварювальних деформацій і підвищення надійності конструкцій є вибір геометрії обробок кромek деталей, що з'єднуються, це забезпечує мінімальну площу перерізу обробки. При цьому знижуються маса наплавленого металу в зварному шві та накопичена енергія від зварювальних напружень. [17]

При розгляді впливу технологій зварювання на формування полів залишкових напружень особливе місце займають методи однопрохідного зварювання, такі, як зварювання з примусовим формуванням шва і зварювання поперечною гіркою. Спільним для цих методів є відсутність кутових деформацій і, відповідно, сприятливіший, рівномірний розподіл напружень по товщині металу. Зварювання з примусовим формуванням шва забезпечує ідеальну зовнішню форму шва з мінімальною концентрацією напружень, відповідно і піки напружень в зонах з'єднань шва з основним металом значно нижчі, ніж при ручному дуговому зварюванні. При зварюванні поперечною гіркою кожен наступний поперечний шар зварного шва знімає напруження з раніше виконаного шару. Така технологія набула широкого застосування при автоматичному зварюванні листових конструкцій.

Сучасні технології зварювання навіть товстостінних конструкцій із якісних високоміцних сталей забезпечують одержання зварних з'єднань, що не потребують термічної обробки. Відповідні дослідження показали, що попередній підігрів до 150...200 °C і обрані режими зварювання забезпечують отримання зварних з'єднань високої якості в стиках посудин високого тиску з високоміцних сталей категорії міцності K65 (X80) товщиною 40 мм.

1. Для забезпечення високої якості робіт з врізання люків, горловин та патрубків у листи стінки, технологічні операції з вирізування отворів, зварювання, подальшої обробки та контролю якості рекомендується виконувати у заводських умовах у зручному просторовому положенні з використанням

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		34

сучасних технологій та обладнання. Для збереження проектної геометричної форми листа стінки його слід закріпити в раму жорсткості.

2. Геометрична форма, кути розроблення кромки та зазори в стиках повинні бути мінімально необхідними для їх проплавлення та для отримання мінімальної площі перерізу зварних швів.

3. Забезпечити високу точність операцій з розмічування та вирізування отворів у листах стінки та підготовці розроблень кромки під зварювання, а також складання вузлів. Зварювання візань люків і патрубків виконувати порошковим або металопорошковим дротом у захисному газі, що забезпечують мінімальне тепlopokладання при зварюванні.

4. При товщині листів стінки більше 14 мм виконувати попередній підігрів зони з'єднань стінки з люком, що вварюється, або патрубком до 150...200 °C при ширині зони нагріву в обидві сторони від стику не менше 100 мм.

5. При товщині листів стінки від 15 до 25 мм виконувати пошарову ультразвукову ударну обробку зварних швів урізань люків та патрубків у листи стінки за винятком кореневого та облицювального шарів. Таким же чином обробити зварний шов, що з'єднує підсилюючий комір, до листа стінки. Технологія ультразвукової ударної обробки має бути атестована.

6. При товщині стінки більше 25 мм, після завершення зварювання, контролю якості та усунення виявлених дефектів, виконати низькочастотну віброобробку (НВО) всього фрагменту стінки з ввареними патрубками або люками, що підсилюються листами. Технологія НВО має бути атестована. Після завершення НВО виконати магнітопорошковий контроль вузла стінки із ввареними люками або патрубками.

7. Після завершення зварювальних робіт, обробки та контролю якості зварних з'єднань звільнити виготовлений вузол від рами жорсткості без пошкодження металу стінки та виконати контроль геометричних параметрів блоку.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		35

8. Виконати антикорозійний захист виготовленого вузла, відповідно до вимог проекту, його приймання та пакування для відправлення на монтажний майданчик. [16]

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку

При контролі якості виконують 100% візуальний огляд зварних швів, перевіряючи відсутність браку зачищення, правильність складання та наявність зовнішніх дефектів зварного шва. При візуальному огляді не допускається наявність таких дефектів, як непровари в корені шва, подрізи глибиною понад 2 мм, поверхневі пори діаметром понад 2 мм, напливи, увігнутість шва. Зварний шов повинен мати плавний перехід до основного металу. Для проведення візуального контролю застосовується набір, який представлений на рисунку 2.13 і включає: металеві лінійки, штангенциркуль з глибиноміром, універсальний шаблон зварювальника, набір луп, ліхтарик, інструкцію РД 03-606-03, металевий косинець, щупи і радіусні шаблони, маркер по металу.



Рисунок 2.13 – Набір для візуального контролю

Для перевірки цистерни на герметичність застосовують газовий метод контролю протікання. Сутність методу ось у чому. Газ під тиском подають всередину цистерни, а зовні покривають контрольовану поверхню мильним розчином. Під тиском газ проходить через наскрізні дефекти і виявляє місце їх залягання бульбашками. У цьому випадку можливе виявлення дрібних дефектів.

Зварену цистерну за допомогою мостового крана поміщають на кантувач КД-1 і подають до неї стиснуте повітря під тиском 4 атм. На зварні шви наносять розчин, що складається з 1 літра води та 50 грамів мила. У місці залягання

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		36

наскрізного дефекту відбувається утворення бульбашок. Дефектне місце слід відзначити крейдою. Після цього скидають надлишковий тиск у цистерні та відключають її від установки подачі стиснутого повітря. [16]

При виявленні дефекту проводять його зачищення та підварювання. Після виправлення дефектів слід провести повторне випробування на герметичність. Допускається виправлення дефектів в одному місці не більше двох раз. В іншому випадку дефектна цистерна підлягає утилізації. Категорично забороняється виконання зварювальних робіт до стравлювання стиснутого повітря із цистерни.

					КРБ.3Т-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		37

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Компонування складальних та зварювальних установок

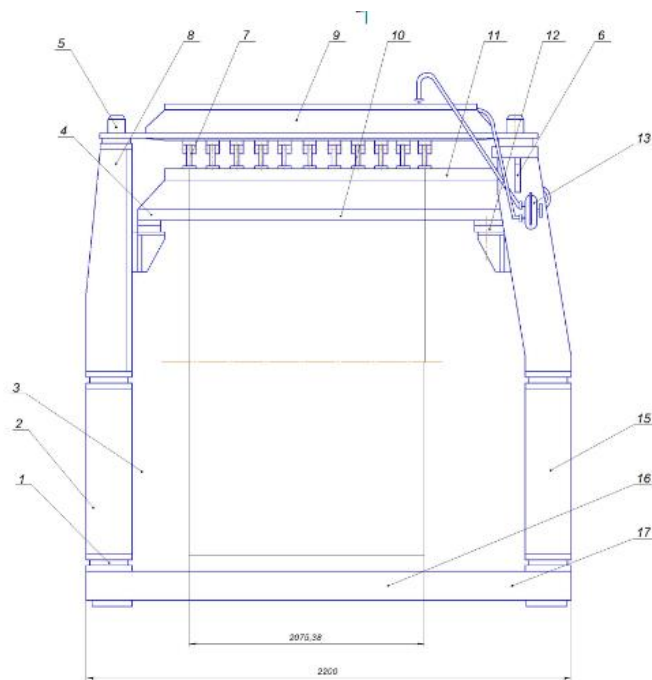
В серійному виробництві ємкостей еліптичної форми спеціалізованих транспортних засобів, за умов серійного виробництва для здійснення складально-зварювальних технологічних процесів зазвичай використовуються спеціальні установки, в яких під час виконання автоматичного зварювання під флюсом стиків днищ з обичайками реалізується обертання ємності, чим забезпечується постійна швидкість зварювання у нижньому положенні. Прикладом такої установки є зварювальний верстат з маніпулятором, обладнаний спеціальним копіювальним механізмом, кінематикою якого повністю вирішується завдання забезпечення автоматичного зварювання у нижньому положенні. [17]

Складена на прихопленнях ємність 7 закріплюється в центрах спеціального хиткого пристрою, завдяки якому повздовжня вісь ємності може переміщатися в просторі, рухаючись паралельно самій собі. Пристрій складається із скоби 2, що хитається, із затискними центрами, якими утворюються передня та задня бабки обертача, повздовжнього вала 1 з двома важелями, шарнірно пов'язаними із скобою 2, вантажу 8, який з'єднується тросом з третім важелем повздовжнього вала 9 і таким чином врівноважується маса хиткої скоби 2 з виробом і полегшується її переміщення в просторі. Обертання овальної зварюваної ємності 7 забезпечується за допомогою фрикційної передачі, яка складається з двох ведучих роликів 4, 5 та одного веденого шківів – копірного шаблону 3, форма якого повторює контур поперечного перерізу ємності 7 і, відповідно, овального зварного шва. Шаблон 3 закріплюється на одному валу з затискним пристроєм центрів хиткої скоби 2, а отже, і із зварюваною ємністю 7 під час її зварювання. Оскільки ведучі ролики 4 і 5 приводного механізму обертаються з постійною

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		38

Потім зворотним поворотом балки консоль повертається в робочий стан і за допомогою рукоятки 13 вільний кінець консолі підпирається поворотною опорою 12 (ексцентриковим кулачком). Обертання маховичка 6 підйомного механізму балка 11 разом із зварюваною обичайкою 14 підводиться і щільно прискається до верхніх контр балок 9, після чого обичайка зварюється. Станина затискного пристрою формується контр балками 9, пов'язаними колонами 3 і 15 з фундаментною рамкою 17. [18]

Механізм підйому балки і затискання обичайки діє таким чином. Під час обертання маховика 6 гвинта 4, забезпеченого правою і лівою нарізками по кінцях, обидві гайки 5 зближуються, повертаються важелі 7 навколо нерухомих осей 8 і, як наслідок, піднімається балка 11, підвішена на важелях 7. (рис.3.2). [18]



1 – вісь колони; 2 – поворотна колона; 3, 15 – колона; 4 – гвинт; 5 – гайка; 6 – маховик; 7 – важіль; 8 – вісь важеля; 9 – верхня контр балка; 10 – поворотна консоль; 11 – підйомна балка; 12 – ексцентрик; 13 – рукоятка; 14 – обичайка; 16 – піддон-флюсозбірник; 17 – рама

Рисунок 3.2 – Затискний пристрій для зварювання повздовжніх швів обичайок еліптичної цистерни

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		40

3.2 Розробка плану цеху

При схемі з поздовжньо-поперечним напрямком виробничого потоку частина його систематично переміщається з одного прольоту в інший і назад, тобто в поперечному напрямі, а основний напрямок збігається із напрямком, заданим на плані заводу. Поздовжні переміщення складальних одиниць, деталей, виробів здійснюються рейковими коліями. Поперечні переміщення виконуються підйомно-транспортним обладнанням [14]. Типова схема з поздовжньо-поперечним напрямком виробничого потоку приведена на рисунку 3.3. [19]

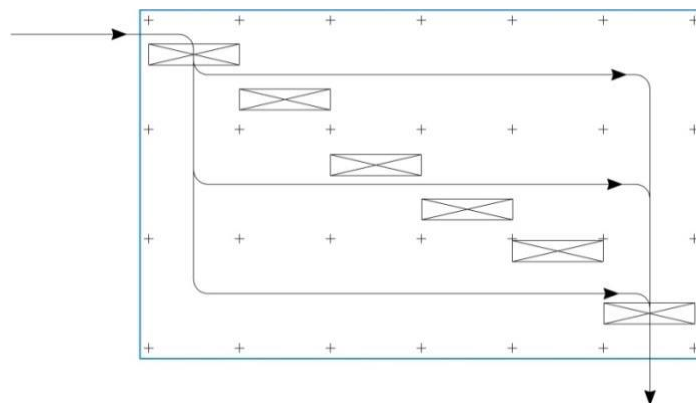


Рисунок 3.3 - Типова схема з поздовжньо-поперечним напрямком виробничого потоку

За схеми з петлевым напрямком виробничого потоку, напрямок виробничого потоку в цеху виконується у протилежний бік лише один раз (частковий випадок схеми з хвильовим напрямом виробничого потоку). Відмінною особливістю даної схеми є один шлях для ввезення та вивезення. Склад готової продукції та склад для металу розташовуються поруч. (рис. 3.4).

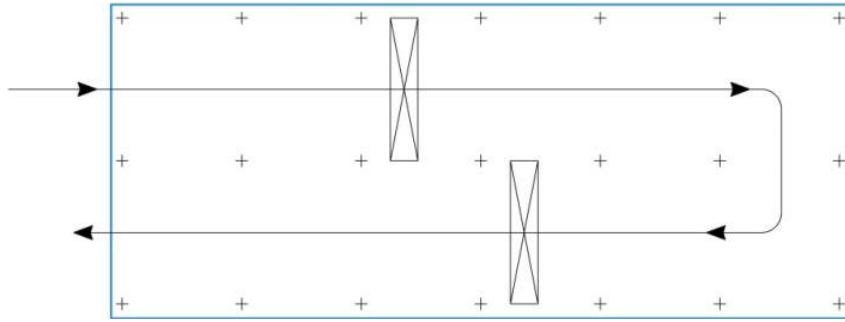


Рисунок 3.4 - Типова схема з петлевим напрямком виробничого потоку

У заготівельному відділенні спеціалізація прольотів виконується за групами сортаменту металу, що використовується. У складально-зварювальному відділенні прольоти спеціалізуються з виготовлення різних складальних одиниць виробу. Можливе застосування кільцевої (замкнутої) системи конвеєрів [4]. Схема з петлевим напрямом виробничого потоку приведена на рисунку 3.4. [19]

Враховуючи різні види виробничих потоків, норм та правил облаштування виробничих ділянок, обґрунтовано обравши основне зварювальне обладнання та оснастку, розробили план виробничої ділянки для виготовлення ємкості, що використовується для транспортування бітуму (рис.3.5).

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		42

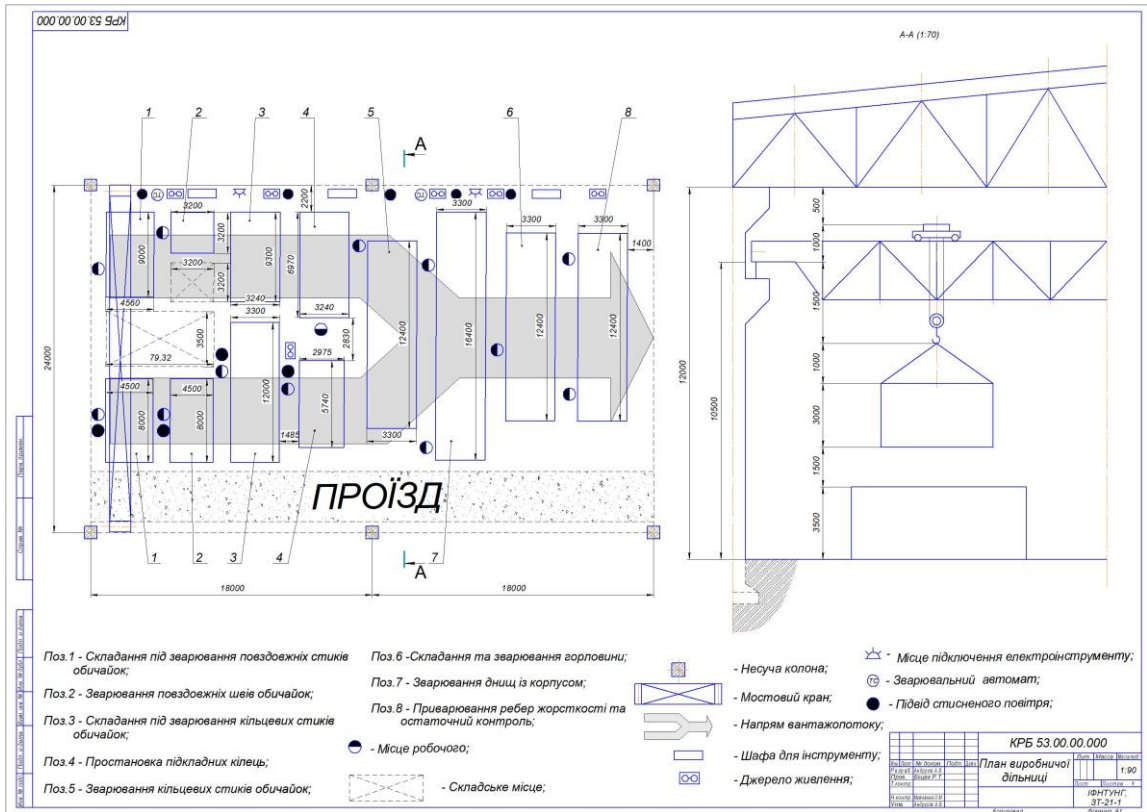


Рисунок 3.5 – План виробничої дільниці для виготовлення ємкості, що використовується для транспортування бітуму

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

4.1 Аналіз виявлених шкідливих факторів проектованої ділянки

При виконанні зварювання на працівників ділянки можуть впливати шкідливі та небезпечні виробничі фактори: підвищена загазованість та запиленість повітря робочої зони; ультрафіолетове, інфрачервоне та видиме випромінювання зварювальної дуги, а також інфрачервоне випромінювання зварювальної ванни та металу, що зварюється; виробничий шум; статичне навантаження на руку; електричний струм; локальна вібрація.

4.1.1 Запиленість та загазованість повітря робочої зони

При цьому процесі зварювання повітря робочої зони виділяється до 180 мг/м³ пилу із вмістом у ньому марганцю до 13,7 відсотків (ГДК 0,1-0,2 мг/м³), і навіть СО² до 0,5-0,6 відсотків; до 160 мг/м³; оксидів азоту до 8,0 мг/м³; озону до 0,36 мг/м³ (ГДК 0,1 мг/м³); оксидів заліза - 7,48 г/кг, оксиду хрому - 0,02 г/кг (ГДК 1 мг/м³) [20].

Аерозоль, що утворюється при зварюванні, характеризується дуже дрібною дисперсністю – понад 90% частинок, швидкість витання частинок менше 0,1 м/с.

Джерелом виділення шкідливих речовин також може бути фарба, ґрунт або покриття, що знаходяться на кромках деталей, що зварюються і потрапляють у зону зварювання. Для зменшення виділення шкідливих речовин поверхні деталей, що зварюються, повинні зачищатися від ґрунту та покриття по ширині не менше 20 мм від місця зварювання.

Автотранспорт, який використовується для перевезення заготовок та готових виробів, викидає в атмосферу цеху небезпечні для здоров'я робочих речовини, до них відносяться: свинець, чадний газ, бензопірен, леткі вуглеводні.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		44

Характер впливу пилу на організм людини залежить від його хімічного складу, що визначає біологічну активність пилу.

За цією ознакою пил поділяють на пил подразнюючої дії та токсичний. Потрапляючи в організм людини, частки такого пилу взаємодіють з кров'ю та тканинною рідиною, і в результаті проходження хімічних реакцій утворюють отруйні речовини.

Окремі види пилу можуть розчинятися у воді та біологічних рідких середовищах: крові, лімфі, шлунковому соку, що може мати як позитивні, і негативні наслідки.

Медико-біологічні дослідження показали безпосередній зв'язок між кількістю, концентрацією, хімічним складом пилу в робочій зоні та професійними захворюваннями, що виникають у працівників. Тривала дія пилу на органи дихання може призвести до професійного захворювання-пневмоконіозу. Пневмоконіоз характеризується розростанням сполучної тканини у дихальних шляхах.

Поряд з пневмоконіозом, найчастішим захворюванням, викликаним дією пилу є бронхіт. У бронхах накопичується мокротиння, і хвороба хронічно прогресує.

Пил, що потрапляє на слизові оболонки очей, викликає їх роздратування, кон'юнктивіт. Осідаючи на шкірі, пил забиває шкірні пори, перешкоджаючи терморегуляції організму, і може призвести до дерматитів, екземів. Деякі види токсичного пилу (сода, миш'яку, карбід у кальцію) при попаданні на шкіру викликають хімічні подразнення і навіть опіки [20].

На ділянці збирання та зварювання виготовлення корпусу цистерни застосовуємо загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію та місцеву витяжну. Кожне робоче місце обладнується витяжним відсмоктувачем-парасолькою, відкритою конструкцією, всмоктуючий отвір якої наближений до джерела виділень. Середня швидкість повітря, що надходить у отвір становить 0,2-0,5 метри на секунду.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		45

4.1.2 Виробничий шум

Джерелами шуму під час виробництва зварної цистерни є:

- зварювальні напівавтомати;
- поворот зварювальної колони, порталу;
- переміщення складально-зварювальної оснастки;
- вентиляція;
- зварювальна дуга;
- слюсарний інструмент.

Шум виникає також при кантуванні виробу за допомогою підйомно-транспортних пристроїв та при припасуванні деталей за місцем за допомогою кувалди та молотка.

Шум несприятливо впливає на працюючого: послаблює увагу, збільшує витрату енергії при однаковому фізичному навантаженні, уповільнює швидкість психічних реакцій, у результаті знижується продуктивність праці та погіршується якість роботи [20].

Заходи боротьби з шумом.

Для зниження шуму, що створюється обладнанням, це обладнання слід поміщати в звукоізолюючі корпуси. Вентиляційне обладнання слід встановлювати на віброізолюючі основи, а вентилятори слід встановлювати в окремі звукоізолюючі приміщення.

Для захисту органів слуху від шуму рекомендується використовувати протишумові навушники за ГОСТ Р 12.4.210-99.

На даній ділянці використовуємо віброізолюючі підставки для захисту від шуму вентиляційного обладнання, вентилятори встановлені в окремі звукоізолюючі приміщення.

4.1.3 Статичне навантаження на руку

При зварюванні в основному має місце статичне навантаження на руки, внаслідок чого можуть виникнути захворювання нервово-м'язового апарату

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		46

плечового пояса. Зварювальні роботи належать до категорії фізичних робіт середньої тяжкості з енерговитратами 172-293 Дж/с (150-250 ккал/год) [20].

Навантаження створює потребу тримати протягом тривалого часу в руках зварювальний пальник (вагою від 3 до 6 кг), при проведенні зварювальних робіт, необхідність притримувати деталі при встановленні та виконанні прихоплень і т.д. Для зниження навантаження застосовується зварювальна колона з підвісною зварювальною головкою, призначена для зварювання поздовжніх та кільцевих швів обичайки в автоматичному режимі.

4.1.4 Вібрація

Вібрація є механічним коливальним рухом, найпростішим видом якого є гармонійне (синусоїдальне) коливання. За способом передачі прийнято розрізняти локальну вібрацію, що передається через руки (при роботі з ручними машинами, органами управління), і загальну що передається через опорні поверхні.

За джерелом виникнення локальні вібрації поділяються на ті що передаються від: ручних машин з двигунами (або ручного механізованого інструменту), органів ручного управління машинами та обладнанням; ручних інструментів без двигунів (наприклад, рихтувальні молотки різних моделей) та оброблюваних деталей. [20].

4.1.5 Забезпечення необхідного освітлення на ділянці

Для освітлення використовуємо лампи, що мають високу світловіддачу, тривалий термін експлуатації, спектр випромінювання люмінесцентних ламп близький до спектру природного світла. Лампи встановлюють у світильник, освітлювальна арматура якого повинна забезпечувати кріплення лампи, приєднання до неї електроживлення, запобігання її від забруднення та механічного пошкодження. Підвіска світильників має бути жорсткою.

Система загального освітлення складально-зварювальної ділянки повинна складатися з 9 світлодіодних світильників потужністю 250 Вт, розміщених у 3 ряди по 3 світильники.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		47

4.2 Аналіз виявлених небезпечних факторів проектного виробничого середовища

1. Ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне випромінювання зварювальної дуги, а також інфрачервоне випромінювання зварювальної ванни та зварюваного металу.

У виробничій обстановці робітники, перебуваючи поблизу розплавленого або нагрітого металу, гарячих поверхонь піддаються дії теплоти, що випромінюється цими джерелами. Променевий потік теплоти, крім безпосередньої дії на робочих, нагріває підлогу, стіни, обладнання, внаслідок чого температура всередині приміщення підвищується, що погіршує умови роботи.

Горіння зварювальної дуги супроводжується випромінюванням видимих сліпучих яскравих світлових променів і невидимих ультрафіолетових і інфрачервоних променів. Видимі промені засліплюють, тому що яскравість їх перевищує фізіологічну переносиму дозу. Короткі ультрафіолетові промені навіть при короткочасному впливі можуть викликати електроофтальмію.

Інфрачервоні промені головним чином мають тепловий ефект, їхня інтенсивність залежить від потужності дуги. Теплової радіація на робочому місці може загалом становити 0,5-6 кал/см²·хв [21].

4.2.1 Захист від зварювальних випромінювань

Для захисту очей та обличчя зварювальників використовуються спеціальні щитки та маски за ГОСТ 12.4.023. Для захисту очей від видимої частини спектру випромінювання, ультрафіолетових та інфрачервоних променів в окулярах та масках повинні застосовуватися захисні світлофільтри. Марка світлофільтра вибирається залежно від сили зварювального струму.

Маска з фібри захищає обличчя, шию від бризок розплавленого металу та шкідливих випромінювань зварювальної дуги.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		48

Спецодяг за ГОСТ 12.4.250-2013 – костюм та штани, а також рукавиці, виготовляються з брезенту та служать для захисту тіла та рук від бризок зварювання та теплового випромінювання.

Для захисту ніг зварювальників використовують спеціальні черевики, що виключають попадання іскор та крапель розплавленого металу. Для захисту рук від бризок та променевої енергії застосовують брезентові рукавиці. Щоб уникнути затікання розпечених бризок, костюми повинні мати гладкий крій, а штани потрібно носити навипуск. [21].

4.2.2 Електричний струм

На даній ділянці використовують різне зварювальне обладнання. Його робота здійснюється при підключенні до мережі змінного струму з напругою 380 В. Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання передбачено ГОСТ 12.2.003 – 81. У них визначено вимоги до основних елементів конструкцій, органів управління та засобів захисту, що входять до конструкції виробничого обладнання будь-якого виду та призначення.

4.2.3 Електробезпека

На ділянці збирання та зварювання застосовуються штучні заземлювачі – вертикально забиті сталеві труби завдовжки 2,5 метри та діаметром 40 мм. Опір заземлювального пристрою повинен бути не більше 4 Ом.

На ділянці використовується контурне заземлення – по периметру площі розміщують оцінні заземлювачі. Застосовуємо для заземлення вертикально забиті труби завдовжки 2 м і діаметром 50 мм.

Для зв'язку вертикальних заземлювачів використовують смугову сталь перерізом 4x12 міліметрів. [21].

4.2.4 Розробка методів захисту від шкідливих та небезпечних факторів

Для захисту тіла застосовуються вогнестійкий спецодяг (костюми брезентові або бавовняні з вогнестійким просоченням).

Для захисту працюючих від рухомих механізмів передбачено наступне:

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		49

- проходи: між обладнанням, рухомими механізмами та деталями, що переміщуються, а також між постами – не менше 1 м; між автоматичними зварювальними постами – не менше 2 м.;

- вільна площа на один зварювальний пост – не менше 3 м²;

- при експлуатації підйомно-транспортних пристроїв огороження всіх рухомих і обертових частин механізмів;

- правильна фіксація корпусу цистерни на пристроях, а також контроль за правильністю стропування;

- контроль за своєчасністю атестації оснащення, вантажопідйомних засобів та стропів. [21]

					КРБ.3Т-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		50

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі бакалавра вирішені питання підвищення ефективності виготовлення ємностей для транспортування бітуму.

Аналіз базової технології дозволив встановити недоліки, усунення яких дозволило підвищити продуктивність і якість виконання зварювальних робіт при виготовленні цистерни для транспортування бітуму.

Аналіз базової технології дозволив встановити недоліки, усунення яких дозволить підвищити продуктивність та якість виконання зварювальних робіт при виготовленні цистерни. Першим недоліком є застосування застарілого зварювального обладнання. Другим недоліком є мала ступінь механізації та автоматизації основних та допоміжних операцій базового технологічного процесу складання та зварювання корпусу цистерни.

У роботі запропоновано застосовувати зварювальний автомат зі зварювальною головкою ESAB A6S Compact 500 з маніпулятором, обладнаний спеціальним копювальним механізмом, кінематикою якого повністю вирішується завдання забезпечення автоматичного зварювання у нижньому положенні.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		51

Список використаних джерел

1. Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник / Г.О.Кривов, К.О.Зворикін. - К.: КВІЦ, 2012. - 896 с.Петров О. Зварювання металів. - Київ, Видавництво "Техніка", 2010. - 320 с.
2. Васильєв М. Основи технології зварювання. - Львів, Видавництво "Світ", 2015. - 256 с.
3. Виробництво зварних конструкцій: Практикум (Частина 1) [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технології та інжиніринг у зварюванні» / К. О. Зворикін, В. О. Гаєвський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 114 с.
4. Мельник Л. Зварювальні технології металів та сплавів. - Київ, Видавництво "Наукова думка", 2012. - 416 с.
5. Виробництво зварних конструкцій-4. Проектування засобів механізації зварювального виробництва. Курсовий проект: рекомендації до виконання [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.В. Лисак - Електронні текстові дані (1 файл: 0,64 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 35 с.
6. Обладнання хімічних виробництв: конспект лекцій / укладач М. П. Юхименко. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 119 с.
7. Сливінський О.А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів: Навч. посібник. – К.:НТУУ «КПІ», 2010. – 260 с.
8. Черній О. Зварювання конструкцій зі сталі. - Харків, Видавництво "Основа", 2017. - 368 с.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		52

9. Володимиров В. Зварювання. Технологія та обладнання. - Київ, Видавництво "Академвидав", 2014. - 224 с.
10. Хвалько О. Електрозварювання. - Львів, Видавництво "Світ", 2019. - 288 с.
11. Величко Г. Технологія зварювання. - Київ, Видавництво "Видавничий дім "Університетська книга", 2016. - 352 с.
12. Ігнатенко І. Зварювальні роботи: технологія і організація. - Харків, Видавництво "Основа", 2018. - 416 с.
13. Марчук В. Зварювання металоконструкцій. - Київ, Видавництво "Техніка", 2013. - 288 с.
14. Жуков О. Зварювання та контроль якості зварювання. - Київ, Видавництво "Логос", 2011. - 352 с.
15. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві [Текст]: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с. – ISBN 966-8458-58-3.
16. Проектування технологічних процесів зварювального виробництва: Практичні заняття [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технології та інжиніринг у зварюванні» / К. О. Зворикін, В. О. Гаєвський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,27 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 87 с.
17. Яворський А.В. Контроль якості зварювання: Конспект лекцій/ А.В. Яворський, В.Д. Миндюк - Івано-Франківськ: Факел, 2006. – 21-56 с.
18. Технологічне проектування виробничих площ [Електронний ресурс]. - Електронні метод. вказ. до практичних занять, домашньої контрольної та самостійної роботи з кредит. модулю для студ. спеціальності 131 “Прикладна механіка” спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр / Уклад.: В.О. Гаєвський. – К.: 2017. – 37 с.

					КРБ.ЗТ-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		53

19. Dilthy U., Reisgen U., Stenke V. Schutgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // Schweissen und Schneiden. 1995. № 2. P. 118–123.
20. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник / О.Г. Левченко. – К.: Основа, 2010 – 240 с.
21. Охорона праці та цивільний захист: Курс лекцій для студентів зварювальних спеціалізацій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій: «Технології та інжиніринг у зварюванні», «Автоматизовані технологічні системи у зварюванні», «Споріднені технології зварювання та ресурсозбереження»/ О. Г. Левченко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 5,84 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 370 с.

					КРБ.3Т-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		54

ДОДАТКИ

					КРБ.3Т-53.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		55