

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**Обґрунтування технології та параметрів**

**зварювання горизонтального резервуара**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МП<sub>М</sub>-62  
спеціальності \_\_\_\_\_

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Магеровський Д.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Барановський В.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Дячун А.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2023

Міністерство освіти і науки України  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

---

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
 Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)  
 «    »  
 Окіпний І.Б.  
(прізвище та ініціали)  
 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Магеровський Дмитро Богданович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування технології та параметрів зварювання  
 горизонтального резервуара

Керівник роботи Барановський Віктор Миколайович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «16» листопада 2023 року № 4/7-1057

2. Термін подання студентом завершеної роботи . 20.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: ескізний проект деталі, базовий процес виготовлення,  
 опорна планка

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина. 2. Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська  
 частина. 4. Проектна частина. 5. Безпека в надзвичайних ситуаціях, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів):  
схема горизонтального резервуара, базовий технологічний процес, технологічні карти

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>К.т.н., доц. Ткаченко І.Г.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Д.т.н., проф. Стадник І.Я.</i>		

7. Дата видачі завдання 16 листопада 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналітична частина</i>	16.11-20.11	
2	<i>Науково-дослідна частина</i>	21.11-30.11	
3	<i>Технологічно- конструкторська частина</i>	01.12-07.12	
4	<i>Проектна частина</i>	07.12-.11.12	
5	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	12.12-20.12	
6	<i>Графічна частина</i>	20.11-20.12	

Студент

---

  
(підпис)*Магеровський Д.Б.*

---

  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

---

  
(підпис)*Барановський В.М.*

---

  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магеровський Д.Б. Обґрунтування технології та параметрів зварювання горизонтального резервуара. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 131 Прикладна механіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2023.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення горизонтального резервуара.

Предметом дослідження є параметри процесу зварювання деталей горизонтального резервуара.

Метою цієї роботи є підвищення показників якості зварювання виробу.

Було розроблено технологічний процес виготовлення та зварювання горизонтального резервуара

**Ключові слова:** резервуар, процес, операції, параметри зварювання.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	9
1.1 Опис конструкції виробу та його характеристика .....	9
1.2. Відомості про основний метал .....	10
1.3 Зварюваність основного металу .....	12
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	14
2.1 Механізоване зварювання кореня шва .....	14
2.2 Механізоване зварювання заповнювальних шарів методом Innershield .....	24
2.3 Дослідження параметрів зварювання .....	26
3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	30
3.1 Вибір зварювальних матеріалів .....	30
3.2 Вибір типу зварних з'єднань, розмірів та підготовки кромки ...	31
3.3 Розрахунок режимів зварювання .....	33
3.4 Вибір зварювального обладнання .....	38
3.5 Загальний опис конструкції установки для гравітаційного зварювання .....	43
3.6 Розрахунок елементів оснащення .....	48
4. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА .....	55
4.1 Технічні умови виготовлення резервуара .....	55
4.2 Вибір способу зварювання .....	56
4.3 Технологія збирання та зварювання резервуара .....	58
4.4 Контроль якості .....	61
5. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ .....	65
5.1 Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	65
5.1.1 Аналіз та усунення потенційних небезпек та шкідливості технологічного процесу .....	65
5.1.2 Небезпека термічного опіку .....	67

5.1.3 Аналіз та заходи щодо запобігання надзвичайним ситуаціям	69
5.1.4 Забезпечення стійкості об'єкта .....	69
5.2 Охорона праці .....	70
5.2.1 Загальна характеристика проектного об'єкта з погляду безпечних умов праці .....	70
5.2.2 Об'ємно-планувальне рішення будівлі проектного ділянки	
5.2.3 Виробнича санітарія .....	72
ВИСНОВКИ .....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	75
ДОДАТКИ .....	78

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Зварювання – прогресивний метод створення нероз'ємних сполук металів, сплавів та різних матеріалів. Електричне дугове зварювання є видатним вітчизняним винаходом, яке може бути поставлене в один ряд з такими великими відкриттями, як радіо, електричні лампи розжарювання, реактивний двигун та ін.

В даний час зварювальне виробництво стало однією з провідних галузей техніки. У всіх галузях машинобудування широко застосовують високопродуктивні та економічно ефективні технологічні процеси зварювання, наплавлення, паяння, термічного різання та каналізації.

Особливі важливі завдання вирішуються в галузі подальшої механізації та автоматизації зварювання у машинобудуванні та будівництві. Механізація та автоматизація зварювального виробництва є найважливішим засобом підвищення продуктивності праці, підвищення якості зварних виробів та покращення умов праці.

В галузі зварювального виробництва трудові витрати на зварювальні роботи зазвичай 30%. Отже, підвищення продуктивності зварювальних робіт може дати суттєвий ефект.

**Метою роботи** є підвищення показників якості зварювання деталей горизонтального резервуара.

**Завдання дослідження:** обґрунтувати оптимальні параметри та ручного електродугового зварювання .

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес резервуара.

**Предмет дослідження** – параметри та режими роботи обладнання.

**Отримані результати.** Запропоновано технологію виготовлення резервуара та визначено параметри зварювання та режими роботи обладнання, яке виконує основні технологічні операції.

**Практичне значення.** Результати роботи можна застосовувати під час виготовлення деталей.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Окремі результати роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 2023 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

**Публікації.** Часткові результати досліджень за темою магістерської роботи опубліковано в 1 праці: збірник тез XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 2023 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається з вступу, 5 розділів пояснювальної записки, 2 додатків і списку використаних джерел з 25 найменувань. Основний зміст пояснювальної записки виконано на 74 сторінках, має 16 рисунків і 13 таблиць.



## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Опис конструкції виробу та його характеристика

Призначення та умови роботи. Горизонтальний циліндричний резервуар об'ємом 75 м<sup>3</sup>, що працює під тиском 0,2 МПа.

Призначений і використовується для зберігання різного роду рідких продуктів (хімічно нейтральних).

Резервуар являє собою посудину (рис. 1.1), що складається з:

- обичайок 1 – 8 шт. діаметром 2,86 м;
- патрубк 2 діаметром 700 мм;
- патрубк 3 діаметром 660 мм.

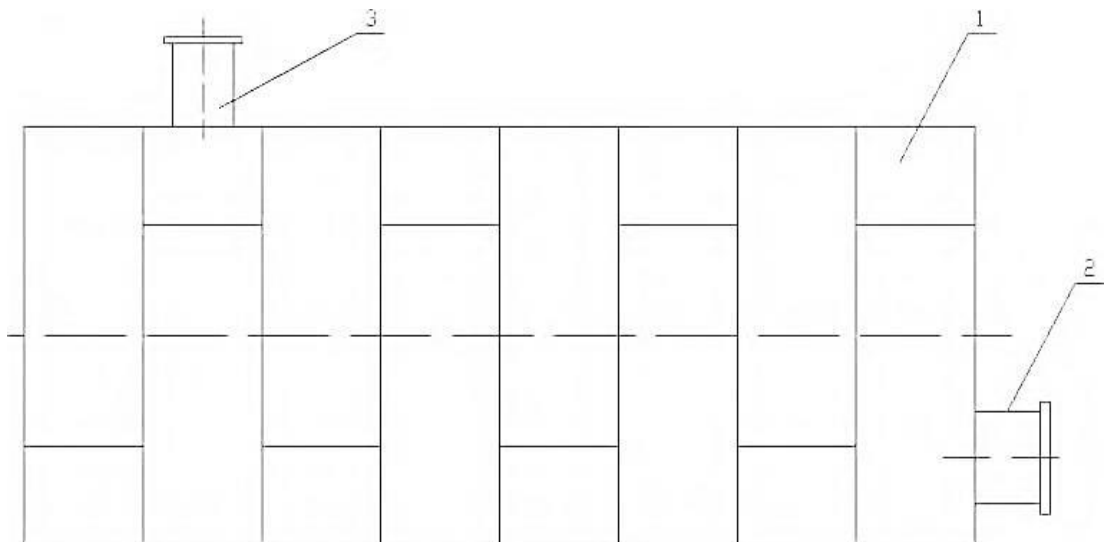


Рисунок 1.1 – Горизонтальний циліндричний резервуар

Умови роботи резервуару.

Резервуар працює під тиском 0,2 МПа, за нормальних температур від -20 до +40 °С. Навантаження на стінки корпусу – статичне.

Хімічна середовище – неактивне, швидкість руху рідини щодо внутрішньої поверхні досить низька. Тому тертям, яке виникає між частинками рідини та стінками корпусу резервуара можна знехтувати.

Найбільш небезпечний фактор, який може призвести до руйнування виробу – статичне навантаження.

Конструкція відноситься до відповідальних, оскільки до її герметичності висуваються високі вимоги.

Горизонтальні циліндричні резервуари встановлюються, як правило, на опорах.

## 1.2 Відомості про основний метал

Для виготовлення резервуару застосовуємо сталь ВСтЗсп ДСТУ 1030-74.

Хімічний склад сталі наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі ВСтЗсп ДСТУ 1030-74

Марка сталі	Вміст хімічних елементів, %							
	C	Mn	Si	Cr	Cu	Ni	S	P
ВТсЗсп	14-0,22	0,4-0,65	0,12-0,30	0,3	0,3	0,3	0,05	0,04

Виходячи з хімічного складу, СтЗсп відноситься до низьковуглецевих (C <0.24%), низьколегованих (сумарна кількість легуючих елементів <5%). Клас сталі перлітний, хімічно активних елементів у складі цієї сталі не міститься.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталей

Найменування (марка)	Товщина листа, мм	Межа плинності, Н/мм <sup>2</sup>	Тимчасовий опір, Н/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження %	Вигин до паралельності сторін	Ударна в'язкість KCV, Дж/см <sup>3</sup>					
						+10	0	-10	-35	-40	Після мех. старіння при 20°C
СтЗсп	Від 4 до 10	245	380	25	d = 1,5a		35	0			30
	Від 10 до 20	245	370	25	d = 1,5a	35	30				30

Примітка: d – діаметр оправки; a – товщина зразка.

Від правильного вибору металу для зварних конструкцій значною мірою залежить їх експлуатаційна надійність і економічність.

В даний час зварні конструкції в основному виготовляють з вуглецевих та низьколегованих сталей.

Важливою особливістю спокійної сталі є її однорідна будова.

Шкідливі домішки – сірка і фосфор розподіляються у ній рівномірніше, ніж у киплячої сталі.

Внаслідок розкислення та одночасного часткового зв'язування азоту спокійні сталі менш чутливі до крихкого зламу, ніж киплячі.

Присадка достатньої кількості алюмінію, який поряд з киснем пов'язує також азот, вдається значно знизити їх сприйнятливості до старіння. Дрібнодисперсні нітриди, що утворюються при цьому, приводять одночасно до зменшення розміру зерен і тим самим до зменшення схильності сталі до холодноламкості.

Леговані сталі містять крім вуглецю та інших основних домішок (Mn, Si, P та S), так звані легуючі елементи: Cr, Mo, V, Mn, Si, Ni та ін.

Кремній (Si) не підвищує жароміцності сталі, але підвищує її окислостійкість. Кремній дуже активний розкислювач сталі при виплавці. У кількостях до 0,3% кремній не викликає труднощів при зварюванні.

Проте при його вмісті більше 0,8% зварюваність сталі погіршується через високу рідину плинності металу та утворення тугоплавких оксидів кремнію, що забруднюють зварне шов неметалевими включеннями.

Марганець (Mn), перебуваючи в твердому розчині в сталі, посилює енергію внутрішньо кристалічних зв'язків, проте, через невисоку температуру рекристалізації на жароміцність сталі сприятливо майже не впливає.

Більш цінним є корисний вплив марганцю на міцність сталі за порівняно невисоких температур (приблизно до 300°C), за яких марганець сприяє суттєвому підвищенню меж міцності та плинності сталі.

Марганець активний розкислювач та десульфатор сталі.

Останнє проявляється в очищенні сталі і металу шва при зварюванні від шкідливої домішки – сірки шляхом утворення нерозчинних з'єднань сірчистого марганцю, що легко видаляються з металу.

При звичайному вмісті 0,3-0,8% марганець сприятливо впливає на технологічність сталі і, крім того, зменшує розбрикування металу при зварюванні. Однак при вищому вмісті, наприклад 1,8-2,5%, він суттєво підвищує прожарювання сталі, внаслідок чого з'являється небезпека появи тріщин у навколо шовній зоні.

Виходячи з характеристик металу, хімічного складу та механічних властивостей обрана сталь нам підходить.

### 1.3 Зварюваність основного металу

Сукупність технологічних характеристик основного металу, що визначають його реакцію на зміни, що відбуваються при зварюванні, та здатність при прийнятому технологічному процесі забезпечувати надійне в експлуатації та економічне зварне з'єднання, об'єднують у поняття «зварюваність».

Перевіряємо можливість утворення холодних тріщин за найгірших умов (за максимальної кількості легуючих домішок).

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Cu}{15} = 0,22 + \frac{0,65}{6} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3+0,3}{15} = 0,428 \quad (1.1)$$

$C_{\text{екв}} = 0,428 < 0,4 \dots 0,45$  – метал не має схильності до утворення холодних тріщин.

Перевіряємо схильність металу шва до виникнення гарячих тріщин за найнеприємніших умов (за вмістом легуючих домішок)

$$HCR = \frac{C*(S+P+0.25*Si+0.01*Ni)}{3*Mn+Cr+Mo+V} = \frac{0,21(0,035+0,035+0,25*0,5)}{3*0,5} = 0,0273 \quad (1.2)$$

Так як  $HCS 0,0273 > 0,0016$ , набагато вище за допустимі межі, то можливе утворення гарячих тріщин. Загалом сталь можна віднести до задовільно зварюваної за середнього вмісту легуючих елементів. Але в заводських умовах треба контролювати склад сталі за відповідними сертифікатами.

Схема ручного дугового зварювання покритим електродом наведена на рис. 1.2.

Схема способів зварювання кутових швів наведена на рис. 1.3.

Схема ручного дугового зварювання покритим електродом у різних просторових положеннях наведена на рис. 1.4.

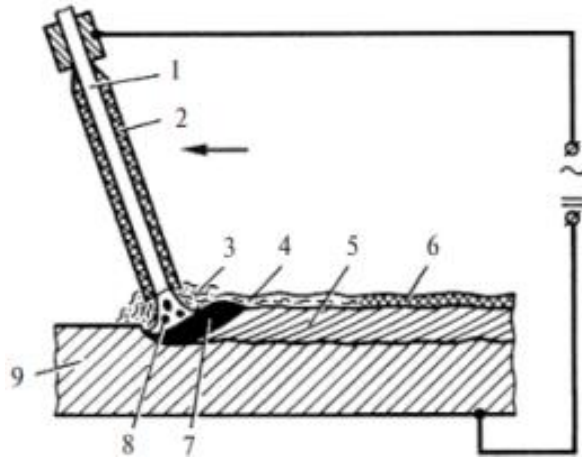


Рисунок 1.2 – Схема ручного дугового зварювання покритим електродом

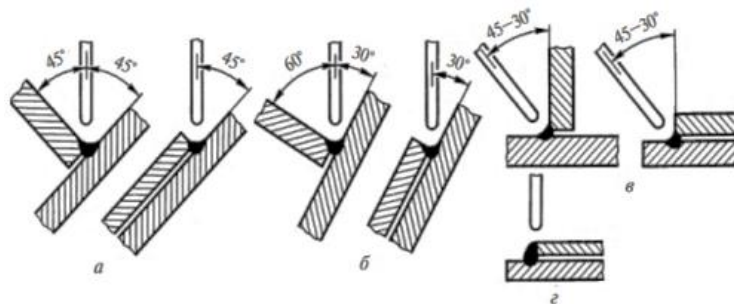


Рисунок 1.3 – Схеми способів зварювання кутових швів

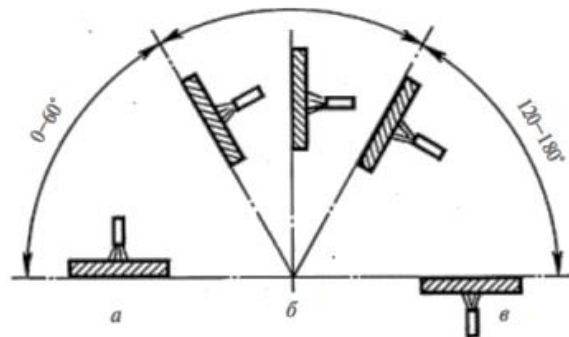


Рисунок 1.4 – Схема ручного дугового зварювання покритим електродом у різних просторових положеннях

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Механізоване зварювання кореня шва

Метод STT (процес перенесення металу силами поверхневого натягу) робить менш трудомістким завдання виконання кореневого шва стику труб по відкритому зазору та забезпечує краще формування зворотного валика та сплавлення кромки, а також знижує розбрикування та задимлення. Цей процес відрізняється від традиційного зварювання короткого дугою в середовищі захисних газів тим, що зварювальний струм у цьому процесі контролюється незалежно від швидкості подачі дроту. Крім цього, не відбувається характерного для традиційних методів зварювання виплеску рідкої зварювальної ванни під час перенесення металу. Це зменшує ступінь змішування зварювальної ванни з основним металом, розбрикування та задимлення. Забезпечує більш точний контроль зварювальної ванни та проплавлення з боку оператора. [3]

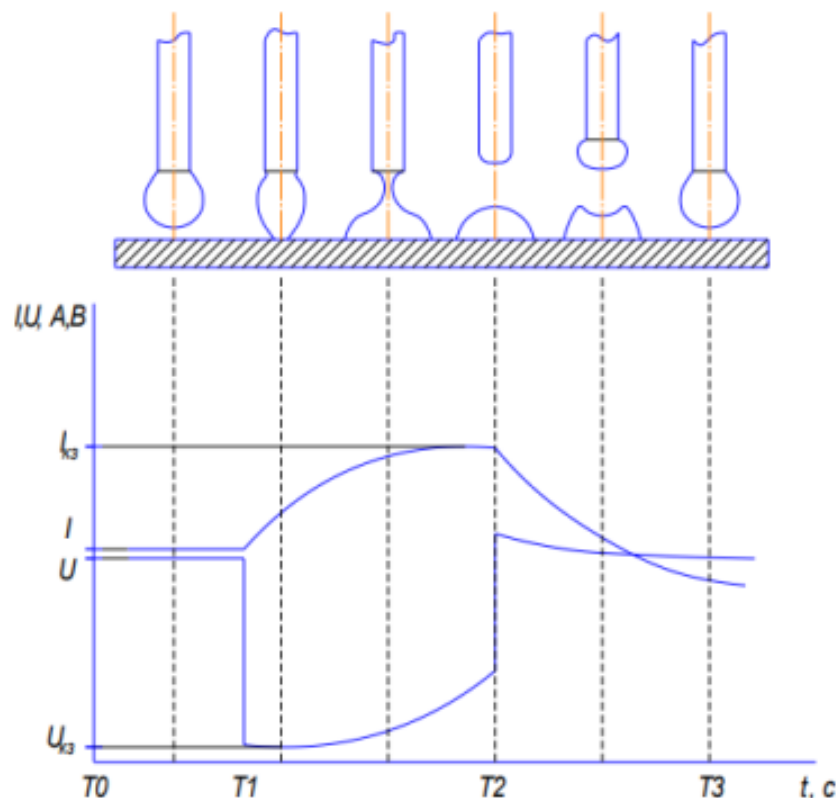


Рисунок 2.1 – Типові форми кривих зварювального струму та напруги при традиційному способі напівавтоматичного зварювання

Звичайний спосіб зварювання короткою дугою розглядають як процес з низьким тепловкладенням. Для нього характерне ймовірне зниження проплавлення та непровар кромки.

Однак, зварювальний струм, величина якого пропорційна швидкості подачі дроту, може бути збільшений, що спричинить підвищення тепловкладання та збільшення проплавлення.

Це дозволяє досягти балансу рівня проплавлення, проте передбачає значний рівень кваліфікації зварювальника для досягнення такого балансу. Потрібно вкласти таку кількість тепла, яке забезпечить необхідне проплавлення кромки, що стикуються, але не допустить пропалу.

Оператор повинен постійно вести дугу по передньому краю зварювальної ванни, щоб досягти нормального проплавлення і намагатися не робити широких коливальних рухів.

У разі, якщо дуга зміщується до заднього краю ванни проплавлення стає недостатнім. Якщо ж дуга розташовується надто близько до передньої кромки ванни або виходить за її межі, то неминучий пропалив і виліт зварювального дроту крізь шов, що веде появі "усиків" на звороті шва, а також до утворення усадки зворотного валика, особливо у нижній частині кільцевого шва. [3]

У свій час було встановлено, що при використанні імпульсної зварювання значно покращується контроль зварювальної ванни. Плавне зниження зварювального струму в кінці зварювального циклу призведе до охолодження ванни.

Наприклад, при аргонно-дуговому зварюванні неплавним електродом миттєве підвищення струму до пікового рівня, а потім зниження його до "фонові" величини дозволило б отримати шов з хорошим проваром і сплавленням кромки, але без пропалу основного металу. Цей принцип і застосовується у STT-процесі. Максимальний (Піковий) струм діє протягом фіксованого проміжку часу. Це забезпечує певну довжину дуги та плавлення основного металу. Потім струм знижується до низького (фонові) рівня, на якому контролюється загальне тепловкладання у зварювальну ванну.

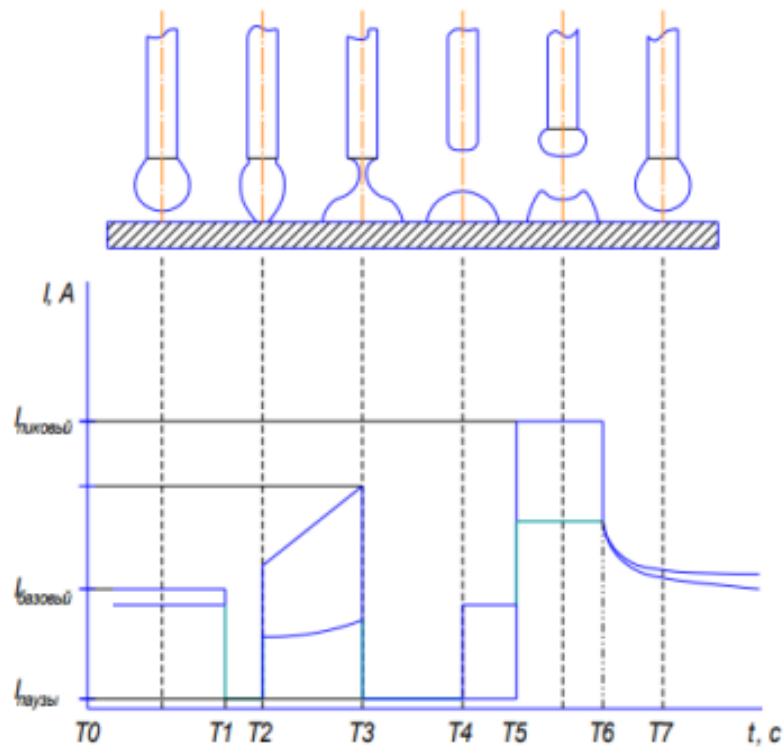


Рисунок 2.2 - Форми кривих зварювального струму та напруги при напівавтоматичне зварювання методом STT

Використання процесу STT для зварювання кореневого шва на спуск менше трудомістко. Це досягається за рахунок регулювання тепловкладання в зварювальну ванну незалежно від швидкості подачі дроту. Процес потребує зміни техніки зварювання у процесі роботи. У позиції від 12 до 2 годинника зварювання ведеться з кутом нахилу електрода в напрямку зварювання і з невеликими поперечними коливаннями. Між 2 та 4 годинами кут нахилу електрода змінюється до перпендикуляра у напрямку зварювання. В процесі зварювання необхідно стежити за правильним формуванням зварювального ванни. При цьому поперечні коливання електрода зазвичай не потрібні (Необхідність коливань залежить від величини зазору). Між 4 та 6 годинами може знадобитися коливання електрода у поперечному напрямку. Після кількох практичних занять зварювальник середньої кваліфікації здатний опанувати процес. При виконанні корневих швів величина посилення зворотного валика буде в межах 1,5 - 2,0 мм. При виконанні Процес STT бажано використовувати малий виліт електрода (6 - 7 мм). [3]



Процес STT - наступник звичайного напівавтоматичного процесу зварювання в середовищі захисного газу, що реалізує метод перенесення короткими замикання. Однак STT принципово відрізняється від нього можливістю прямого управління умовами перенесення наплавлюваного металу зварювальну ванну. Ця можливість забезпечується швидкодією інверторною схемою джерела живлення, спеціальним електронним мікропроцесорним модулем, що примусово задає необхідний рівень зварювального струму та контуром зворотного зв'язку, динамічно що відстежує зміни напруги на дузі. Протягом усього циклу перенесення краплі у зварювальну ванну величина зварювального струму жорстко залежить від фази формування та переходу останньої. [3]

Як було зазначено, перенесення наплавляемого металу відбувається серіями коротких замикань. На рисунках 2 та 3 представлені діаграми кривих струму та напруги, характерні для традиційного напівавтомата та джерела STT. Кожне замикання дроту у зварювальну ванну – цикл переносу - зручно розбити кілька характерних етапів.

Підготовка краплі (T7-T0-T1). Тривалий етап дії базового струму на рівні 50 - 100 А та підготовка краплі до моменту короткого замикання. На цьому етапі під дією сил поверхневого натягу форма краплі наближається до правильної сфери, створюючи тим самим сприятливі умови для плавного поєднання зі зварювальною ванною.

Управління величиною базового струму містить у собі дві основні функції.

По-перше, він повинен забезпечити дугу кількістю енергії, достатньою для подолання втрат на випромінювання та підтримання певного обсягу розплавленої на кінці електрода краплі. Якщо базовий струм надто низький, це призводить до кристалізації верхньої частини краплі та зменшення її обсягу. Більше того, це може призвести навіть до повної кристалізації краплі. і, як наслідок, до нестабільності всього процесу та уतिकання дроту в дно зварювальної ванни.

По-друге, від рівня базового струму залежить ступінь загального розігріву виробу, що зварюється. Дія базового струму схожа на вплив зварювальної напруги при звичайному напівавтоматичному зварюванні.

При підвищенні обох параметрів зварювальний шов втрачає опуклість, набуває більш низької та плавної форми. Це відбувається за рахунок збільшення розігріву зони дуги та підвищення плинності металу.

Однак, збільшення базового струму понад 120 А призводить до значного підвищення розбризування. Оптимальна величина базового струму залежить від типу захисного газу, матеріалу, діаметра та швидкості подачі зварювального дроту. Встановлення оптимального для тих чи інших умов базового струму у процесі роботи, а саме його відповідність заданій швидкості подачі дроту, має важливе значення для якості всього з'єднання. [4]

Початковий період короткого замикання ( $T_1$ - $T_2$ ). На момент  $T_1$  відбувається замикання краплі на зварювальну ванну. Якщо при цьому величина зварювального струму становить 150 - 200 А, як у випадку зі звичайним напівавтоматичним процесом, крапля миттєво відривається, зазвичай руйнуючись і розлітаючись убік, що призводить до розбризування.

Крім того, струм такої величини, намагаючись пройти через вузьку перемичку, що утворилася між краплею і ванною, призводить до виплеску металу.

При дії джерела STT освіта контакту відбувається при значно нижчому рівні зварювального (базового) струму, що виключає цінегативні явища.

Крапля спокійно залипає на зварювальну ванну, утворюючи пляма контакту. Датчик контуру зворотного зв'язку джерела живлення Invertec STT у момент  $T_1$  подає мікропроцесору сигнал про виникнення короткого замикання (напруга впала до значення, близького до нуля).

Джерело знижує струм з базового рівня до 10 А тимчасово 0,75 мілісекунд. У протязі цього часу відбувається розвиток плями контакту, вростання краплі у зварювальну ванну і утворюється надійна перемичка між ванною та електродним дротом. [4]

Пінч-ефектом називають виникнення навколо електричного провідника доцентрових стискаючих сил, пропорційних квадрату струму, що протікає по провіднику. Строго кажучи, цей ефект присутній у зварювальному контурі завжди коли зварювальний струм не дорівнює нулю.

Однак тільки на аналізованому етапі вплив пінч-ефекту на перенесення металу, що наплавляється, у зварювальну ванну має принципове значення. Після закінчення часу дії початкового періоду короткого замикання (0,75 мс, момент T2) мікропроцесор різко підвищує величину зварювального струму. На цій короткій першій стадії відбувається стрімкий зростання електромагнітних сил асиметричного стиснення рідкої перемички та утворення на ній шийки.

Рівень, до якого джерело підвищує струм на першій стадії, залежить від діаметра дроту, що застосовується (підвищується з збільшенням діаметра) та встановлюється зварником за допомогою двопозиційного тумблера на передній панелі апарату.

На другій стадії пінч-ефекту підвищення зварювального струму відбувається значно більше плавно. Джерело "готується" до моменту руйнування шийки та відділення краплі від електродного дроту. Необхідно відзначити, що під час короткого замикання напруга між електродним дротом і зварювальною ванною не дорівнює нулю, оскільки при температурі плавлення (1550° C) метал має високий електричний опір.

Брак шийки пов'язано зі зменшенням поперечного перерізу перемички та зростанням електричного опору цієї ділянки провідника. На цій стадії знову набуває чинності контур зворотного зв'язку, що забезпечує мікропроцесор інформацією про зварювальну напругу.

Швидкість зміни опору визначається побічно шляхом послідовних вимірів зміни напруги за одиницю часу. Коли ця швидкість досягає певного значення, джерело отримує від датчика напруги дуги сигнал, що свідчить про те, що шия готова до руйнування (момент T3).

У цей момент джерело припиняє плавне нарощування струму та різко знижує його рівня порядку п'яти ампер. Відділено є краплі (момент T4)

відбувається без розбризування, властивого традиційному напівавтомату з жорсткою зовнішньою характеристикою. Сили поверхневого натягу вже злитих воєдино краплі і ванни "втягують" краплю вглиб, формуючи зварювальний шов.

Зростання краплі (Т5-Т6). Протягом усього цього етапу діє так званий, піковий рівень зварювального струму, що встановлюється зварювальником на лицьовій панелі апарату. Після відокремлення краплі від електродної дроту дуговий проміжок відновлюється і різко підвищується напруга. Для продовження процесу необхідно швидко сформувати нову краплю на торці електрода. З цією метою джерело живлення, отримуючи сигнал про відновлення дуги, миттєво підвищує струм до пікового рівня і збільшує плазмовий стовп. Пікове значення струму визначає швидкість наростання плазми та збільшення дугового проміжку. На торці електрода формується розплавлена крапля. Одночасно з цим посилюється тиск дуги на зварювальну ванну, викликаючи її стиск і ще більше подовження дуги. Таким чином, піковий струм безпосередньо впливає на довжину дуги та забезпечує необхідне проплавлення. Рівень пікового струму досить високий - найчастіше близько 350 - 400 А. На такому струмі звичайний напівавтомат міг би вести зварювання дротом діаметром 1,7 мм. швидкостях зварювання близько 5 м/хв. Однак, у випадку STT такий високий рівень струму діє тільки після відділення краплі та її перенесення у ванну, що значно підвищує якість зварного шва. [4]

Перехід базовий струм (Т6-Т7). Після закінчення дії пікового струму, коли створено краплю необхідного обсягу, джерело експоненційно знижує струм до рівня. Різке зниження струму у разі неприйнятно, оскільки миттєве скидання дії дуги може призвести до виникненню обурень. При роботі з останньою версією апарату - Invertec STT II - зварювальник має можливість регулювати швидкість зниження струму на цьому етапі спеціальною рукояткою на лицьовій панелі джерела, досягаючи при цьому найбільшої стабільності процесу зварювання та найкращої форми зварного шва. Крім того, уповільнення падіння струму призводить до збільшення загального тепlopокладання у зварювальну ванну без зміни довжини дуги, що важливо, наприклад, при зварюванні

високолегованих та нержавіючих сталей. Підвищення тепловкладання сприяє покращенню сплавлення з основним металом та дозволяє підвищити швидкість зварювання. З переходом струму на базовий рівень знову створена крапля починає набувати правильної сферичної форми і весь цикл перенесення повторюється. [4]

Як було зазначено вище, в даний час для реалізації описаного процесу використовується зварювальне джерело марки Invertec STT II. Його не можна віднести до жодної групи апаратів для зварювання з традиційними вольтамперними характеристиками. Правильніше вважати його джерелом з високошвидкісним керуванням величиною зварювального струму, оптимізованим спеціально для перенесення серіями коротких замикань.

Як і традиційний зварювальний напівавтомат, система на базі Invertec STT II складається з власне джерела живлення, блоково незалежного механізму подачі зварювального дроту з комплектом відповідних контрольних та силових кабелів та стандартного пальника для напівавтоматичного зварювання на 200 або 300 ампер. Крім того, стандартна комплектація джерела живлення включає спеціальний роздвоєний провід довжиною до 15 м, призначений для організації контуру зворотного зв'язку від зварювальної дуги до джерела живлення. Одна з ліній контуру закріплюється на струмовідводі механізму подачі, а інша за допомогою невеликого затиску закріплюється на деталі, що зварюється. У процесі підбору режиму зварювальник повинен встановити необхідну швидкість подачі дроту, що визначає продуктивність наплавлення, і виконати ряд полегшують роботу та знижують ймовірність утворення дефектів функціональних установок.

Налаштування джерела живлення Invertec STT II виглядає інакше, ніж у звичайного напівавтомата із жорсткою характеристикою. Оскільки процес зварювання повністю підконтрольний мікропроцесору, зварювальник лише задає параметри та форму струмових імпульсів, що виникають у контурі при переносі краплі: встановлюється величина базового (0 - 125 А), пікового (0 - 450 А) струмів, а також тривалість заднього фронту імпульсу зростання краплі.

Крім того, перед початком роботи простим перемиканням двох тумблерів джерело налаштовується на матеріал виробу, що зварюється, і діаметр використовуваного зварювального дроту. [4]

Процес STT заснований на принципово новому технологічному підході до обладнання для зварювання та виконуваних ним завдань. При зовнішньої схожості з традиційним напівавтоматичним зварюванням, сказане вище про роботу систем з технологією STT переконує у наявності великої кількості відмінностей, що мають важливе прикладне значення, зокрема, вирішення питання створення якісного кореневого шва при зварюванні труб різного діаметра.

Кореневий шов - головна складова всього з'єднання. Якість та продуктивність під час виконання кореневого шва визначає темп будівництва всієї магістралі. На сьогоднішній день існує і активно застосовуються практично кілька традиційних способів створення кореневого шва методом дугового електрозварювання. До них відносяться: ручна зварювання кореня покритими електродами з основним та целюлозним типом покриття, а також автоматичне зварювання кореня суцільним дротом середовищі захисного газу головками, розташованими усередині труби.

Останній метод є найбільш продуктивним і дорогим і вимагає додаткових витрат на переточування заводської кромки труби під зварювання зсередини. Процес STT здатний усунути цей недолік. Теплофізичні властивості дуги та зварювальної ванни, характерні для процесу перенесення металу за рахунок сил поверхневого натягу, дозволяють вести зварювання кореня зовні з отриманням гарантованого проплавлення та зворотного валика необхідних розмірів у всіх просторових положеннях. При цьому процес STT здатний, при певному навичці зварювальника, досить великих межах відпрацьовувати зміни параметрів обробки.

Дослідження показали, що процес справляється із завданням сплавлення крайок та створення зворотного валика при збільшенні ширини оброблення до 4,0 мм та зміщення кромки до 3,0 мм навіть у стельовому положенні. [4]

Іншою перевагою методу STT при виконанні кореневого проходу на трубах великого діаметра є розмір шва, що наплавляється. За один прохід наплавляється шар металу, що відповідає двом проходам (кореневому та гарячому) при використанні електродів з целюлозним типом покриття. По-перше, ця обставина відчутно скорочує час зварювання. По-друге, дозволяє вивести внутрішній центратор одразу після зварювання кореня, підтримуючи, таким чином, високий темп будівельних робіт. При цьому зовнішня поверхня кореневого шва вільна від шлаку. (потрібна лише незначна зачистка дротяною щіткою), і не має так званих "кишень" - зашлакованих поздовжніх канавок, розташованих по краях шва в місцях сплавлення з основним металом, характерних для того ж зварювання целюлозними електродами. Головне перевага зварювання основним електродом - відносно низька вміст дифузійного водню у металі шва. Однак, зварювальний процес STT, що виконується напівавтоматично дротом суцільного перерізу в середовищі захисного газу, за даними компанії-виробника, перевищує цей показник якості (рис. 2.3). Дослідження, проведені при атестації методу підтверджують цю обставину.

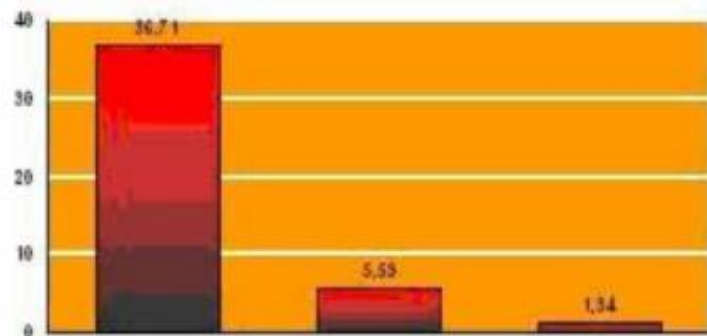


Рисунок 2.3 - Зміст дифузійного водню в металі шва, виконаного різними методами, мл/100г

Серед інших особливостей процесу STT слід виділити скорочення загального тепlopокладання в деталь, що зварюється, вкрай низький рівень розбризкування та димоутворення. При цьому більшість зварювальників відзначають легкість управління зварювальною ванною. Процес не вимагає особливих навичок, а в багатьох випадках просто менш трудомісткий.

Високі показники якості та стабільності наплавлення досягаються при захисту дуги та зварювальної ванни найбільш дешевим вуглекислим газом, оскільки метод оптимізовано саме для типу перенесення металу серіями коротких замикань, притаманного CO<sub>2</sub>. [5].

Одна з переваг методу STT - можливість його використання для механізованого зварювання. Як зазначалося раніше, системи автоматичної зварювання стиків трубопроводів дозволяють досягти найвищих показників якості та продуктивності робіт.

Для труб великого діаметра запропоновано використовувати стандартну заводське оброблення з кутом скосу кромки 20 - 30° і стандартним притупленням та зазором. У цьому варіанті зварювальна технологія STT покликана забезпечити виконання якісного кореневого шва за наявності існуючих похибок підготовки кромки та складання без використання підкладних кілець. Виконання інших проходів при зварюванні всього стику аналогічно першому випадку, за винятком використання порошкового газозахисного дроту для заповнювачів шарів, що забезпечує краще проплавлення та при зварюванні труб великої товщини.

## **2.2 Механізоване зварювання заповнювальних шарів методом Innershield**

Спосіб напівавтоматичного зварювання самозахисним дротом Innershield призначений для зварювання заповнювальних та облицювальних шарів шва неповоротних та поворотних стиків труб діаметром 273 - 1220 мм з товщинами стінок 6 – 22 мм включно. Порошковий дріт, що поставляється для використання в трасових умовах, повинна бути упакована в герметичні поліетиленові відра. У кожному відрі знаходиться по чотири котушки вагою 6,3 кг. Спосіб зварювання самозахисним порошковим дротом має наступні особливості, що зумовлюють його переваги перед ручною дуговым зварюванням покритими електродами:



- Висока лінійна швидкість зварювання (14 - 20 м / год в порівнянні з 4 – 8 м/год для електродів із основним видом покриття);

- можливість форсувати режим зварювання, наприклад, при використанні дроту діаметром 1,98 мм підвищується продуктивність наплавлення на 50 - 75 % порівняно з ручною дуговою зварюванням електродами з основним видом покриття діаметром 4,0 мм, яких продуктивність наплавлення становить 1,4-1,5 кг/год;

- Вища ефективність роботи зварювальника у зв'язку з відсутністю необхідності зупиняти процес зварювання зміни електродів;

- низький відсоток ремонту зварних швів за рахунок можливості виплавити дефекти, використовуючи характерну для способу високу щільність струму;

- можливість здійснення зварювання за сильного вітру за рахунок особливої системи захисту крапель розплавленого металу та ванни;

- усунення значної кількості дефектів, зазвичай що утворюються при обриві та запаленні дуги при частій зміні електрода;

- Відсутність необхідності сушіння дроту перед використанням;

- можливість використання способу для зварювання захлестів і при спеціальних зварювальних роботах;

- техніка зварювання порошковим дротом досить проста, і термін навчання зварників складає 10 – 20 днів.

Деякі недоліки, що виникають при зварюванні порошкової дротом:

- процес зварювання дротом Innershield відбувається на високому струмі (230 - 300 А) і супроводжується досить великим розбризуванням. При цьому краплі мають високу температуру.

У зв'язку з цим при зварюванні дротом типу Innershield (особливо для дроту діаметром 2,0 мм) необхідно використання спеціального одягу (шкіряні костюми) та масок (Фіброметал).

- дріт має гігієнічний сертифікат, проте процес супроводжується підвищеним аерозолевиділенням.

### 2.3 Дослідження параметрів зварювання

Параметри зварювання, що встановлюються, залежать від товщини та конфігурації обробки кромки виробу, що зварюється. Вони мають бути встановлені таким чином, щоб забезпечити необхідну глибину проплавлення та отримати наплавлений валик необхідної форми. Підбирати параметри треба досить ретельно з урахуванням діаметра дроту, що застосовується, напруги на дугу, струму та швидкості зварювання.

Швидкість зварювання. Швидкість зварювання також впливає на глибину проплавлення. Якщо за незмінних значень струму зварювання та напруги на дузі підвищити швидкість, то глибина проплавлення зменшиться, а ширина валика, що наплавляється стане вже, і навпаки, якщо швидкість зварювання зменшити.

Однак, якщо при заданих струмі і напрузі швидкість зменшити дуже сильно, то в якийсь момент можна отримати зворотній ефект, коли глибина проплавлення почне зменшуватися через те, що теплова енергія втратить здатність нормально розподілятиметься у виріб і буде блокуватися товстим рідким прошарком зварювальної ванни. Якщо швидкість зварювання зазнала настільки сильних змін, то необхідно вести корективи до установчих значення струму та напруги.

Напруга на дузі. Напруга на дузі є дуже важливою параметром для форми та ширини дуги, а в ряді випадків для глибини проплавлення. Занадто висока напруга при зварюванні стикового шва в нижньому положенні веде до збільшення ширини шва. При зварюванні в X і V-подібну обробку, а також при зварюванні кутового шва це призведе до отримання увігнутого валика з підрізами, які ускладнять відокремлюваність шлаку.

При надто низькій напрузі стиковий шов виходить з високим посиленням та вузькою зоною проплавлення. При зварюванні в X та V-подібну обробку, а також при зварюванні кутового шва це призведе до отримання опуклого валика з можливими несплавленнями і дуже утрудненим відділенням шлаку.

На рис. 2.4 показано як зміни напруги на дузі при постійному зварювальному струмі впливає на форму шва

Діаметр дроту. При заданому струмі зварювання зміна діаметра дроту тягне за собою зміну щільності струму (кількість Ампер на  $\text{мм}^2$  перерізу дроту), через що у електрода більшого діаметра глибина проплавлення зменшується і знижується ризик пропалу при зварювання кореневого проходу.

В той же час підпал дуги стає більше проблематичним, а її стабільність погіршується, що підвищує ймовірність утворення дефектів в корені шва при зварюванні V-подібну обробку.

На рис. 2.5 показано вплив діаметра дроту при постійному зварювальному струмі в на форму шва.

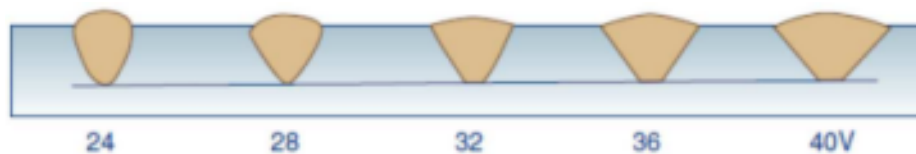


Рисунок 2.4 – Вплив зміни напруги на форму зварювального шва

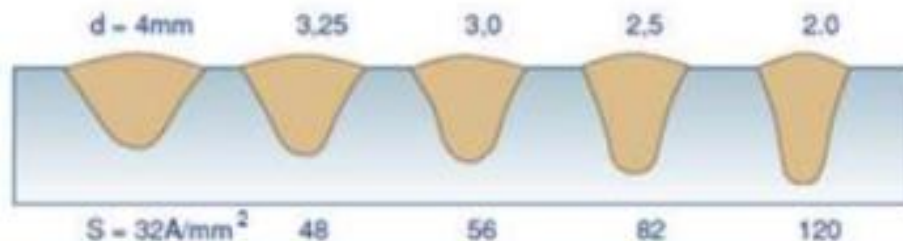


Рисунок 2.5 – Вплив зміни діаметра дроту на форму зварювального шва

Зварювальний струм. Зварювальний струм має найбільший вплив на глибину проплавлення. Вибір величини зварювального струму ґрунтується на товщині зварюваного виробу та формі оброблення кромки.

Величина струму не дуже впливає на ширину

Вплив діаметра дроту на форму шва при незмінному значенні зварювального струму Збільшення струму зварювання веде до збільшення глибини проплавлення.

На рис. 2.6 показано вплив зварювального струму на форму шва.

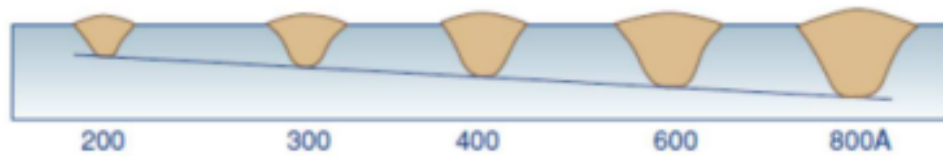


Рисунок 2.6 – Вплив зміни зварювального струму на форму зварювального шва

Виліт електрода. Кут нахилу електрода Вильотом електродного дроту вважається відстань від контактної наконечника або контактні губки до виробу. Ця відстань є важливим параметром, т.к. воно впливає на ступінь розігріву кінця електродної дроту струмом, що проходить через неї.

Якщо виліт короткий, електрод розігрівається слабо і глибина проплавлення зростає.

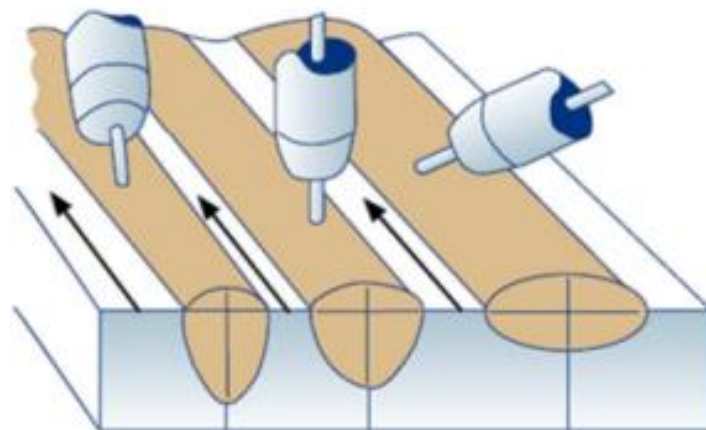


Рис.2.7 – Схема розташування електрода під кутом

Якщо виліт дроту збільшується, то зростає і його резистивний опір, що призводить до більш сильного розігріву електрода. Через це глибина проплавлення падає, а продуктивність наплавлення зростає.

Кут між електродом і зварюваним виробом впливає на глибину проплавлення зварного з'єднання.

Вплив кута нахилу електрода на глибину проплавлення.

Вильотом електрода вважається відстань від контактної наконечника до виробу. Найчастіше, при зварюванні одиночним дротом або розщепленою дугою (twin-зварювання) двох пластин встик у нижньому положенні, кут між електродним дротом до виробу встановлюють під кутом  $90^\circ$ .

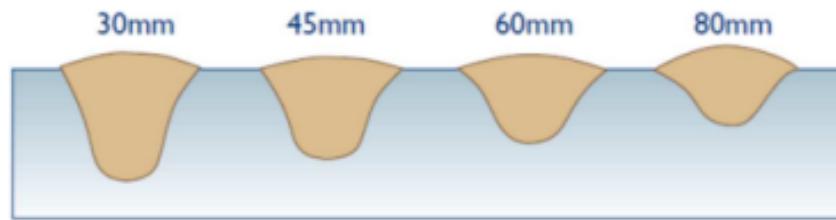


Рисунок 2.6 – Вплив кута нахилу електрода на форму зварювального шва

При дводуговій зварюванні під флюсом, другу зварювальну головку, працюючу на змінному струмі, зазвичай нахиляють у бік першої головки, завдяки чому другий дріт вводиться хвостову частину зварювальної ванни.

При зварюванні конструкційних нелегованих та низьколегованих сталей, виліт електрода зазвичай встановлюють у діапазоні від 22 до 27 мм.

Якщо дротяним електродом виконується наплавлення, то для деяких марок дротів виліт електрода може бути збільшений до 40 мм, що в поєднанні з прямою полярністю (DC-) продуктивність наплавлення може бути збільшена, і в той же час частка основної участі металу в наплавленому шарі знижено.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Вибір зварювальних матеріалів

Вибір захисного газу.

Основний метал ВСтЗсп матеріал з низькою хімічною активністю.

Тому допускається застосування активного захисного газу  $CO_2$ .

Вимоги до чистоти  $CO_2$  наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вимоги до чистоти  $CO_2$

Компонент		1-й сорт
Двоокис вуглецю,%, не менше		99,5
Водяний пар	При аномальних температурах и тиску, об.%, не більше	0,178
	По точці роси, 0 °С, не більше	34

Вуглекислий газ не повинен містити більше 1% домішок, у тому числі не більше 0,05% розчиненої вологи, у вільному стані.

Також не повинно бути повітря, олій, сірчаних сполук та інших шкідливих домішок.

Вибираємо централізований спосіб постачання вуглекислого газу, оскільки великі обсяги виробництва за серійного виробництва.

Вибір зварювального дроту. Вибираємо зварювальний дріт для дугового зварювання в  $CO_2$ .

Оскільки основний метал виробу має схильність до утворення гарячих тріщин, то у складі зварювального дроту потрібно передбачити підвищений вміст розкислювачів, які зменшують цю схильність.

У заводських умовах майже виключається вплив таких факторів, як вітер, що погіршує захист, мінімальний вплив атмосферної корозії, тому можна обмежитися суцільним дротом без мідного покриття.

Вибираємо дріт марки Св-08Г2С ДСТУ 2246-70. Хімічний склад зварювального дроту марки Св-08Г2С наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад зварювального дроту марки Св-08Г2С

Дріт	Вміст хімічних елементів, %						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
Св-08Г2С	0,05-0,11	1,8-2,1	0,7-0,95	≤0,20	0,25	≤0,025	0,030

### 3.2 Вибір типу зварних з'єднань, розмірів та підготовки кромки

Для стикових швів вибираємо тип з'єднання за ДСТУ 14771-76.

Для цієї товщини підходять односторонні з'єднання з обробкою кромки.

Вибираємо С17 (рис. 3.1).

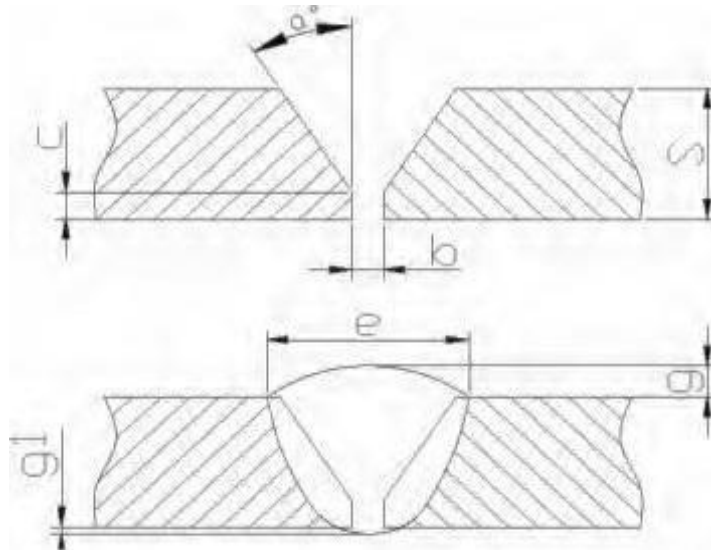


Рисунок 3.1 – Конструктивні елементи з'єднання СТ 7 (ДСТУ 14771-76).

Таблиця 3.3 – Розміри з'єднання 17

Спосіб зварювання	$S = S_1$	$b$		$c$		$E$		$g$		$\alpha$ , град, $\pm 2^\circ$
		Ном.	Перед. Викл.	Ном.	Перед. Викл.	Ном.	Перед. Викл.	Ном.	Перед. Викл.	
УП	14,0	2,0	+1,0 - 2,0	2,0	+1,0 - 2,0	13	±3,0	1,0	±1	20

Для зварювання швів внапусток (рис. 3.2) вибираємо з'єднання Н1 (ДСТУТ 14771-76).

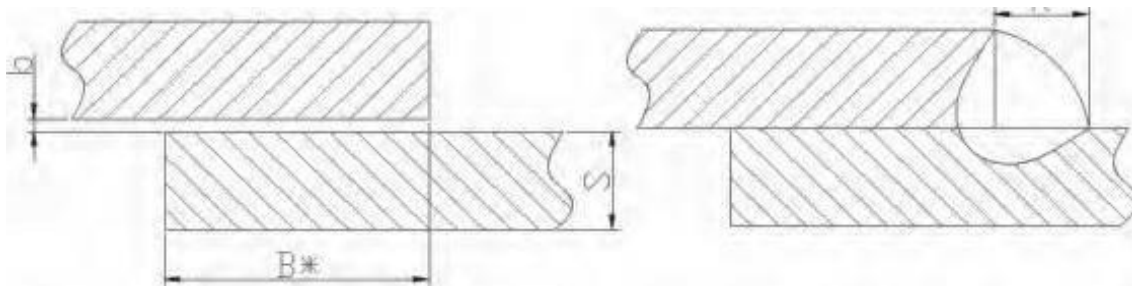


Рисунок 3.2 – Конструктивні елементи Н1 (ДСТУ 14771-76).

Таблиця 3.4 – Розміри з'єднання Н1

$S$	$b$	
	Ном.	Перед. Викл.
6,0 - 20,0	0	+1,5

Для зварювання шва, яким приварюються днища, вибираємо кутове з'єднання.

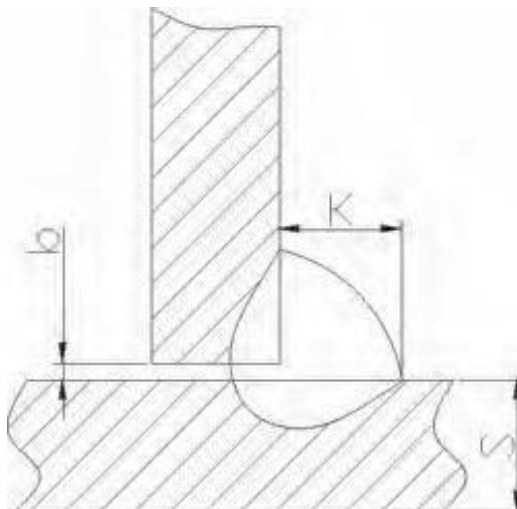


Рисунок 3.3 – Конструктивні елементи Т1 (ДСТУ 14771-76).

Таблиця 3.5 – Розміри з'єднання Т1

$S$	$b$	
	Ном.	Перед. Викл.
6,0 - 20,0	0	+1,5

Видно, що розміри швів для цих двох з'єднань однакові, тому й режими зварювання для них будуть однакові.



### 3.3 Розрахунок режимів зварювання

Для цих сполук характерна велика кількість наплавленого металу у шві, тому розраховуємо режими зварювання площею наплавленого металу.

Стиковий шов:

Знаходимо площу наплавленого металу (рис. 3.4).

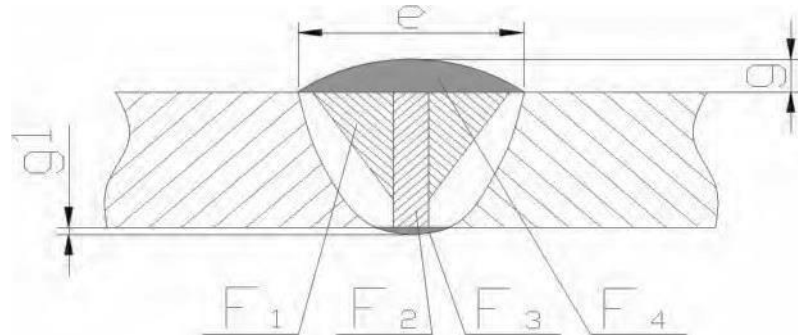


Рисунок 3.4 – Стиковий шов

$$F_H = 2F_{H1} + 2F_{H2} + 2F_{H3} + 2F_{H3} = 2*26,2 + 28 + 2,25 + 19,5 = 102,15\text{мм}^2. \quad (3.1)$$

При виконанні швів у  $\text{CO}_2$  в нижньому положенні існує обмеження площі наплавленого металу:

- для кореневого шва – 10...12  $\text{мм}^2$ ;
- для заповнювального шва - 55...65  $\text{мм}^2$ .

Розраховуємо кореневий прохід виходячи з площі наплавленого металу, що дорівнює 12  $\text{мм}^2$ , а заповнюючи шви з площею наплавленого металу 50  $\text{мм}^2$ .

Діаметр електродного дроту:

- для кореневого шва:

$$d_{\text{о.д.}} = K_d * F_{Hi}^{0,625} = (0,149 \dots 0,409) * 12^{0,625} = 0,704 \dots 1,93\text{мм}^2; \quad (3.2)$$

- для заповнювальних швів:

$$d_{\text{о.д.}} = K_d * F_{Hi}^{0,625} = (0,149 \dots 0,409) * 45^{0,625} = 1,6 \dots 4,41\text{мм}^2. \quad (3.3)$$

Коефіцієнт  $K_d$  вибираємо в залежності від положення шва та рівня автоматизації.

Для автоматичного зварювання в горизонтальному положенні  $K_d = 0,149...0,409$ .

Значення діаметра електродного дроту обмежуються способом зварювання за рівнем автоматизації та положення шва. Отриманий розрахунковим шляхом  $d_{од}$  округляємо до найближчого зі стандартного ряду.

Далі у розрахунках використовуватимемо стандартні значення. Приймаємо значення  $d_{од} = 1,4$  мм для кореневого шва та  $d_{од} = 2,0$  мм для заповнюючих швів.

Виліт електродного дроту:

- для кореневого шва

$$L_{ВИЛ} = 10 * d_{од} = 10 * 1,4 = 14 \text{ (мм);} \quad (3.4)$$

- для заповнювальних швів

$$L_{ВИЛ} = 10 * d_{од} = 10 * 2,0 = 20 \text{ мм.} \quad (3.5)$$

Швидкість зварювання.

Швидкість зварювання залежить від площі наплавленого металу та діаметру  $d_{од}$ , і обмежується в залежності від рівня автоматизації (для автоматичного зварювання  $V_{ЗВ} = 4...20$  мм/с).

При зварюванні в нижньому положенні формула має вигляд

$$V_{ЗВ} = \frac{15,9\gamma d_{од}^2 + 67,4\gamma d_{од}^{1,5}}{F_{HI}}. \quad (3.6)$$

Для кореневого шва

$$V_{ЗВ} = \frac{15,9\gamma d_{од}^2 + 67,4\gamma d_{од}^{1,5}}{F_{HI}} = \frac{15,9 * 1,4^2 + 67,4 * 1,4^2}{12} = \frac{11,9 \text{ мм}}{с} (42,8 \text{ м/год}). \quad (3.7)$$

Для заповнювальних швів

$$V_{ЗВ} = \frac{15,9\gamma d_{од}^2 + 67,4\gamma d_{од}^{1,5}}{F_{HI}} = \frac{15,9 * 2,0^2 + 67,4 * 2,0^2}{45} = 5,64 \text{ мм/с} (20,3 \text{ м/год}). \quad (3.8)$$

Швидкість подачі електродного дроту:

- для кореневого шва

$$V_{\text{под}} = \frac{4 \cdot F_H \cdot V_{3B}}{\pi \cdot d_{0,д}^2 \cdot (1 - \psi_p)} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 11,9}{3,14 \cdot 1,4^2 \cdot (1 - 0,1)} = 103,1 \text{ мм/с} (371,2 \text{ м/год}); \quad (3.8)$$

- для заповнювальних швів

$$V_{\text{под}} = \frac{4 \cdot F_H \cdot V_{3B}}{\pi \cdot d_{0,д}^2 \cdot (1 - \psi_p)} = \frac{4 \cdot 45 \cdot 5,64}{3,14 \cdot 2,0^2 \cdot (1 - 0,1)} = 89,8 \text{ мм/с} (323,1 \text{ м/год}). \quad (3.9)$$

Зварювальний струм:

- для кореневого шва

$$I_{3B}^{(+)} = d_{0,д} \cdot \left( \sqrt{1450 \cdot d_{0,д} \cdot V_{\text{под}}^{(+)} + 145150 - 382} \right) = 1,4 \cdot \left( \sqrt{1450 \cdot 1,4 \cdot 103,1 + 145150 - 382} \right) = 298,7 \text{ А}, \quad (3.9)$$

приймаємо  $I_{3B} = 300 \text{ А}$ ;

- для заповнювальних швів

$$I_{3B}^{(+)} = 2,0 \cdot \left( \sqrt{1450 \cdot 2,0 \cdot 89,8 + 145150 - 382} \right) = 509,7 \text{ А}.$$

Приймаємо  $I_{3B} = 500 \text{ А}$ .

Перевіряємо отримане значення струму:

$$I_{3B \times J} \times 180 \cdot d_{0,д}^{1,5} = 298,2 \text{ А}; \quad (3.10)$$

$$I_{3B \times J} \times 180 \cdot d_{0,д}^{1,5} = 509 \text{ А}$$

Значення величини зварювального струму не більше допустимого, тобто розрахунки правильні.

Напруга зварювання:

- для кореневого шва

$$U_{3B} = 14 + 0,05 U_{3B} = 14 + 0,05 \cdot 300 = 29 \text{ В}; \quad (3.11)$$

- для заповнювальних швів

$$U_{3B} = 14 + 0,05 U_{3B} = 14 + 0,05 \cdot 500 = 39 \text{ В}.$$

Витрати захисного газу:

- для заповнювальних швів

$$q_{зг} = 0,0033 * I_{зв}^{0,75} = 0,0033 * 300^{0,75} = 0,24 \text{ л/с (14,4 л/хв)}; \quad (3.12)$$

- для кореневого шва

$$q_{зг} = 0,0033 * I_{зв}^{0,75} = 0,0033 * 500^{0,75} = 0,35 \text{ л/с (21 л/хв)}.$$

Розрахунок режиму для кутового шва (з'єднання внапуск та кутове з'єднання).

Знаходимо площу наплавленого металу (рис. 3.5).

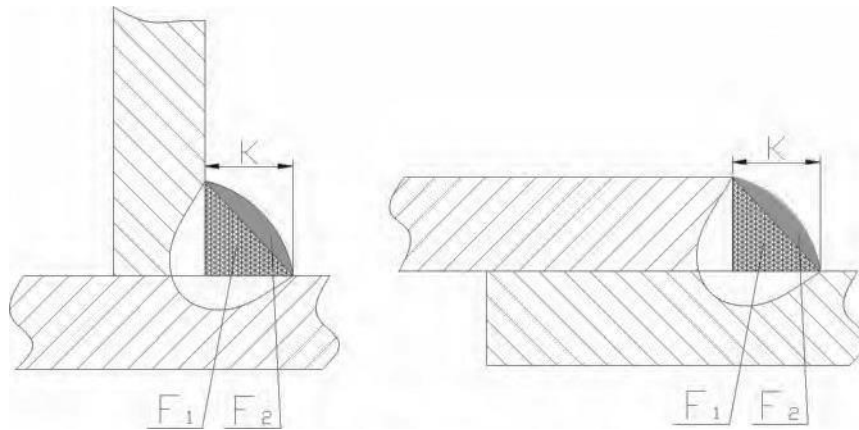


Рисунок 3.5 – Кутовий шов

$$F_H = F_{H1} + F_{H2} = 72 + 25,5 = 97,5 \text{ мм}^2.$$

Режим зварювання для кореневого шва буде таким, як для стикового шва.

Для заповнювальних проходів розраховуємо режим.

$$F_{н.з.п.} = (F_H - F_{н.к.ш})/2 = (97,5 - 12)/2 = 43,75 \text{ мм}^2.$$

Діаметр електродного дроту

$$d_{о.д.} = K_d * F_{Hi}^{0,625} = (0,149 \dots 0,409) * 43,75^{0,625} = 1,58 \dots 4,34 \text{ мм}^2. \quad (3.13)$$

Коефіцієнт  $K_d$  вибираємо в залежності від положення шва та рівня автоматизації, для автоматичного зварювання в горизонтальному положенні

$$K_d = 0,149 \dots 0,409.$$

Приймаємо значення  $d_{OD} = 2,0$  мм.

Виліт електродного дроту

$$L_{ВИЛ} = 10 * d_{OD} = 10 * 2,0 = 20 \text{ мм.} \quad (3.14)$$

Швидкість зварювання

$$V_{ЗВ} = \frac{15,9 * d_{OD}^2 + 67,4 * d_{OD}^{1,5}}{F_{HI}} = \frac{15,9 * 2,0^2 + 67,4 * 2,0^{1,5}}{43,75} = 5,84 \text{ мм/с (21 м/год).} \quad (3.15)$$

Швидкість подачі електродного дроту

$$V_{ПОД} = \frac{4 * F_H * V_{ЗВ}}{\pi * d_{OD}^2 * (1 - \psi_p)} = \frac{4 * 43,75 * 5,84}{3,14 * 2,0^2 * (1 - 0,1)} = 90,4 \text{ мм/с (325,4 м/год).} \quad (3.16)$$

Зварювальний струм

$$I_{ЗВ}^{(+)} = 2,0 * \left( \sqrt{1450 * 2,0 * 90,4 + 145150} - 382 \right) = 512,4 \text{ А.}$$

Приймаємо  $I = 500$  А.

Перевіряємо отримане значення струму

$$I_{ЗВ} * 180 * d_{OD}^{1,5} = 509 \text{ А.} \quad (3.17)$$

Значення величини зварювального струму не більше допустимого.

Напруга зварювання

$$U_{ЗВ} = 14 + 0,05 I_{ЗВ} = 14 + 0,05 * 500 = 39 \text{ В.}$$

Витрати захисного газу

$$q_{зг} = 0,0033 * I_{ЗВ}^{0,75} = 0,0033 * 500^{0,75} = 0,35 \text{ л/с (21 л/хв).} \quad (3.18)$$

Розрахунок швидкості обертання обичайки:

- довжини кола, по якому йде зварювання

$$L_K = d_{ш} \pi = 2,86 * 3,14 = 8980 \text{ мм} = 8,98 \text{ м.} \quad (3.19)$$

- швидкість обертання обичайки:

$$V_{об} = \frac{V_{ЗВ}}{I_K} = \frac{12,03}{5,1} = 2,36 \text{ хв}^{-1} = 0,42 \text{ об/хв};$$

$$V_{об} = \frac{V_{ЗВ}}{I_K} = \frac{42,8}{3,14 * 2,86} = 4,76 \text{ хв}^{-1} = 0,21 \text{ об/хв.}$$

### 3.4 Вибір зварювального обладнання

Виходячи з отриманих даних вибираємо джерело струму, відповідно вимогам, що висуваються до нього: вибираємо джерело живлення постійного струму, з жорсткою ВАХ, так як це необхідні умови для зварювання в CO<sub>2</sub>.

Для розрахованих параметрів режимів зварювання вибираємо випрямляч ВДУ-506.

Переваги випрямлячів ВДУ:

- надійне запалювання та стійке горіння дуги;
- наявність термозахисту від перевантаження;
- можливість як місцевого, так і дистанційного регулювання зварювальних параметрів;
- висока надійність обмотувальних вузлів;
- клас ізоляції "Н" згідно з ДСТУ 8865-70.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики ВДУ-506

Параметр	Значення
Напруга мережі живлення, В	3x380
Частота мережі живлення, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А (ПВ%)	500(ПН=60%) 390(ПН=100%)
Межі регулювання зварювального струму для жорсткої характеристики: для падаючої характеристики:	60-500 50-500
Потужність, кВА, не більше	40
Напруга холостого ходу, В не більше	85
Габаритні розміри, мм	820x620x 1100
Маса, кг	300
Примусове охолодження (вентилятор)	+

Враховуючи режими зварювання та характер виробництва вибираємо автомат А-1411ТП для зварювання в CO<sub>2</sub> з випрямлячем ВДУ-1250.

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики А-1411П

Параметр	Значення
Номінальний режим роботи (ПВ%)	60%
Діаметр дроту, мм	2,0-3,0
Швидкість подачі дроту, м/год	50,500
Швидкість зварювання, м/ч	12-240
Вертикальний хід, мм	500
Поперечне коригування електрода, мм	±130
Габаритні розміри, мм	790x600x1410

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики випрямляча ВДУ-1250

Параметр	Значення
Напруга мережі живлення, В	3x380
Номінальний зварювальний струм, А (ПВ%)	1250 (100)
Межі регулювання зварювального струму, А	250-1250
Номінальна робоча напруга, В	44
Напруга холостого ходу, В	55
Потужність, кВА	73
Габаритні розміри (ДхШхВ), мм	790x610x1410
Маса, кг	520

Для приварювання патрубків використовуємо напівавтомат ПДГО-510.

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики механізму подачі ПДГО-510

Параметр	Значення
Номінальний зварювальний струм при ПВ = 60 %, А	500
Межі регулювання зварювального струму, А	Визначається параметрами зварювального випрямляча
Межі регулювання напруги на дузі, В	
Діаметр електродного дроту, мм: - суцільний - порошковий	1,2-2,0 1,6-3,2
Швидкість подачі електродного дроту, м/хв: - при зварюванні в захисних газах - при зварюванні самозахисного порошкового дроту	1,16-18,3 1,16-5,0
Витрата захисного газу, л/хв	8,0-18,3

Маса дроту в стандартній касі діаметром 300 мм, кг	15
Маса, кг	не більше 15
Габаритний розмір (Ш*В*Д), мм	215x400x640

При конструюванні установок користуємося такими принципами:

- конструкція установки повинна забезпечувати безперешкодне та швидке встановлення та зняття виробу, доступність до місця зварювання.
- складність пристосування та доцільність його оснащення швидкодіючими механізмами для автоматизації процесу визначається виробничою програмою випуску продукції.

У серійному виробництві доцільно використання швидкодіючих механізованих пристроїв зварювального оснащення.

Обсяг ручної праці слід зменшити.

В ідеальному варіанті людина повинна лише керувати механізованими пристроями, завантаженням та розвантаженням виробу, пуском зварювальних автоматів.

Установка для зварювання стикових швів. Для зварювання стикового шва, що з'єднує два листи, проектуємо установку, зображену на рис. 3.7.

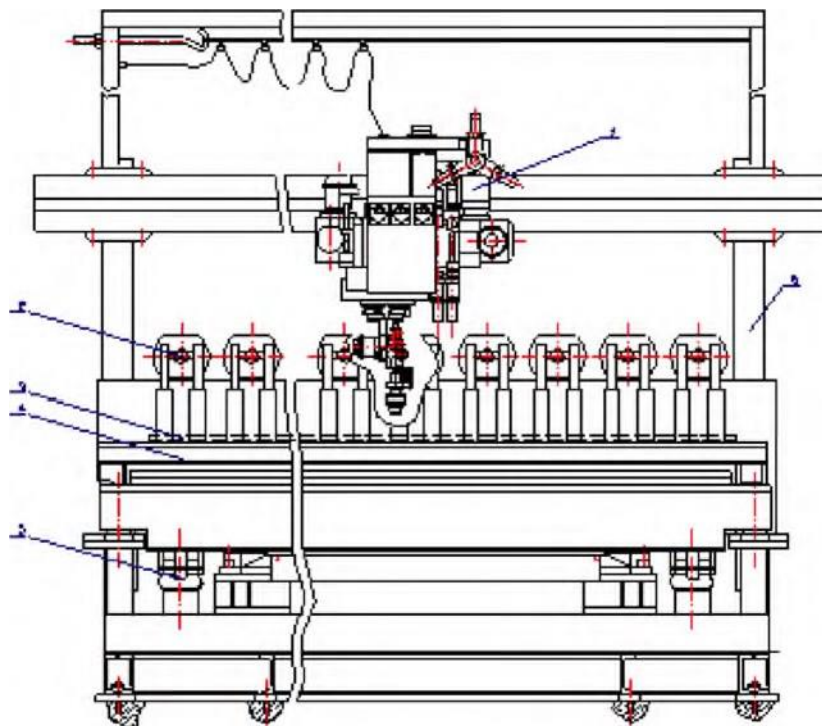


Рисунок 3.7 – Установка для зварювання стикових швів



Ця установка складається з підвісної головки для зварювання в захисних газах 1, яка рухається на порталі 6 та столу 4.

Порядок роботи установки для зварювання аркушів.

Листи 3 укладаються на стіл 4, їх кромки фіксуються поруч пневмозатискачами 2. Одночасно з нижньої сторони кромки підтискаються підйомною підкладкою 5, що приводиться в дію пневмоциліндрами.

Після фіксації листів виконується зварювання з допомогою підвісної головки.

Установка для зварювання поздовжнього шва обичайки.

Установка складається (рис. 3.8) з рами 1 та поворотної консолі 9, на якій встановлено балку з мідною підкладкою 4. На поворотну консоль встановлюється обичайка 12. Після чого консоль повертається у робоче положення та фіксується за допомогою стаціонарної стійки 3.

У зазор заготовки обичайки встановлюється ніж 10, за допомогою якого виставляється необхідний зазор. Після встановлення зазору перемикачем 8 включаються шлангові пневмозатискачі 5, які клавшами 11 притискають кромки листа до мідної підкладки та фіксують їх. Зафіксовані кромки зварюємо за допомогою зварювального трактора 7, який рухається напрямними 6.

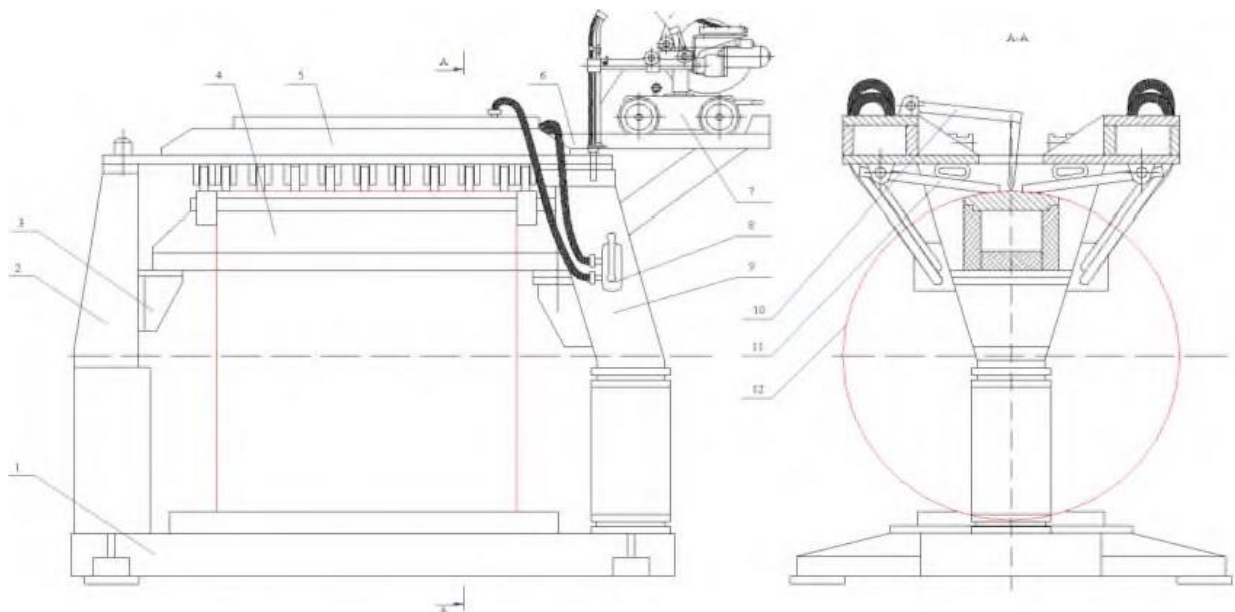


Рисунок 3.8 – Установка для зварювання поздовжнього шва обичайки зварного виробу

Установка для зварювання кільцевих швів.

Установка для зварювання кільцевих швів (рис. 3.9) являє собою роликівий стенд 1 з колоною 4, на якій встановлена підвісна головка 3.

Перед початком роботи підвісна головка встановлюється у вихідне положення (за межами роликівого стенду) для зручного встановлення обичайок підйомним механізмом. Обичайки встановлюються на роликівий стенд, після чого підвісна головка пересувається у робоче положення. Вмикається привід роликівого стенду, після чого вмикається зварювальний автомат і виконується зварювання.

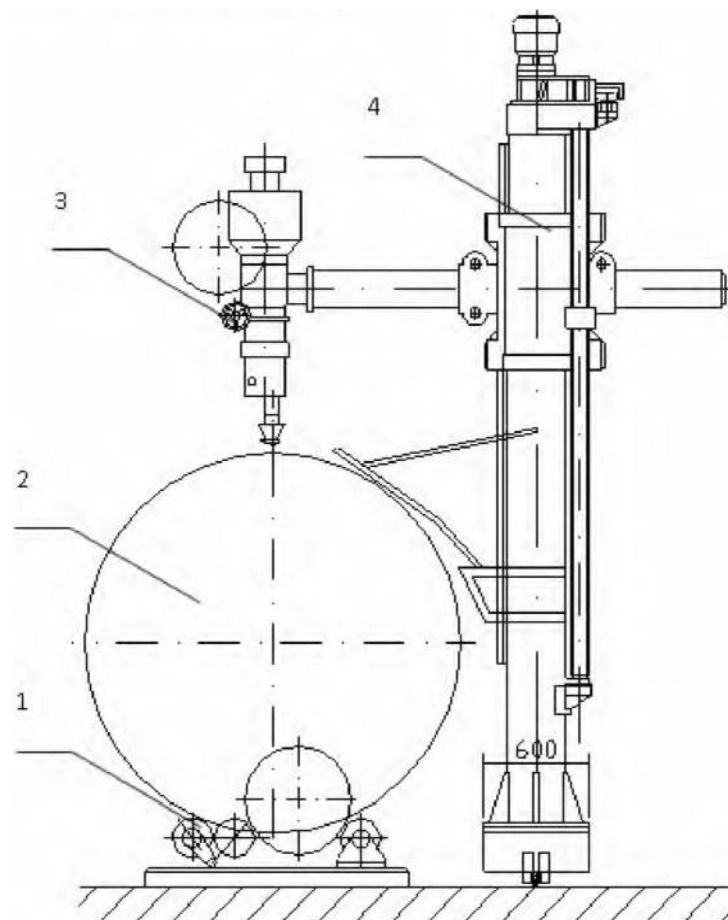


Рисунок 3.9 – Установка для зварювання кільцевих швів

Установка для вварювання днищ.

Установка для вварювання днищ (рис. 3.10) являє собою установку, що складається з роликівого стенду 1, на який встановлюється циліндрична частина резервуара 2 і двох зварювальних автоматів для зварювання в захисних газах 3.

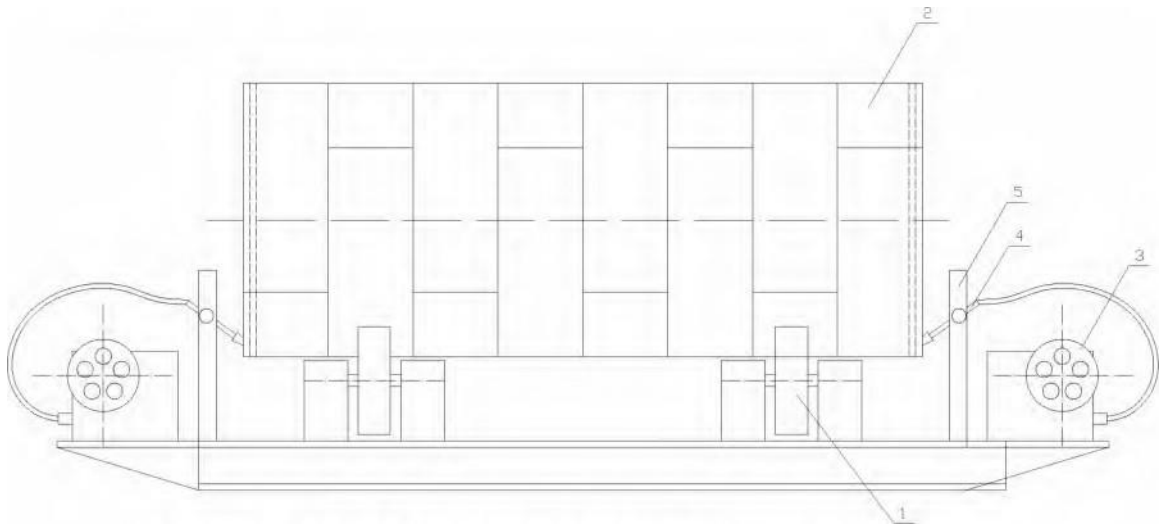


Рисунок 3.10 – Установа для зварювання днищ

Дані автомати є напівавтомати модернізовані спеціально для зварювання даного з'єднання. Пальники даних автоматів 4 закріплюються гвинтовими з'єднаннями на спеціальних штативах 5.

### **3.5 Загальний опис конструкції установки для гравітаційного зварювання**

Конструкція установки відноситься до гравітаційного типу зварювання. Ця конструкція установки виключає все відомі недоліки. Основним завданням установки є усунення браку прямолінійного зварювального з'єднання в нижньому положенні електрода, без безпосередньої участі людини.

У конструкції установки передбачений каркас трикутної форми, що складається з похилої напрямної та опорної рами. На похилій напрямній закріплена каретка для плавного переміщення електрода вниз вздовж ділянки, що зварюється. Опорна рама має вигнуте подовження над похилою напрямною, яка є опорою для гнучкого кабелю, який з'єднаний з кареткою. Також передбачені опорні стрижні, на опорній рамі, регульовані по висоті та куту нахилу. В установці передбачено два напрямних електрод елемента, стрижні, які закріплені в нижній частині опорної рами та похилої напрямної. У процесі зварювання заготовок, електрод проходить між двома напрямними стрижнями,

щоб запобігти значному коливанню та зміщенню електрода від траєкторії виконання зварювального шва. Кожен напрямний стрижень з'єднаний з частинами установки, щоб їх можна було відрегулювати до потрібного відстані розміщення електрода різного діаметра. Вузол фіксації електрода складається з двох елементів пластини та каретки. На нижньому кінці електропровідної пластини передбачений затискач, призначений для жорсткого закріплення електрода. Сама ж електропровідна пластина закріплена на каретці через ізоляційний матеріал.

Для кращого розуміння конструкції установки надаю креслення установки та її елементів з докладним описом.

На складальному кресленні 1 представлений ізометричний вид конструкції із позиційним позначенням елементів конструкції.

На складальному кресленні 2 представлений фронтальний вигляд і вид зверху з вказівкою габаритних розмірів. Також на цьому кресленні можна побачити збільшений вид напрямних електрод стрижнів та місцевий вигляд у масштабі робочої частини електрода на початок процесу зварювання.

На складальному кресленні 3 показаний вид затиску для двох опорних стрижнів. Також представлений поперечний (Г-Г) та поздовжній (В-В) розрізи цієї деталі.

На складальному кресленні 4 зображені ізометричний, головний види, вид ззаду та вид збоку каретки. Також показані поздовжні розрізи каретки та поперечний розріз електроутримувача.

Конструкція установки для гравітаційного зварювання має опорну раму 2 (рис. 3.11) і похилу направляючу 3. Установка встановлюється, таким чином, щоб похила напрямна проходила вздовж зварного шва 4, заготовок 5.

Встановлюється безпосередньо на короткий опорний стрижень 6, який розташований на нижньому кінці похилої напрямної, і пари опорних стрижнів 7, закріплених у затискному механізмі 8 на опорній рамі 2.

Опорна рама 2 з'єднана нероз'ємним з'єднанням з похилою напрямної 3, і має вигнуту верхню частину, пристосовану для підтримки гнучкого кабелю 9.

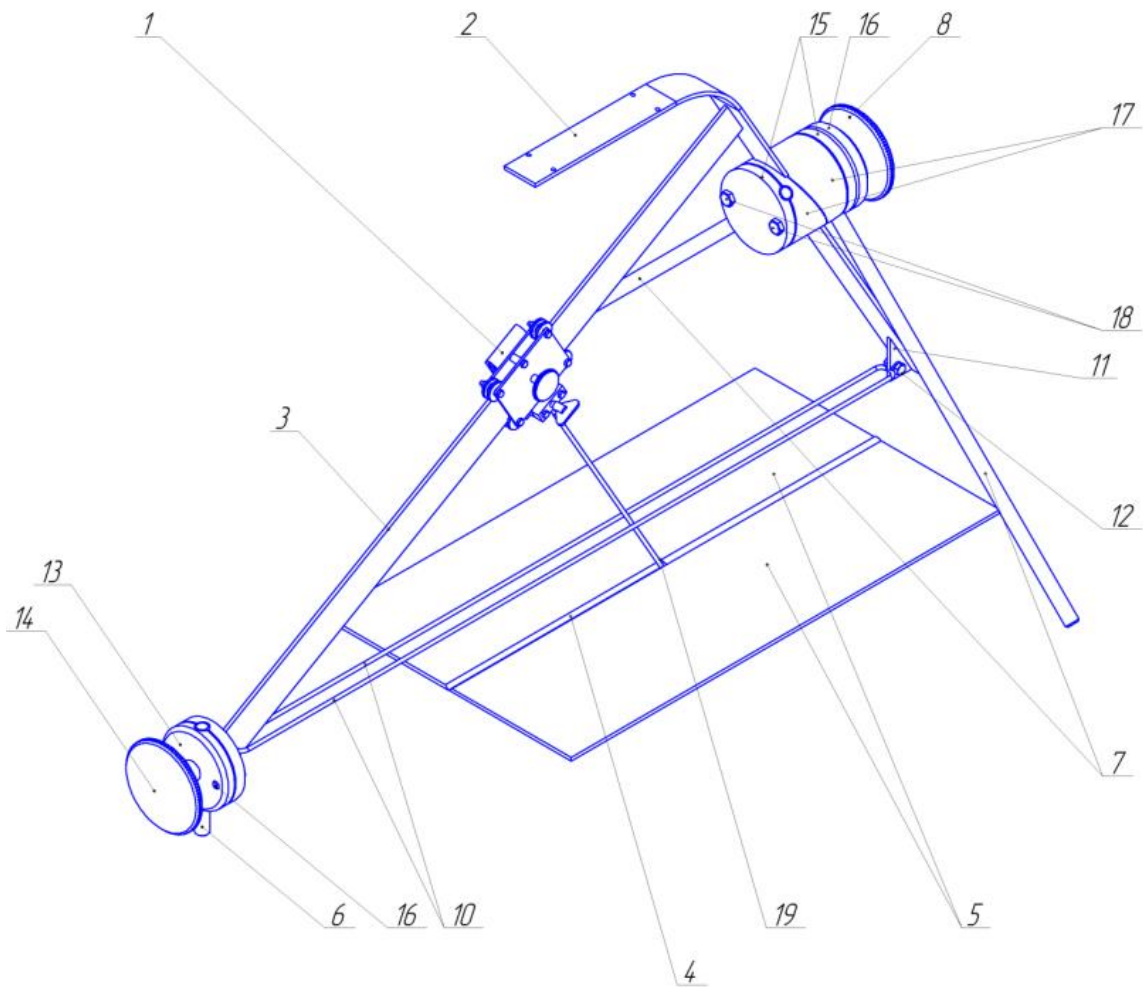


Рисунок 3.11 – Конструкція установки для гравітаційного зварювання

Гнучкий кабель з'єднаний з кареткою кабель може являти собою багатожильний дріт з безперервним покриттям, зраджує більш гнучкі параметри кабелю та зниження ваги. У конструкції установки передбачені напрямні електрод стрижні 10, які виступають у ролі обмежувача від поперечних коливань у процесі зварювання електрода 15. Напрямні з'єднані в нижній частині опорної рами і похилою напрямною на кутах кріплення 11 болтовим з'єднанням.

Так як з'єднання болтове, то можна регулювати відстань між стрижнями залежно від діаметра зварювального електрода та відстані поперечних коливань електрода. Болтове з'єднання містить болт, проходить через кут кріплення. На болт надягаються пружини та гайка. При відкручуванні гайки пружини розтискаються, і таким чином одночасно регулюють відстань між напрямними стрижнями та зберігають її постійним.

Короткий стрижень 6 з'єднаний з нижнім похилою кінцем напрямної 3, через затиск 13, що містить затискний гвинт 14.

Ослаблення гвинта 14, можна регулювати висоту нижньої частини конструкції на висоту опорного стрижня. Затискний механізм 8 на опорній рамі 2 використовується для з'єднання вертикальних опор 7 і включає в себе безліч затискних пластин 15,16,17, закріплених на двох болтах 18.

Пластини 17 закріплюються на опорній рамі 2 і здійснюють переміщення всього вузла по рамі. Пластини 15 прилягають до пластин 17, забезпечуючи затискач опорних стрижнів 7.

На пластині 16 розташовується затискний гвинт 14, який забезпечує стиснення пластин 15 і зняття напруги на болтах 18. Через все пластини проходять два болти 18, які забезпечують стиск і жорстке позиціонування всіх пластин.

Опис ізометричного виду каретки.

Тепер розглянемо ізометричний вигляд конструкції каретки, представлений на рис. 3.12.

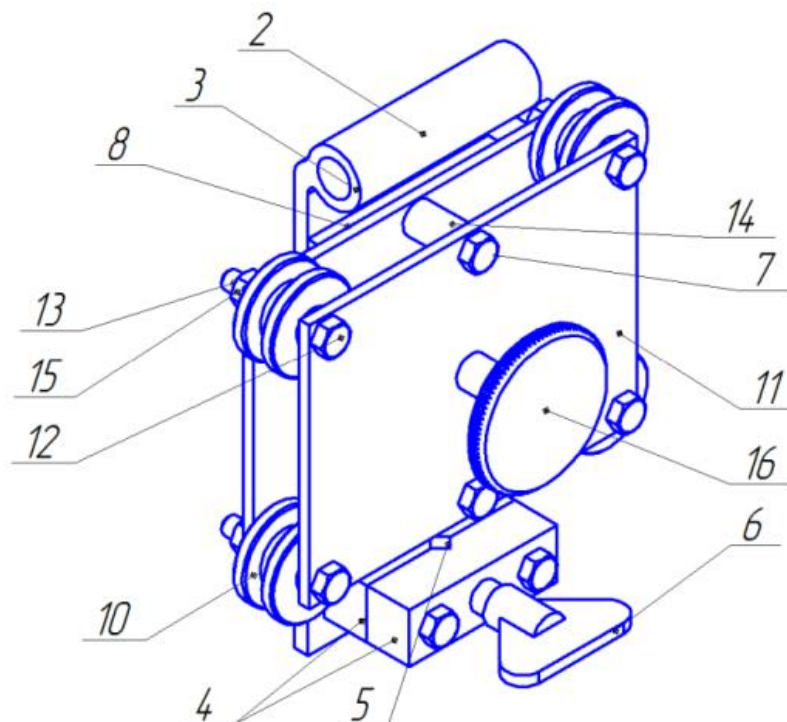


Рисунок 3.12 – Ізометричний вид каретки у зборі

На даному виді можна побачити більш детальну конструкцію каретки 1 яка переміщається вниз по похилій направляючій під дією сили тяжкості. Каретка складається з струмопровідної пластини 2, до якої приєднують гнучкий кабель у позиційний отвір 3.

На нижньому кінці пластини закріплений електродотримач, що складається з двох частин 4, у центрі яких є паз. У поєднанні двох частин електродотримача утворюється квадратний отвір 5.

Для жорсткішого закріплення електрода передбачений затискний гвинт 6.

Струмопровідна пластина з'єднана болтовим з'єднанням 7 з кареткою через текстолітову пластину 8 і текстолітові втулки, тим самим виступають як ізолятор всієї установки від напруги.

Пересування каретки по похилій напрямній здійснюється за рахунок роликів 10, які закріплені між двома каркасними пластинами 11 за допомогою болтового з'єднання 12. Болтове з'єднання 12 складається з болта 13, проставочної втулки 14, шайби та гайки 15.

Ролик встановлюється на проставальну втулку з перехідною посадкою.

Проставна втулка закріплюється на болті і підтискається каркасними пластинами 11, тим самим утворюючи нерухоме з'єднання, в той час як ролик вільно може обертатися по втулці безперешкодно, тому що між роликом та каркасними пластинами встановлюється мінімальний зазор для запобігання гальмування ролика. Також у конструкції каретки передбачений стопорний важіль 16, за допомогою якого робітник може екстрено залишити каретку, тим самим безпечним способом перерве процес зварювання деталей.

### **3.6 Розрахунок елементів оснащення**

Технічні вимоги, що пред'являються до оснащення.

Оснащення повинно забезпечувати точність деталей у процесі виготовлення виробу, та їх точну установку (допускаються відхилення в межах допуску).

Повинна бути зручною в експлуатації, не повинно виникати труднощів із встановленням заготовок. Необхідно забезпечити вільний доступ до оснастки робочого персоналу.

Розрахунок циліндричних пневмо-затискачів.

Для притиску листів стінки на стенді використовуються пневматичні притиски. Ряд пневмо-затискачів налічує 10 шт. Кожен із пневмо-затискачів має робоче зусилля 4000 Н. Так як для притискання листового металу такої товщини, не потрібно великого зусилля циліндрів. Тому виходячи із заданих даних, розраховуємо діаметр пневмо-затискачів:

$$D = \sqrt{\frac{4*q}{\pi*P_B*\mu}}, \quad (3.20)$$

де  $\mu$  – ККД пневмо-циліндра  $\mu = 0,9$ ;

$P_B$  – тиск у магістралі,  $P_B = 0,8 \dots 0,9$  МПа.

$$D = \sqrt{\frac{4*4000}{3,14*0,6-10^6*0,9}} = 97 \text{ мм.}$$

Зі стандартного ряду вибираємо пневмо-циліндри з  $D = 100$  мм, згідно з ДСТУ 15608-81.

Розрахунок пневмо-шлангового притиску.

Корисна сила ( $Q$ , Н/м) пневмо-шланга на погонну одиницю його довжини

$$Q = b*P, \quad (3.21)$$

де  $b$  – ширина майданчика тиску, м;

$P$  – тиск шланга, МПа.

Приймаємо ширину майданчика  $20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м}$ .

Тиск у магістралі приймаємо  $0,8 \text{ МПа} = 8,105 \text{ Н/м}^2$ .

$$Q = 0,02*8*10^5 = 16000 \text{ Н/м.}$$

У цьому розрахунку визначається погонна сила притиску кромки

$$h + \Delta = 8 \text{ см} = 0,08 \text{ м.}$$



Знаходимо діаметр шланга

$$d_{\text{ш}} = \frac{2Q}{\pi p} + h + \Delta = \frac{2 \cdot 16000}{3,14 \cdot 6 \cdot 10^5} + 0,08 = 0,097 \text{ м} \quad (3.22)$$

Приймаємо – 10 см

Тоді допустимий тиск повітря в пневмо-шлангу можна знайти за формулою

$$p_{\text{доп}} = \frac{2Q}{\pi(d_{\text{ш}} - (h + \Delta))} = \frac{2 \cdot 16000}{3,14 \cdot (10 - (6))} = 2547 \text{ Н/м}^2 \quad (3.23)$$

Розрахунок резервуару. Розрахувати горизонтальний резервуар об'ємом 75 м<sup>3</sup>, що працює під тиском 0,2 МПа.

Горизонтальні циліндричні резервуари встановлюються, як правило, на опорах і розраховуються як балки трубчастого перерізу під впливом рівномірно розподіленого навантаження. У стінці обичайки утворюється напруження від внутрішнього тиску рідини  $\sigma_k$  і  $\sigma_n$ , і в результаті згину  $\sigma_r$ . Матеріал з якого виробляється резервуар вибираємо з конструкційних сталей звичайної якості, оскільки резервуар не експлуатується при високому тиску, і до нього не пред'являються специфічні умови.

Попередньо визначаємо товщину стінки окремо за кожною складовою напруженого стану за формулами:

$$\delta_k = \frac{pR}{[\sigma]_{\text{ЗВ}}}; \delta_{\text{П}} = \frac{pR}{[\sigma]_{\text{ЗВ}}}; \delta_{\text{М}} = \frac{ql^2}{8\pi R^2 [\sigma]_{\text{ЗВ}}} \quad (3.24)$$

Оскільки тиск  $p$  від ваги рідини, як правило, дуже мало, визначення товщини стінок на підставі цієї формули призводить до дуже малого значення  $\delta$ . Резервуари з такими стінками немає достатньої жорсткості, тому розрахункові тиску визначаються відповідно до спеціальними технічними вказівками. Призначається найбільше значення товщини  $\delta$ .

Після цього проводять перевірку міцності стінки з урахуванням усіх компонентів напруженого стану:

$$\sqrt{\sigma_k^2 + (\sigma_{\text{П}} + \sigma_{\text{М}})^2 - \sigma_k(\sigma_{\text{П}} + \sigma_{\text{М}})} \leq [\sigma] \quad (3.25)$$

1. Визначаємо розміри резервуару.

Діаметр визначаємо виходячи із стандартних розмірів листового прокату 6000x1400мм.

Оскільки пояс обичайки виробляється півтора стандартного листа, то

$$D = \frac{1}{\pi} = \frac{1,5-1_{л}}{3,14} = \frac{1,5*6000}{3,14} = 2866,24\text{мм} = 2,86 \text{ м.} \quad (3.26)$$

Тоді довжина циліндричної частини резервуару

$$1 = \frac{4*V}{\pi D^2} = \frac{4*75}{3,14*2,86^2} = 11,68 \text{ м.} \quad (3.27)$$

2. Кількість листів з яких складається з циліндричної частини резервуара

$$N_{\text{ЛИСТ}} = 1/S_{\text{ЛИСТ}} = 11,68/1,4 = 8,34 \text{ шт.} \quad (3.28)$$

Приймаємо кількість обичайок 8 шт.

3. Визначаємо товщину обичайки за формулою:

$$\delta_{\text{к}} = \frac{pR}{[\sigma]^{ЗВ}} = \frac{0,2*1,43}{112} = 0,00255\text{м} = 2,55 \text{ мм};$$

$$\delta_{\text{п}} = \frac{pR}{2[\sigma]^{ЗВ}} = \frac{0,2*1,43}{2*112} = 0,00127\text{м} = 1,27 \text{ мм.} \quad (3.29)$$

$$\delta_{\text{м}} = \frac{ql^2}{8\pi R^2[\sigma]^{ЗВ}} = \frac{\frac{rV}{L}*I^2}{8\pi R^2[\sigma]^{ЗВ}} = \frac{10000*\frac{75}{11,68}*11,68^2}{8*3,14*1,43^2*112*10^6} = 0,0000818 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину обичайки  $\delta = 4 \text{ мм}$ .

4. Визначаємо напруження:

$$\delta_{\text{к}} = \frac{pR}{\delta} = \frac{0,2*1,43}{0,004} = 71,5 \text{ МПа;} \quad (3.30)$$

$$\delta_{\text{п}} = \frac{pR}{\delta} = \frac{0,2*1,43}{2*0,004} = 35,75 \text{ МПа;}$$

$$\delta_{\text{м}} = \frac{ql^2}{8\pi R^2\delta} = \frac{\frac{rV}{L}*I^2}{8\pi R^2\delta} = \frac{10000*\frac{75}{11,68}*11,68^2}{8*3,14*1,43^2*0,004*10^6} = 0,0023 \text{ МПа.}$$

5. Перевіряємо міцність стінки обичайки

$$\sqrt{\sigma_K^2 + (\sigma_{II} + \sigma_M)^2 - \sigma_K(\sigma_{II} + \sigma_M)} =$$

$$= \sqrt{71,5^2 + 35,75^2 - 71,5 * 35,75} = 61,92 \leq [\sigma]^{3B}.$$

6. З технологічних міркувань товщину плоского днища вибираємо рівної товщині обичайок.

7. Перевіряємо стійкість обичайки у разі вакууму ( $p = 0,1$  МПа).

Для цього випадку умова стійкості має вигляд

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_p^{кр}} + \frac{\sigma_M}{\sigma_M^{кр}} \leq 1. \quad (3.31)$$

Визначаємо напруження:

$$\sigma_p = \frac{pR}{\delta} = \frac{0,1 * 1,43}{0,004} = 35,75 \text{ МПа};$$

$$\sigma_M = 0,0023 \text{ МПа}.$$

Визначаємо значення критичної напруги при  $0,5 \leq \frac{L}{R} \leq 10$

$$\sigma_p^{кр} = 0,55 * E \left(\frac{R}{L}\right) \left(\frac{\delta}{R}\right)^{3/2}; \quad (3.32)$$

$$\sigma_p^{кр} = 0,55 * 2 * 10^5 \left(\frac{1,43}{11,68}\right) \left(\frac{0,004}{1,43}\right)^{3/2} = 2,05 \text{ МПа};$$

$$\sigma_M^{кр} = \frac{cE\delta}{R} (1 + 0,1a) = \frac{0,12 * 2 * 10^5 * 0,004}{1,43} = 67,13 \text{ МПа}$$

Визначаємо стійкість

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_p^{кр}} + \frac{\sigma_M}{\sigma_M^{кр}} \leq 1 = \frac{35,75}{2,05} + \frac{0,0023}{67,13} = 17,94.$$

Умови стабільності обичайки не виконуються.

Збільшуємо товщину стінки до 12 мм. При цьому:

$$\delta_M = \frac{ql^2}{8\pi R^2 \delta} = \frac{\frac{rV}{L} * l^2}{8\pi R^2 \delta} = \frac{10000 * \frac{75}{11,68} * 11,68^2}{8 * 3,14 * 1,43^2 * 0,012 * 10^6} = 0,000076 \text{ МПа};$$

$$\delta_{II} = \frac{pR}{\delta} = \frac{0,2 * 1,43}{2 * 0,012} = 11,91 \text{ МПа};$$

$$\sigma_p^{кр} = 0,55 * 2 * 10^5 \left(\frac{1,43}{11,68}\right) \left(\frac{0,012}{1,43}\right)^{3/2} = 10,35 \text{ МПа};$$

$$\sigma_M^{кр} = \frac{cE\delta}{R} (1 + 0,1a) = \frac{0,12 * 2 * 10^5 * 0,012}{1,43} = 201,4 \text{ МПа};$$

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_p^{кр}} + \frac{\sigma_M}{\sigma_m^{кр}} \leq 1 = \frac{11,91}{10,35} + \frac{0,000076}{201,4} = 1,15.$$

Умови стійкості обичайки для товщини 12 мм не забезпечуються.

Збільшуємо товщину стінки до 14 мм. При цьому:

$$\delta_M = \frac{ql^2}{8\pi R^2 \delta} = \frac{\frac{rV}{L} * l^2}{8\pi R^2 \delta} = \frac{10000 * \frac{75}{11,68} * 11,68^2}{8 * 3,14 * 1,43^2 * 0,014 * 10^6} = 0,000065 \text{ МПа};$$

$$\delta_{II} = \frac{pR}{\delta} = \frac{0,2 * 1,43}{2 * 0,014} = 10,21 \text{ МПа};$$

$$\sigma_p^{кр} = 0,55 * 2 * 10^5 \left( \frac{1,43}{11,68} \right) \left( \frac{0,014}{1,43} \right)^{\frac{3}{2}} = 13,05 \text{ МПа};$$

$$\sigma_M^{кр} = \frac{cE\delta}{R} (1 + 0,1a) = \frac{0,12 * 2 * 10^5 * 0,014}{1,43} = 234,96 \text{ МПа};$$

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_p^{кр}} + \frac{\sigma_M}{\sigma_m^{кр}} \leq 1 = \frac{10,21}{13,05} + \frac{0,000065}{234,96} = 0,78.$$

Умова стійкості обичайки забезпечена.

Днища резервуару. Для цього резервуару використовуємо елементи плоскої форми. Плоскі днища – тонкі пластини круглого обрису, закріплені по периметру та навантажені рівномірним по поверхні тиском (рис. 3.13).

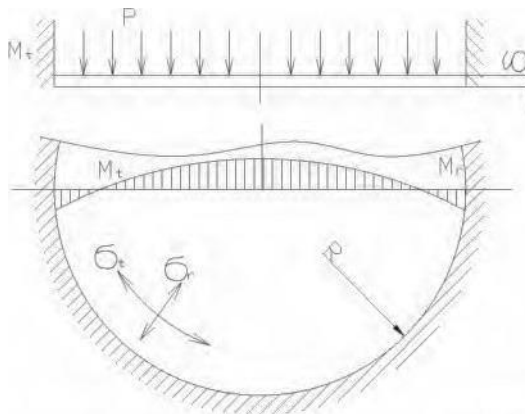


Рисунок 3.13 – Схема кільцевих  $M_t$  та радіальних  $M_r$  моментів плоских днищ

У пластині під тиском  $p$  виникнуть кільцеві  $M_t$  та радіальні  $M_r$  моменти, максимальне значення яких має місце в центрі пластини

$$M_t^{max} = M_r^{max} = K * pR^2, \quad (3.33)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що залежить від умов закріплення днища.

Для цього резервуара вибираємо з'єднання, зображене на рис. 3.14.

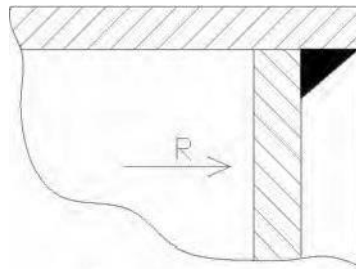


Рисунок 3.14 – Тип з'єднання

Напруга від моментів

$$\sigma_t^{max} = \sigma_r^{max} = \frac{M^{max}}{W} = K \frac{6 * p R^2}{\delta^2}. \quad (3.34)$$

Тоді потрібна товщина днища дорівнюватиме:

$$\delta_k = \sqrt{K \frac{6 * p R^2}{[\sigma]}} = \sqrt{0.53 \frac{6 * 0.2 * 10^6 * 1.43^2}{[112 * 10^6]}} = 0,016 \text{ м} = 16 \text{ мм}. \quad (3.35)$$

#### 9. Розрахунок зварювання люка.

Визначаємо необхідність посилення отвору під патрубком діаметром 450 мм у днищі резервуару товщиною 10 мм.

$$\sigma = \frac{p_n D h_n}{2[(h_n - d) \delta_n]} = \frac{20000 * 2,86 * 11,68 * 0,6}{2[(0,6 - 0,35) * 0,006] 10^6} = 133,61 \text{ МПа} > 112 \text{ МПа}. \quad (3.36)$$

Треба ставити підсилювальне кільце.

Визначаємо потрібну площу підсилювального кільця

$$F_k = d * \delta_n = 45 * 1 = 45 \text{ см}^2. \quad (3.37)$$

Визначаємо діаметр кільця

$$D_k = \frac{F_k}{\delta_k} = \frac{45}{0,6} = 75 \text{ см} = 750 \text{ мм}. \quad (3.38)$$

Перевіряємо міцність вузла з'єднання патрубку зі стінкою.

Визначаємо силу, що діє на шви, що кріплять патрубком до днища резервуару (рис. 3.15)

$$S = p \frac{\pi D_n^2}{4} = 10000 * 2,86 * \frac{3,14 * 0,45^2}{4} = 4,55 \text{ кН}. \quad (3.39)$$

Складаємо умову міцності

$$\tau = \frac{S}{4\beta K \pi D} = \frac{4546}{4 * 0,7 * 0,007 * 3,14 * 0,45 * 10^6} = 0,16 \text{ МПа} < [\tau]^{3B}. \quad (3.40)$$

Міцність забезпечена.

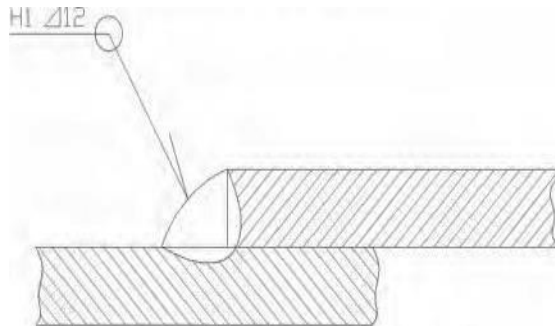


Рисунок 3.15 – З'єднання обичайок

#### 10. Перевірка міцності зварних з'єднань.

Міцність стикових (поздовжніх швів) забезпечена, оскільки товщина стінки призначалася, виходячи зі значення граничної напруги для зварних з'єднань.

Перевірці підлягають з'єднання внапусток поясів між собою та днищ з обичайкою.

Сила, що діє у швах

$$S = p \pi R^2 = 0,2 * 3,14 * 1,4^2 = 1,23 \text{ мН} = 1230 \text{ кН}. \quad (3.41)$$

Визначаємо напруження у швах

$$\tau = \frac{S}{2\beta K \pi R} = \frac{1230000}{2 * 0,7 * 0,012 * 2 * 3,14 * 1,43 * 10^6} = 8,15 \text{ МПа} < 96 \text{ МПа}$$

Умова міцності зварних швів виконується.

## 4 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 4.1. Технічні умови виготовлення резервуара

Зміщення кромки:

- на поздовжніх швах 10% від товщини стінки;
- на кільцевих швах 20% від товщини стінки.

Краї зачищаються на ширину не менше 20 мм. Підготовлені кромки підлягають візуальному огляду виявлення можливих дефектів. Не допускаються тріщини, розшарування тощо. Усі зварні шви підлягають тавруванню. Це дозволяє встановити зварювальника, який виконував ці шви.

Зварювальні роботи починаються лише після встановлення відділом технічного контролю правильного складання та зачистки всіх поверхонь. Не допускається монтаж даної конструкції на відкритих майданчиках за негативної температури навколишнього повітря.

Згідно з ТУ 3-17-191-2000, зварні шви резервуара повинні розташовуватися так, щоб обслуговуючий персонал мав можливість їхнього візуального огляду та контролю якості неруйнівними методами.

Згідно з конструктивними розмірами корпусу, ця умова виконана. Перед зварюванням зварювальні електроди та флюси прожарити відповідно до режиму вказаного на упаковці.

Джерела живлення повинні відповідати ДСТУ 5.153-77, ТУ1.94.0603-83, ТУ34-28-10857-84, ТУ26-05-105-88. Усі засоби вимірювання, встановлені на зварювальному устаткуванні, повинні бути справними та повіреними.

Зазори та кути обробки кромки, підготовлених під зварювання повинні відповідати вимогам конструкторської документації та Загальних вимог до якості.

Безпосередньо перед зварюванням кромки деталей та примикаючи поверхні повинні бути очищені від фарби, олії, іржі, при необхідності просушити від вологи.

Рекомендації щодо режимів та техніки зварювання.

Деталі перед зварюванням збирають у спеціальному устаткуванні або за допомогою прихваток.

Довжина прихваток залежить від товщини матеріалу і змінюється в межах 20...120 мм на відстані між ними 500...800 мм.

При зварюванні їх потрібно переплавляти повністю, тому перед початком зварювання прихватки ретельно зачищають і оглядають (за наявності дефектів прихватки вирубують або видаляють іншим методом).

Попередній підігрів для цієї групи сталей використовують при зварюванні на знижених температурах (-10...20) °С. Термічну обробку в нашому випадку не використовуємо. Охолодження проводимо на повітрі.

## 4.2 Вибір способу зварювання

Для зварювання даної конструкції вибираємо спосіб зварювання з основних способів:

- ручне дугове зварювання (Е);
- механізоване та автоматизоване в CO<sub>2</sub> (УП);
- автоматичне під флюсом (Ф);

Основні фактори, які безпосередньо впливають на процес зварювання:

- хімічний склад матеріалу;
- товщина;
- положення при зварюванні;
- конфігурація та довжина швів.

Крім основних перерахованих факторів на вибір способу зварювання впливають такі фактори, як програма випуску виробу та тип виробництва.

Проаналізуємо дані фактори:

- перший фактор – зварювальний матеріал сталь ВСтЗсп.3

Для цього матеріалу із запропонованих способів підходять усі способи, так ВСтЗсп має хорошу зварюваність.



Таблиця 4.1 – Доцільність використання способів зварювання сталі ВСтЗсп при першому чиннику

Метод зварювання	Доцільність використання
Ручне зварювання одиничним електродом	+
Механізована і автоматична CO <sub>2</sub> УП	+
Автоматична під флюсом (Ф)	+

- другий чинник – товщина ( $S = 12$  мм).

Для даної товщини доцільно використовувати такі способи зварювання: механізована та автоматична в CO<sub>2</sub> (УП), автоматична під флюсом (Ф), ці способи забезпечують хорошу якість шва, і більш продуктивні в порівнянні з ручним зварюванням покритими електродами (Е).

Таблиця 4.2 - Доцільність використання способів зварювання сталі ВСтЗсп при другому чиннику

Метод зварювання	Доцільність використання
Ручне зварювання одиничним електродом	-
Механізована і автоматична CO <sub>2</sub> УП	+
Автоматична під флюсом (Ф)	+

- третій чинник – становище зварювання, програма випуску, конфігурація швів.

Зварювання даної конструкції відбувається в заводських умовах, для цього використовуємо допоміжне оснащення. Тому зварювання проводиться у зручному нижньому положенні: усі шви – доступні. Конфігурація швів: перше з'єднання прямолінійне стикове; друге з'єднання кільцевий шов внапусток; третє з'єднання – кільцевий кутовий шов.

Усі шви мають довжину, за якої доцільно використовувати автоматизовані способи зварювання. Оскільки спосіб виробництва в нашому випадку – серійний, виключаємо з розгляду ручне дугове зварювання покритим електродом (Е) як найбільш непродуктивний і дорогий спосіб.

Для зварювання цих швів вибираємо автоматичне зварювання в CO<sub>2</sub>.

### 4.3 Технологія збирання та зварювання резервуара

Дана конструкція складається з обичайок двох плоских днищ та трубного вузла. Перед операціями прихватки та зварювання на всіх торцях здійснюється зачищення кромки. Робиться дана операція за допомогою різальних та шліфувальних інструментів.

Розгортка циліндричної частини корпусу перевищує розміри одиничного листа заготовки, тому ця частина резервуара, як уже зазначалося, виготовляється з 8 обичайок, отримані шляхом вальцювання кожного листа. За умовою ТУ 3-020-2001 зварні шви повинні бути паралельні створюваній обичайці, а ширина між швами не менше 800мм, ширина замикаючої частини обичайки – не менше 400 мм.

Враховуючи ці розміри з розмірами конструкції даного проекту, умова виконана.

Послідовність та техніка зварювання.

Першим етапом виготовлення конструкції є виготовлення обичайок. В даному випадку обичайка складається з двох листів, які зварюються між собою стиковим швом за допомогою автоматичного зварювання в захисних газах. Після зварювання поздовжнього шва необхідно повністю зняти його посилення передачі звареного листа на прокатні вальці.

Другим етапом є зварювання стикових швів вальцюваного листа заготовок обичайок. Для цього використовуємо складально-зварювальну установку, яка дозволяє скласти стик обичайок та виконати автоматичне зварювання в захисних газах. Зварювання даних швів виконується без прихваток, за три проходи: виконується кореневий шов і два заповнювальні.

Оскільки поздовжні шви призводять до порушення прямолінійності утворюють обичайки та зменшення кривизни у зоні шва у поперечному перерізі (рис. 4.1). Використовуємо прокатку даного шва роликками для надання правильної форми циліндричній обичайки. Крім того даною операцією досягається зняття напруги у шві та навколо шовній зоні.

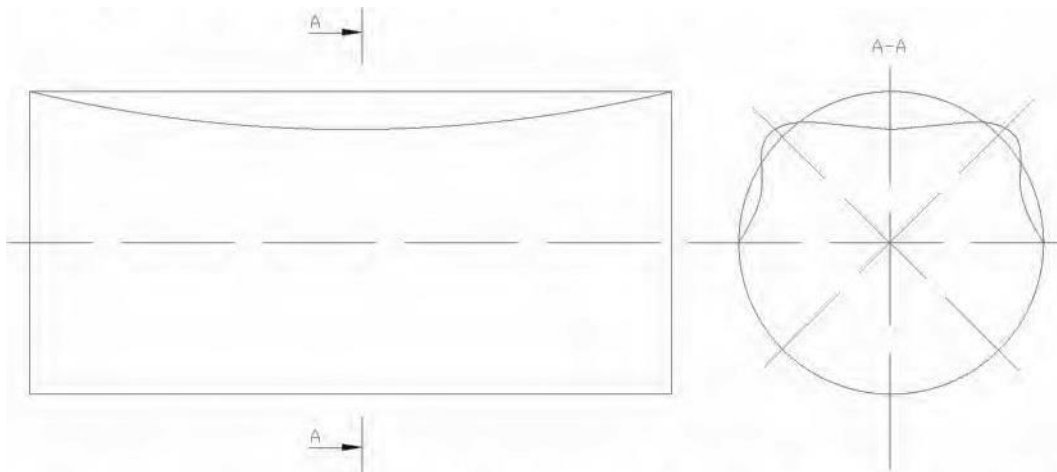


Рисунок 4.1 – Характер деформацій обичайки від поздовжнього шва

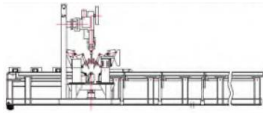
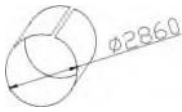
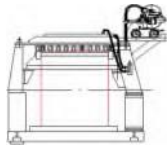
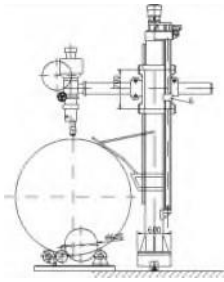
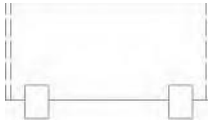
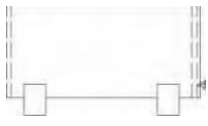
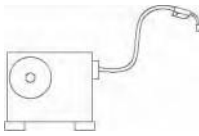
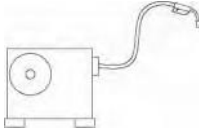
Після зварювання та правки поздовжнього шва обичайка передається на встановлення складання та зварювання кільцевих швів. Для зварювання кільцевих швів внапусток використовуємо також багато прохідне автоматичне зварювання в захисних газах. На цій установці обичайки складаються між собою, після чого виконуються прихватки механізованим зварюванням у захисних газах. Після виконання прихваток відбувається зварювання кільцевого шва. Для зварювання даного шва застосовуємо установку, що складається з пересувної колони із закріпленою на ній зварювальною головкою та роликового стенду. Зварювальна головка має три щаблі свободи, завдяки чому оператор має можливість встановити пальник з необхідною точністю. Перед встановлення пальника відбувається при переміщенні колони вздовж конструкції. На цій установці відбувається додавання всіх восьми обичайок шляхом поступового набору та приварювання на стенді. Після того, як усі вісім обичайок будуть зібрані в одну складальну одиницю, вона передається на наступну установку вварювання днищ. Дана установка є також роликовим стендом і зварювальним автоматом, який сконструйований на базі напівавтомата ПДГ-508. Цей автомат складається з механізму подачі ПДГ-508, і штатива на якому кріпиться пальник. Положення пальника виставляється перед зварюванням та фіксується гвинтовими з'єднаннями.


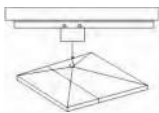
На одному з днищ встановлено люк. Для його приварювання використовуємо механізоване зварювання.

Технологія виготовлення.

На основі розробленої технології складаємо технологічний процес виготовлення резервуара, наведений у табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Технологічний процес виготовлення резервуара

№ п/п	Назва операції	Умовне зображення	Технологічний перехід
<b>Виготовлення обичайки</b>			
30	Зварювальна		Виконати автоматичне зварювання листового прокату в CO <sub>2</sub>
40	Вальцівка		Виконати вальцювання листа зовнішнім діаметром 2,86 м та 2,83 м.
45	Зварювальна		Виконати зварювання поздовжнього шва в CO <sub>2</sub>
75	Збірно-зварювальна		Встановити обичайки на роликівий стенд і виконати зварювання кільцевого шва
80	Складальна		Встановити циліндричну частину та днище на роликівий стенд
85	Зварювальна		Виконати приварювання днищ
95	Збірно-зварювальна		Встановити підсилювальне кільце та виконати прихватки механізованим зварюванням
100	Зварювальна		Приварити кільце механізованим зварюванням

110	Збірно-зварювальна		Встановити люк та виконати прихватки
115	Зварювальна		Приварити люк механізованим зварюванням
120	Слюсарна		Зачистити шви шліфувальними машинами
120	Контрольна		Виконати контроль розмірів резервуару та герметичності швів
125	Оздоблювальна		Виконати ґрунтування резервуару
130	Транспортна		Доставити виріб на склад готової продукції

#### 4.4 Контроль якості

Атестація технології зварювання.

Технологія зварювання при виготовленні та монтажі резервуарів допускається до застосування лише після підтвердження її технологічності на реальних виробках, перевірки всього комплексу необхідних властивостей зварних з'єднань та освоєння ефективних методів контролю якості. Технологія зварювання, що застосовується. Дослідницька атестація проводиться головною організацією зі зварювання або підприємством (спільно чи самостійно) під час підготовки до впровадження нової, раніше атестованої технології зварювання. Виробнича атестація проводиться кожним підприємством виходячи з рекомендацій, виданих з висновків дослідницької атестації.

Характеристики зварних з'єднань, що визначаються при дослідній атестації, вибирають залежно від типу та призначення основного металу та умов експлуатації зварних з'єднань з наведених нижче:

Механічні властивості: тимчасовий опір розриву, кут загину зварного з'єднання, межа плинності, відносне подовження та відносне звуження металу шва, ударна в'язкість металу шва та зони термічного впливу зварювання; тривала міцність, пластичність, повзучість; циклічна міцність.

Контроль якості під час та після монтажу

Об'єм контролю зварних з'єднань:

- Зовнішній (візуальний) огляд -
- Неруйнівний контроль – 100%.
- Радіографія – 20% в т.ч. 100% у місцях перетину.
- Ультразвуковий контроль – 80%.

Зовнішній огляд.

Візуально-вимірювальному контролю підлягають усі зварні сполуки цієї судини з метою виявлення в ній таких дефектів:

- невідповідність форми та розмірів швів встановленим вимогам технічної документації;
- зсувів і спільного відведення кромки елементів, що зварюються, вище норм;
- не прямолінійності елементів, що з'єднуються;
- тріщин всіх видів та напрямків;
- нориці та пористості зовнішньої поверхні шва;
- подрізів;
- напливів, пропалів, наявності кратерів.

Перед візуальним контролем поверхню зварного шва та прилеглі ділянки основного металу завширшки не менше 10 мм в обидві сторони від шва очищають від шлаку та інших забруднень.

Візуальний контроль та вимірювання зварних з'єднань проводяться із зовнішньої та внутрішньої сторони по всій довжині швів.

Неруйнуючий контроль.

До неруйнівного контролю резервуара відноситься радіографія та ультразвуковий контроль. В основі даного методу виявлення дефектів лежать закони ослаблення іонізуючого випромінювання речовиною та способи реєстрації інтенсивності випромінювання об'єктом просвічування. Як реєстратори випромінювання в радіографічному методі неруйнівного контролю використовують рентгенівські плівки.

Радіографічний контроль проводиться з метою виявлення в зварних з'єднаннях внутрішніх дефектів (тріщин, непроварів, пір, шлакових включень та ін.). Контроль зварних з'єднань судини здійснює лише фахівець, який пройшов спеціальну теоретичну підготовку та практичне навчання та пройшов атестацію в установленому порядку.

При ультразвуковому контролі використовуються: ультразвуковий імпульсний дефектоскоп за ДСТУ 230949-89 не нижче другої групи з п'єзоелектричними перетворювачами, зразки для налаштування дефектоскопа, допоміжні прилади та апарати для дотримання параметрів сканування та вимірювання характеристик виявлених дефектів.

Використовуються для цього методу дефектоскопії тільки електромагніто акустичні перетворювачі.

Зварне з'єднання готують до ультразвукового контролю за відсутності з'єднання зовнішніх дефектів.

У цій конструкції перетворювач переміщують у межах навколо шовної зони, що підлягає контролю.

Поверхня з'єднання, якою переміщують перетворювач, повинна мати вм'ятин і нерівностей, з поверхні очищаються забруднення.

Зварне з'єднання маркують і поділяють на ділянки таким чином, щоб одночасно встановлювати розташування дефекту по довжині шва.

Кут введення променя та межі переміщення перетворювача слід вибирати такими, щоб забезпечувалося прозвучування перерізу шва прямим та відбитим променями або тільки прямим променем.

Тривалість розгортки слід встановлювати так, щоб більша частина розгортки на екрані електронно-променевої трубки відповідала шляху ультразвукового імпульсу металу контрольованої частини зварного з'єднання.

#### Випробування виробу на герметичність

Після зварювання резервуар підлягає обов'язковому гідравлічному випробуванню. Даний резервуар після монтажу підлягає ґрунтуванню та фарбуванню поверхні, тому гідравлічне випробування проводиться лише перед цією операцією. Рекомендується провести гідравлічне випробування пробним тиском Р 20,6 кгс/см водою з температурою в межах від 5 до 40 °С протягом 10 хвилин, після чого тиск знизити до 16 кгс/см і провести огляд усіх зварних з'єднань, а також усієї поверхні при незмінному тиску. Дані роботи з гідравлічного випробування проводяться з урахуванням вимог.

Вважається, що посудина, що витримала гідравлічне випробування, якщо не виявлено:

- течій, тріщин, потіння у зварних з'єднаннях та на основному металі;
- видимих залишкових деформацій;
- падіння тиску за манометром.

Величина пробного тиску та результати випробувань заносяться в паспорт судини особою, яка проводила ці випробування.

#### Розробка схеми контролю якості

З метою забезпечення стабільної якості вихідної продукції, а також зменшення частки шлюбу пропонуємо розробити алгоритм, який називається схемою якості. Схема забезпечення якості наочно показує основні технологічні переходи, після яких може виникнути шлюб. Схема також чітко вказує на те, які параметри повинні контролюватись і заходи, які необхідно взяти в результаті виявлення не відповідностей даних параметрів.



## **5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **5.1 Безпека в надзвичайних ситуація**

#### **5.1.1 Аналіз та усунення потенційних небезпек та шкідливості технологічного процесу**

Небезпека ураження електричним струмом.

Складально-зварювальна ділянка включає в себе різне електрообладнання та електроустановки внаслідок цього виникає небезпека ураження електричним струмом. Тож у приміщенні необхідно підтримувати певний мікроклімат, вологість, спека, їдкий пил руйнівню діють на ізоляцію.

Ділянка складання та зварювання відноситься до приміщень III класу, тобто до приміщень з особливо небезпечним ураженням електричним струмом. Мережа зварювального обладнання є 380 В.

Тому струмопровідні проводи надійно ізолюються і розміщені в закритих пазах підлоги. Поверхня обладнання пофарбована струмо-непровідною фарбою, струмопровідні частини обладнання огорожені. В наявності пристрої захисного блокування та лінійного захисту, написи та таблички у місцях ураження струмом.

Всі конструктивні елементи обладнання, що працюють під напругою закриті захисними кожухами.

На ділянці використовується метод захисного заземлення,

Вихідні дані до розрахунку захисту від ураження електричним струмом:

- напруга електроустановок 380 В;
- ґрунт – глина;
- розміри ділянки цеху 12x27 м;
- глибина закладення стержнів від поверхні землі  $H = 3\text{м}$ .

Необхідно провести розрахунок заземлюючого пристрою для електроустановок.

1. Приймаємо в якості заземлювачів стержні довжиною  $l_c = 3$  м з сталевих труб діаметром  $d = 50$  мм. З'єднання заземлювачів проводимо за допомогою зварювання сталюю смугою шириною  $b = 40$  мм.

2. Питомий опір ґрунту з урахуванням сезонних змін вологості для вертикальних стержнів визначаємо за формулою, Ом м

$$p_{oc} = \psi * p_o, \quad (5.1)$$

де  $p_o$  – питомий опір ґрунта – 40, Ом\*м;

$\psi$  – коефіцієнт сезонності,  $\psi = 1,5$ .

$$p_{oc} = 1,5 * 40 = 60 \text{ Ом*м.}$$

3. Супротив розсіювання електричного струму з одного стержня, Ом:

$$R_c = (p_{oc} / 2\pi * l_c) (\ln(2 * l_c / d) + 0,5 \ln(4t + l_c) / (4t - l_c)), \quad (5.2)$$

де  $l_c$  – довжина стержня – 3 м;  $d$  – діаметр стержня з труби – 0,05 м;  $t$  – відстань, від поверхні землі до середини стержня – 2 м.

$$R_c = (40 / 2 * 3,14 * 3) * (\ln(2 * 3 / 0,05) + 0,5 \ln(4 * 2 + 3) / (4 * 2 - 3)) = 24,4 \text{ Ом.}$$

4. Попередня кількість заземлювачів, шт..

$$n_{np} \eta_c = R_c / R_3, \quad (5.3)$$

де  $R_3$  – опір розтіканню струму заземлювального пристрою відповідно до ПУЕ – 4 Ом;

$\eta_c$  – коефіцієнт використання вертикальних стрижнів.

$$n_{np} = 24,4 / 4 = 6 \text{ шт.}$$

5. Виходячи з умов закладання заземлювального пристрою (розміри майданчика, розміщення стрижнів по контуру) знаходимо довжину сполучної смуги, м:

$$l_n = 2 * 36 + 2 * 17,5 = 136 \text{ м;} \quad (5.4)$$

$$\lambda = 136 / 6 = 22,3 \text{ м;} \quad (5.5)$$

$$\lambda / l_c = 22,3 / 3 = 7,4 \text{ м,} \quad (5.6)$$

де  $\lambda$  – відстань між стрижнями, м,

6. Визначимо питомий опір ґрунту для сполучної смуги, Ом\*м:

$$p_{c.n.} = \psi * p_o; \quad (5.7)$$

$$p_{c.n.} = 40 * 3 = 120 \text{ Ом*м.}$$

7. Опір розтіканню струму з сполучної смуги, Ом:

$$R_n = [p_{o.n.} (2\pi * l_n)] * \ln \left[ \frac{2l_n^2}{b * H} \right], \quad (5.8)$$

де  $b$  – ширина смуги, м;

$H$  – глибина закладання смуги від поверхні землі, м;

$l_n$  – довжина смуги, м.

$$R_n = [120(2 * 3,14 * 136)] * \ln[(2 * 136^2) / (0,04 * 3)] = 2 \text{ Ом.}$$

8. Визначимо коефіцієнт використання вертикальних стрижнів та коефіцієнт використання сполучної смуги.

Приймаємо:  $\eta_c = 0,07$ ,  $n_{np} = 0,85$ .

9. Результуючий опір заземлювального пристрою, Ом:

$$R_{zy} = (R_c * R_n) / (R_c * \eta_{\Pi}) + (R_{\Pi} * n_{np} * \eta_c), \quad (5.9)$$

$$R_{zy} = (24,4 * 2) / (24,4 * 0,85) + (2 * 6 * 0,07) = 1,65 \text{ Ом.}$$

$1,65 \leq 4$  умова виконується.

10. Уточнимо кількість стрижнем, шт.:

$$n = (n_{np} * \eta_c) / \eta_c; \quad (5.10)$$

$$n = 6 / 0,85 = 7 \text{ шт.}$$

Стрижні розміщуємо по периметру цеху через 7 метрів.

### 5.1.2 Небезпека термічного опіку

До небезпечних шкідливих факторів можна віднести: дотик до гарячих частин виробу; виплеск бризок розплавленого металу.

Щоб уникнути опіків необхідно забезпечити працюючих засобами індивідуального захисту:

- захисними окулярами;
- спецодягом (рукавиці, шапочка, куртка зі штанами або фартух та спецвзуття).

### Вібрація.

Машини та обладнання, що використовується в технологічних процесах, є джерелом вібрації, які у свою чергу по ґрунту передаються фундаментам рядом розташованих будівель, викликаючи коливання різних конструкцій.

До джерел вібрації в забудові можна віднести компресори, насоси і тому подібне.

Вібрація у житловій забудові залежить від частоти вимушених коливань, характеру вібрації, часу доби, тривалості дії вібрації.

Захист від вібрації у житловій забудові може передбачатися таким чином:

- під час проектування житлової забудови розраховується рівень вібрації від джерела у передбачуваному місці будівництва на допустимій відстані, де вібрація не перевищує встановлених норм;
- при сформованій жовтій забудові забезпечити нормовану вібрацію відстанню можливості не надається, тому захист від вібрації забезпечується шляхом віброізоляції джерела вібрації.

Як віброізолятор використовують сталеві пружини, ресори, пневматичні системи. Віброізолятори розміщують у чотирьох точках по кутах прямокутника. У необхідних випадках встановлюють додаткові віброізолятори симетрично щодо центру тяжкості обладнання.

Віброізолюючі основи під обладнання повинні забезпечувати ефективність акустичної віброізоляції.

Параметри вібрації визначаємо досвідченим шляхом відповідно до ДСТУ 12.1.012 ССБТ «Вібрація. Загальні вимоги до проведення вимірів».

У нашому випадку зниження рівня вібрації не потрібно, оскільки вона не перевищує гранично-допустимої норми  $60 \text{ дБ} \leq 99 \text{ дБ}$ .

### **5.1.3 Аналіз та заходи щодо запобігання надзвичайним ситуаціям**

Попередження аварій технологічного обладнання. Під час роботи на устаткуванні необхідно стежити за правильною роботою обладнання.

Забезпечення вибухонебезпечної безпеки. За пожежною безпекою ділянка відноситься до категорії «Г».

Джерела запалювання:

- бризки розплавленого металу;
- замикання електропроводки.

Займисті речовини не застосовуються.

Як засоби пожежогасіння використовуються вогнегасники типу ОУ2А, ОУ5 тощо. або порошкові вогнегасники зі складом ПСБ-3.

Також на ділянці є брут, багор, цебро, комплект для різання електричних проводів, азбестове полотно, лопата, лопата совкова, рукав пожежний, захисний екран 1,4х2 м, стійка для екранів, бак з піском .

З метою уникнення спалаху слід виключити попадання бризок розплавленого металу на горючі матеріали. Усі електричні ланцюги живляться через запобіжні щити.

### **5.1.4 Забезпечення стійкості об'єкта**

На стадії проектування генерального плану підприємства відповідно до будівельних норм і правил розриви між виробничими будинками та спорудами, залежно від їх вогнестійкості, становлять 9-18 м.

Склади горючих газів, легкозаймистих рідин проектують у підземних або напів-заглиблених спорудах на відстані 100 м від виробничих об'єктів.

Вибухонебезпечні об'єкти мають у своєму розпорядженні з підвітряного боку стосовно приміщень категорії Г і Д.

На території підприємства передбачають притулки для персоналу від засобів масового ураження.

Зовнішні мережі протипожежного водопостачання закріплюються та прокладаються не ближче 5 м від стін будівлі (за межами зони можливого обвалення конструкцій будівлі) та не далі 2 м від доріг (проїздів). У цій зоні забороняється паркування автомобілів. Тупикові лінії водопостачання допускаються завдовжки трохи більше 50 м.

Діаметр трубопроводів для таких ліній приймають щонайменше 100 мм. Пожежні гідранти на водопровідній мережі мають на відстані не більше 100 м один від одного.

## **5.2 Охорона праці**

### **5.2.1 Загальна характеристика проектного об'єкта з погляду безпечних умов праці**

Машинобудування одна із травмо небезпечних виробництв, отже, поліпшення умов охорони праці має величезне соціальне та екологічне значення.

Завдання охорони праці - звести до мінімуму ймовірність ураження чи захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту за максимальної продуктивності праці.

У свою чергу, продуктивність праці підвищується за рахунок збереження здоров'я та працездатності людини, економії живої праці шляхом підвищення рівня використання робочого часу, продовження періоду активної трудової діяльності людини, економії суспільної праці шляхом підвищення якості продукції, поліпшення використання основних виробничих фондів, зменшення кількості аварій.

На основі підвищення технічного рівня виробництва скорочується застосування ручної та важкої праці, підвищується рівень оснащення підприємств засобами виробничої санітарії, техніки безпеки та пожежної безпеки.

Головним завданням є створення безпечного обладнання, технологій та засобів транспортування, професійні захворювання та травматизм скорочується. Здоров'я людей часто компенсується надбавками до заробітної плати.

Об'єктом розробки є розробка технологія збирання та зварювання горизонтального резервуара.

У проєктованому варіанті пропонується ввести механізоване та автоматичне зварювання в суміші газів (аргон + вуглекислий), а також автоматичне під шаром флюсу, складально-зварювальні пристрої що в значною мірою покращить умови праці та зменшить травматизм.

### **5.2.2 Об'ємно-планувальне рішення будівлі проєктованої ділянки**

Мінімальна площа на кожного робітника – не менше 4,5 м<sup>2</sup>, а обсяг 15 м<sup>3</sup>.

Відстань між обладнанням 1,5 – 2 м, в залежності від його розташування.

Висота до стелі  $H = 9$  м;

Площа ділянки  $S = 324$  м<sup>2</sup>.

Об'єм ділянки  $V = 3240$  м<sup>3</sup>.

Довжина ділянки = 27 м;

Ширина ділянки  $A = 12$  м-коду.

Ці дані відповідають санітарним нормам СП 2.2.1.1312-03

Проєктована ділянка може перебувати на території заводу, і буде належати до IV класу шкідливості.

Ширина санітарної зони – 50 м.

Будівля, в якій знаходиться ділянка, зверху захищена покриттям, на якому розміщена теплоізоляція для підтримки в будівлі необхідної температури, а поверх її гідроізоляційний шар. Знизу навколо навантажених стін робиться вимощення з ухилом 0,03, що служить для відведення дощових та талих вод від фундаменту та цоколя. У стінах будівлі передбачені регульовані припливні та витяжні отвори Для індивідуального захисту від шкідливої пари та пилу у робочого персоналу є респіратори.

### 5.2.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат виробничих приміщень.

На ділянках виконуються роботи, що відносяться до фізичних робіт середньої тяжкості (категорії Па) — роботи середньої тяжкості охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії становить від 150 до 200 ккал/год (172 — 232 Дж/с), це роботи, пов'язані з ходьбою та перенесенням невеликих (до 10 кг) ваг.

Таблиця 5.1 - Мікроклімат виробничих приміщень

Сезон року	Категорія роботи	Температура, °C		Відносна вологість		Швидкість повітря	
		В робочій зоні		Оптималь.	Допуст.	Оптималь.	Допуст.
		Оптималь.	Допуст.				
Холодний	Па ккал/ч	18-20	17-23	60-40	75	0,2	0,3
Теплий		21-23	18-27	60-40	65	0,3	0,2-0,4

Для підтримки необхідної температури передбачено водяну систему опалення. Так само в період холодної пори року використовуються надлишки тепла разом із опаленням. Для встановлення оптимального мікроклімату в будівлі ділянки передбачено вентиляцію.

Освітлення.

Нормальне освітлення створює хороші умови для роботи. На ділянці використовується як штучне, і природне освітлення. Значення коефіцієнта природного освітлення встановлюється відповідно до СНиП 23-05-95.

Враховуючи, що робота, що виконується на ділянці, відноситься до робіт середньої точності (розряд зорової роботи IV), приймаємо коефіцієнт природного освітлення  $K_{EO} = 4$ .

Розмір об'єкта, що розрізняється, від 0,5 до 1 мм. Приймаємо освітленість  $E_n = 300$  лк. Відповідно до СНиП 23-05-95 під час виконання робіт I-IV розряду слід застосовувати комбіновану систему освітлення.



Рационально спроектоване освітлення приміщень дозволяє підвищити якість роботи та безпеку праці. Розрахунок загального штучного освітлення наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків

Назва приміщення	Характер зорової роботи та її розряд	Розмір розрізнення, мм	Нормоване значення КЕО,		Нормована освітленість при штучному освітленні, лк		тип світильника, марка, потужність, світловий потік
			комб. осв.	бок. осв.	комб. осв.	В т.ч. загал.	
1	2		4	5	6	7	8
Ділянка для зварювання	Середня точність IV	Від 0,5 до 1,0	750	200	750	200	TOPFLOOD НІТ 1000 dw E40, 80000 лм

Господарсько-питне водопостачання.

Загальна витрата води на господарсько-питні потреби, виходячи з норм споживання на 1 особу за зміну на питні потреби до 5 л і 3 л;

На один кран умивальника витрата води – 180 л/год.

На ділянці, що розглядається, роботу виконують 10 робітників.

Загальна витрата води для цієї ділянки наведена у табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Витрата води для ділянки, що проектується

Цех, ділянка, відділення	Кількість працюючих	Потреба у воді, л		
		Для пиття	для госп. цілей	всього
Ділянка для зварювання	10	30	450	480

Шум, інфразвук, ультразвук.

Об'єктів створюють шум у цеху немає.

Рівень інфразвуку та ультразвуку не перевищує гранично допустимого, тому розрахунок непотрібен.

## ВИСНОВОК

У випускній кваліфікаційній роботі розроблено технологію складання та зварювання горизонтального резервуару.

При цьому основний матеріал проаналізовано з точки зору зварюваності та відповідність його механічних характеристик висунутим вимогам.

Вибрано способи зварювання, підібрано зварювальні матеріали та розраховано режими зварювання.

Підібрано зварювальне обладнання для зварювання кожуха, також підібрано допоміжне обладнання та розраховано пристрої для зварювання.

Проаналізовано техніко-економічні показники собівартості виробу, розроблено планування ділянки.

Розраховано висвітлення ділянки та визначено заходи щодо техніки безпеки на ділянці збирання та зварювання, а також розглянуто питання забезпечення стійкості підприємства у надзвичайних ситуаціях.

В результаті проведеної роботи розроблено новий технологічний процес складання та зварювання горизонтального резервуара.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козій Я.В., Козій В.З., Магеровський Д.Б. Процес електродугового зварювання габаритних зварних конструкцій: тези доп. XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 7-8 грудня 2023 р. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. С. 125 – 126.
2. Кривов Г.О., Зворикін К.О. Виробництво зварних конструкцій : підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: КВІЦ, 2012. 896 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавением : під ред. академіка Б. Є. Патона. К.: Машинобудування, 1974. 767 с.
4. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник. Миколаїв : НУК, 2004. 225 с.
5. ДСТУ 8713-79 Зварювання під флюсом. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
6. ДСТУ 14771-76 Дугове зварювання в захисних газах. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
7. Александров О.Г., Антонюк Д.А., Капустян О.Є. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення : навч. посібник. Львів : Новий світ, 2013. 224 с.
8. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. К.: Основа, 2021. 400 с.
9. Пулька Ч.В. Пути совершенствования технологии индукционной наплавки тонких стальных дисков/ Ч.В. Пулька, О.Н. Шаблій, В.Н. Барановский [та ін.] // Междун. науч.-техн. и произв. журнал «Автоматическая сварка». 2015. № 5–6 (742). С. 64–67.
10. Пулька Ч.В. Математична модель оптимізації енерговитрат індукційного наплавлення / Ч.В. Пулька, О.М. Шаблій, В.М. Барановський [та ін.] // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Серія «Техніка і енергетика АПК» / Редкол.: С.М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. К., 2015. Вип. 226. С. 386–393.

11. Стельмах І.С. Перспективи використання методу плазмового зварювання для відновлення культиваторних лап / І.С. Стельмах, Г.А. Герасимчук, В.М. Барановський // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). Луцьк : ЛНТУ, 2015. Вип. 51. С. 182–186.

12. Pulka Ch.V. Ways of updating the technology of induction surfacing of thin steel disk / Ch.V. Pulka, O.N. Shably, V.M. Baranovsky [but other] // The Paton WELDING JOURNAL. Kiev, E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. May-June 2015. – № 5–6/2015. – Pg. 59–62.

13. Лопата Л.А. Создание износостойких композиционных покрытий на основе порошков самофлюсующихся сплавов электроконтактным припеканием / Л.А. Лопата, В.Я. Николайчук, В.Н. Барановский, С.Л. Чиграй // Проблемы трибологии. Міжн. наук. журнал : Хмельницький нац.ун-т. 2015. № 4. С. 92–98.

14. Барановський В. Експериментальні дослідження контактного точкового зварювання деталей сільськогосподарських машин / Віктор Барановський // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль, 2015. – Т. 4 (80). С. 111–118.

15. Барановский В.Н. Методы применения контактной точечной сварки в сельскохозяйственном машиностроении / В.Н. Барановский // Lucrări științifice, UASM. Chișinău: Centrul editorial UASM, 2015. Vol. 45. – С. 191–195

16. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с.

17. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Складально-зварювальне оснащення». Вид. Тернопільського нац. технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 254 с.

18. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва». Вид. Тернопільського національного технічного ун-ту. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 58 с.

19. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Виробництво зварних конструкцій». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 66 с.

20. Барановський В.М., Підгурський М.І., Сенчишин В.С. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва» для студентів денної та заочної форми навчання для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Спеціаліст» і «Магістр» зі спеціальності 7.05050401, 8.05050401 «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 54 с.

21. Барановський В.М., Підгурський М.І., Мариненко С.Ю. Конспект лекцій з дисципліни «Безпека життєдіяльності для студентів всіх спеціальностей і форм навчання. Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 141 с./67 с.

22. Барановський В.М., Пулька Ч.В., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Основи наукових досліджень» для студентів спеціальності 8.05050401 – «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 86 с.

23. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів з курсу «Безпека життєдіяльності». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 62 с.

24. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. Львів, 1997. 275с.

25. Жидецький В. Ц., Джиги рей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : підручник (видавн. 5-те, доповнене). Л.: Афіша, 2000. 350 с.

**ДОДАТКИ**