



**КВАЛІФІКАЦІЙНА  
РОБОТА БАКАЛАВРА  
КРБ.ЗТ – 97.00.000 ПЗ**

**Група ЗТ-21-1**

**Назарій Іванів**

**2025**

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Кафедра: Будівництва

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА**

**РОБОТА БАКАЛАВРА**

**за освітньо-професійною програмою підготовки  
бакалаврів “Інжиніринг зварювальних технологій”**

**спеціальність 131 “Прикладна механіка”**

**Тема: «Розроблення технології складання  
та зварювання корпусу теплообмінного апарата»**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

КРБ.ЗТ-97.00.000 ПЗ

Студент групи ЗТ-21-1 Іванів Н.Р.  
(шифр групи) (підпис) (розшифрування підпису)

Допускається до захисту

Керівник : доцент Матвієнків О.М.  
(посада) (підпис) (дата) (розшифрування підпису)

2025

Івано-франківський національний технічний університет нафти і газу

Кафедра: Будівництва

ОПП: Інжиніринг зварювальних технологій

Спеціальність: 131 - Прикладна механіка

Курс 4

Група ЗТ-21-1

Семестр 8

## **ЗАВДАННЯ**

### **на випускню кваліфікаційну роботу бакалавра**

Студенту: Іваніву Назарію Романовичу

1. Тема роботи: Розробка технології складання та зварювання корпусу теплообмінного апарата.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 12.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: креслення виробу, виробництво – малосерійне, матеріал марки 09Г2С, технічні умови.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):

Вступ

1 Загальний розділ

1.1 Загальна характеристика зварної конструкції виробу, та елементів

1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу

1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності

1.4 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу

2 Технологічний розділ

2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції

2.2.1 Заготівельні операції

2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку

3 Конструкторський розділ

3.1 Компонування складальних та зварювальних установок

3.2 Розрахунок окремих елементів пристосувань

3.3 Розробка плану цеху

4 Безпека праці

Висновки по роботі

Список використаних джерел

Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу:

Додаток 1 – загальний вигляд понтонної переправи.

Додаток 2 – пристрій складальний.

Додаток 3 – пристрій складальний під вузла.

Додаток 4 – технологічний процес виготовлення понтонної переправи.

Додаток 5 - план складально-зварювального цеху

6.Дата видачі завдання: *18 березня 2025*

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів	Примітки
1 Вибір та ознайомлення з літературою для написання роботи	18.03.25р. ...20.03.2025р	
2 Ознайомлення з матеріалами, на базі яких виконується робота	21.03.25р. ...24.03.2025р	
3 Визначення літературних джерел та написання першого розділу роботи	25.03.25р. ...15.04.2025р	
4 Вивчення практичного матеріалу і написання наступних розділів роботи	16.04.25р. ...11.05.2025р	
5 Виконання розрахунково-графічної частини, додаткові та ілюстрації до роботи	12.05.25р. ...28.05.2025р	
6 Ознайомлення керівника з чорновим варіантом роботи	29.05.25р. ...30.05.2025р	
7 Оформлення роботи	31.05.25р. ...05.06.2025р	
8 Представлення роботи на кафедрі	07.06.2025р.	
9 Направлення на рецензування	09.06.2025р.	

Студент: \_\_\_\_\_ Іванів Н.Р.  
(підпис) (розшифрування підпису)

Керівник: \_\_\_\_\_ Матвієнків О.М.  
(підпис) (розшифрування підпису)

КРБ.3Т-97.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Іванів Н. Р.		
Перевір.				
Затверд.				
			Літ.	Арк.
				1
			ІФНТУНГ 3Т-21-1	

## Анотація

У бакалаврській роботі розглянуто питання розробки технології виготовлення зварної конструкції корпусу теплообмінного апарату, що використовується в енергетичних, хімічних, машинобудівних та комунальних системах. Складається пояснювальна записка із 62 сторінок та 5 додатків. Враховуючи актуальність теми, у роботі здійснено комплексне обґрунтування вибору матеріалів, методів зварювання, послідовності технологічних операцій, а також організаційно-технічного забезпечення виробництва. Розроблено та проаналізовано зварну конструкцію корпусу апарату, побудовано технологічний маршрут її виготовлення, визначено параметри зварювального режиму. Окрему увагу приділено вибору зварювальних матеріалів, техніко-економічному обґрунтуванню методів зварювання, контролю якості з'єднань, а також заходам щодо зменшення зварювальних дефектів.

У конструкційному розділі виконано розрахунок елементів пристосувань, розроблено компонування робочої ділянки з урахуванням доцільності виготовлення виробу, охорони праці та пожежної безпеки. Практичне значення даної кваліфікаційної роботи полягає у тому, що наведені аналізи можуть бути впроваджені у виробничих умовах для виготовлення теплообмінного обладнання з урахуванням вимог якості, надійності та продуктивності.

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ .....	5
1.1 Загальна характеристика зварної конструкції виробу, та елементів .....	5
1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу. ....	7
1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності.....	10
1.4 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу .....	13
2.ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	15
2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування .....	15
2.1.1 Техніко - економічне обґрунтування способів зварювання.....	19
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів.....	21
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання.....	23
2.1.4. Вибір основного та допоміжного обладнання зварювального устаткування.....	29
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції .....	33
2.2.1 Заготівельні операції .....	33
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання .....	39
2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями .....	40
2.2.4 Технологічний контроль якості та виправлення браку.....	42
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....	45
3.1 Компонування складальних та зварювальних установок.....	45
3.2 Розрахунок окремих елементів пристосувань .....	47
3.3 Розробка плану цеху.....	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	56
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	61

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

## ВСТУП

Теплообмінний апарат є критично важливими у деяких галузях промисловості, побуту та енергетики. Призначення його полягає у передачі теплоти від одного теплоносія до іншого, при цьому з частковим або й зовсім без змішування цих середовищ. Дана конструкція використовується у таких критичних інфраструктурах, як теплові (ТЕС) і атомні (АЕС) електростанції, а також відіграє важливу роль у геотермальній енергетиці витягуючи тепло із надр землі. Без теплообмінних апаратів не обходяться й такі сфери як автомобілебудувальна, харчова, металургійна, хімічна та нафтохімічна, Вони необхідні також для виготовлення опалення, холодильної техніки, кондиціонування та систем вентиляції.

Основними вимогами до представленої конструкції є високий коефіцієнт теплопередачі між теплоносіями та максимально можливе використання температурної різниці при якомога мінімальній тепловтраті до навколишнього середовища.

У представленій роботі описано технологію складання та зварювання саме корпусу теплообмінного апарату. В даному випадку корпусом слугує зовнішня оболонка, так званий кожух, який сприймає навантаження, зберігає температуру та забезпечує герметичність.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Загальна характеристика зварної конструкції виробу, та елементів

Насамперед під самою конструкцією теплообмінника розуміють агрегат, який відносять до стаціонарного обладнання модульного характеру та складається із елементів, функціонально пов'язаних між собою. В даному випадку розглянемо саме конструкцію оболонкового теплообмінника, до яких і відносять представлений виріб. До неї входить корпус (або кожух) трубний пучок, трубні решітки, перегородки, фланцеві з'єднання та допоміжна арматура, з'єднані між собою зварюванням і являється спеціально спроектованим засобом інтенсивної теплопередачі. Його функціональним призначенням є саме забезпечення ефективної теплопередачі між двома середовищами, що не змішуються. Один із них рухається по внутрішніх трубках, а інший циркулює по зовнішній порожнині (камері) корпусу. Однією із особливостей кожухових теплообмінників полягає у їхній здатності забезпечувати високу щільність розміщення трубного пучка та регульований напрямок руху потоків. Це досягається за рахунок встановлення внутрішніх перегородок у корпусі та використання багатоходових схем протитоку або прямогоку.

Дані конструкції часто повинні працювати в умовах циклічного навантаження, при високих температурах зважаючи на внутрішній тиск та корозійну дію робочих середовищ, а отже теплообмінний апарат вважається багатофункціональною механічною системою у якої досить великий діапазон сфер застосування. Серед них саме корпус (кожух) відіграє провідну роль як несучий, герметизувальний та теплотехнічний елемент. Його виконують зварним, оскільки це дає змогу не лише знизити масу конструкції, але й достатню механічну стійкість та жорсткість що й дозволяє досягти тривалої експлуатації під дією високих температур та

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

тисків. Зсередини до нього приварюються **перегородки**, які організують рух потоку і створюють ефект турбулізації, підвищуючи коефіцієнт теплопередачі. Також у корпус вварюються **трубні решітки**, до яких фіксується трубний пучок, через який циркулює інший теплоносій.

Типовою формою корпусу являється циліндр, що являється найоптимальнішим з точки зору опору внутрішньому тиску, а також технологічно доцільним варіантом у виготовленні. Зварювання ж при виготовленні даних конструкцій є основним способом з'єднання елементів саме через забезпечення цілісності, відсутності протікання і герметичності навіть при циклічних навантаженнях.

Важливим є те, що корпус також напрями виконує роль оболонки, у якій циркулює один із теплоносіїв, зазвичай це пара або рідина, тому на нього покладається відповідальність за збереження гідравлічної цілісності системи. Матеріалом, як правило, виступає вуглецева або ж антикорозійна сталь в залежності від агресивності зовнішнього середовища. У залежності від самих робочих середовищ розрізняють теплообмінники таких видів:

- Парорідинні, характеризуються теплообміном між парою та рідиною;
- Газорідинні, здійснюється процес теплообміну між газом та рідиною;
- Рідинно-рідинні, використовують для теплообміну між рідкими середовищами.

Основна функціональна задача теплообмінника, тобто сам процес теплообміну здійснюється між середовищами, які нагріваються та середовищами, які їх нагрівають за допомогою майже всіх видів теплових процесів. В залежності від саме цих процесів, їх функцій, теплообмінники поділяють на конденсатори, випарники, нагрівальні та холодильні, а також

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випарні та кип'ятильні та інші. Кожухотрубні теплообмінники, до яких і відноситься представлена конструкція, може варіюватись за проходами трубного простору та за наявністю перегородок у міжтрубному просторі або ж їх відсутності. Бувають одно-, двох-, чотири-, або ж шестипрохідні по трубному простору. Оболонкові теплообмінники застосовуються для періодичного нагрівання або охолодження, герметичний простір, а саме водяну або парову оболонку утворюють циліндричні, плоскі подвійні або ж сферичні стінки. Процес теплообміну у них здійснюється під тиском, розрідженням і також при атмосферному тиску .

## 1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу.

Зварна конструкція корпусу кожухового теплообмінника має особливе значення в аспекті технологічності, оскільки від цього безпосередньо залежить не лише процес виготовлення виробу, а й його надійність під час тривалої експлуатації. Технологічність у цьому випадку розглядається як сукупність властивостей конструкції, що забезпечують можливість її виготовлення із заданими параметрами якості, при мінімальних витратах часу, матеріалів, енергії та трудових ресурсів, а також з урахуванням вимог подальшого контролю, монтажу і ремонту. Зварна конструкція корпусу теплообмінника, на відміну від клепаних або болтових, характеризується відносною простотою виготовлення при відповідному рівні технічного оснащення, але водночас потребує високої точності підготовки зварюваних поверхонь, дотримання технології зварювання, а також врахування особливостей поведінки металу в зоні термічного впливу.

Одним із головних показників технологічності є конструктивна спрощеність форми виробу. Виготовлення корпусу з циліндричної обичайки, звареної з попередньо вальцьованого листового прокату,

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значно полегшує процес формування основного об'єму. Важливою перевагою є відсутність складних криволінійних поверхонь, що могли б ускладнювати виконання зварних операцій. Однак при проектуванні необхідно враховувати розміщення таких елементів як: патрубки, люки, перегородки і фланці у положеннях, які забезпечують вільний доступ до швів для зварювання та контролю. Із технологічної точки зору, зварювання повинно виконуватись у простіших для виконання та зручніших просторових положеннях. Перевагу переважно надають виконанню швів у нижньому положенні, тоді як стельове або вертикально чи горизонтальне положення значно ускладнює роботу зварника й підвищує ймовірність утворення дефектів, а тому технологічність конструкції напряму пов'язана з цим. Чим більше вона адаптована до зварювання на стаціонарних постах, без необхідності перевероту або підвісу великогабаритних частин тим краще.

Окрему увагу в контексті технологічності слід звернути на вибір матеріалу. Найчастіше для виготовлення корпусів використовують низьколеговані або корозійностійкі сталі, які добре зварюються в різних умовах, мають стабільну структуру після зварювання та не потребують надмірної термообробки. Наприклад, як у нашому випадку сталь 09Г2С забезпечує гарну зварюваність у звичайних атмосферних умовах, тоді як для агресивних середовищ доцільно застосовувати сталі типу 12Х18Н10Т. При цьому технологічність визначається не лише хімічним складом, а й способом постачання заготовок: важливо, щоб листовий метал мав рівномірну товщину, низький рівень залишкових напружень і не містив поверхневих тріщин або окалини.

Особливістю зварної конструкції корпусу є наявність великої кількості стиків із доволі великими протяжностями, де виникає концентрація тепла під час зварювання. Технологічність у цьому випадку забезпечується правильним вибором послідовності зварювання, методів, які зменшать

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

концентрацію тепла в розташування прихваток, а ще використання спеціальних пристроїв оснастки та приспособлень для збирання обичайки. Деякі вузли, зокрема з'єднання обичайки з фланцем або з торцевими кришками, потребують ретельності і відповідної точності центрування, тому при розробці креслень обов'язково враховується допуск на деформацію, що виникає при охолодженні шва. Крім того, важливо передбачити можливість проведення неруйнівного контролю, наприклад ультразвукового або рентгенографічного, що також вимагає певної відкритості конструкції.

Автоматизація це напряму підвищення технологічності процесів виготовлення. Одним із аспектів є можливість автоматизації процесу зварювання, що безпосередньо залежить від геометрії швів. При конструюванні корпусу теплообмінника доцільно уніфікувати розміри з'єднань, мінімізувати кількість типорозмірів швів і відмовитись від важкодоступних ділянок, які вимагають ручного зварювання. Це дозволяє застосовувати сучасні автоматизовані комплекси дугового зварювання під флюсом, які гарантують стабільну якість з'єднань, однакову глибину провару та мінімальну кількість браку. Не менш важливим фактором є технологічність з точки зору обслуговування і ремонту. Так як конструкція є стаціонарною, а доступність ремонту на місці у разі аварійної ситуації є не великою. У конструкції корпусу повинні бути передбачені зони, де за потреби можна провести повторне зварювання, встановити ремонтні вставки або виконати додаткову термообробку. Конструкція має бути достатньо відкритою для візуального огляду та контролю, що особливо актуально при обслуговуванні в умовах діючого виробництва. При цьому зварні з'єднання не повинні перекривати місця потенційного зносу або навантаження, аби уникнути ускладнень під час ремонту.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи та аналізуючи усе із переліченого вище можна сказати, що зварна конструкція корпусу кожухового теплообмінника за належного проектування та дотримання технологічної дисципліни є цілком придатною для промислового виробництва. Її технологічність може бути значно підвищена шляхом уніфікації елементів, раціонального компоновання вузлів та їх елементів, оптимізації зварних швів та контролю їхньої якості і впровадження засобів автоматизації для виготовлення конструкцій. Водночас слід усвідомлювати, що саме технологічна зручність виготовлення визначає економічну доцільність виготовлення вибору тієї чи іншої конструктивної схеми, і тому питання технологічності є не другорядним, а визначальним у сучасному машинобудівному підході до створення зварних виробів та конструкцій.

### **1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності**

До вибору матеріалу, з якого буде виготовлятися конструкція потрібно підходити з ретельністю, адже це на пряму впливає на її собівартість, експлуатаційні властивості та технологічну простоту у виготовленні. Вибір матеріалу для виготовлення корпусу теплообмінника визначається низкою критеріїв, серед яких найважливішими є механічна міцність, оптимальність зварюваності, корозійна стійкість, технологічність обробки та економічна доцільність відносно собівартості. У промисловості вже тривалий час низьколегована конструкційна сталь є пріоритетним матеріалом для виготовлення відповідальних зварних конструкцій, яка завдяки оптимальному співвідношенню вмісту вуглецю та легувальних елементів демонструє добру сумісність з різними способами зварювання ситуативно, і без підігріву, і з підігрівом до 100-120°C та має стабільні механічні характеристики й водночас лишається доступною з економічної точки зору.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даному випадку елементи конструкції корпусу теплообмінного апарату виготовляються саме із конструкційної низьколегованої сталі марки 09Г2С. Вона відноситься до перлітного класу сталей та виділяється своїми показниками міцності, досить високої пластичності та в'язкості при перемінних температурах. Окрім цього дана сталь виділяється стійкістю до статичних та динамічних навантажень. Нижче у таблиці 1.1 приведені її хімічні характеристики, а саме склад відповідно до плавкового аналізу, та механічні властивості у таблиці 1.2 відповідно до ДСТУ 8541.

Таблиця 1.1 – Співвідношення хімічних елементів у складі сталі, %

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>N</b>	<b>Cu</b>
до 0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	до 0,3	до 0,04	до 0,035	До 0,3	До 0,012	До 0,3

Завдяки властивостям обраної сталі, вона добре підходить для виготовлення виробу теплообмінного апарату, так як, її часто використовують для конструкцій, які транспортують гази та рідини, наприклад: нафта, вода, природний газ та інші, а також для комплектуючих машин сільського господарства, будівництва та нафтогазового обладнання. 09Г2С – є досить термостійкою, дозволяє вводити у експлуатацію виготовлені із неї деталі при великому спектрі температур, (від -70 до +450 градусів) що є важливим у нашому випадку.

Таблиця 1.2 – Перелік механічних властивостей сталі відповідно до товщини прокату

Клас міцності	Товщина листового прокату, мм	Зріз сортового прокату, мм	Межа текучості, Н/мм <sup>2</sup>	Тимчасовий спротив (не менше) Н/мм <sup>2</sup>	Відносне видовження при розриві (не менше),%
265	20-160	20-100	265	430	21
295	20-32	20-32	295	430	21
325	10-20	До 20	325	450	21
245	До 10	До 10	345	480	21

Важливим фактором, що визначає вибір саме цієї марки сталі, є її стабільна поведінка під час зварювання різними методами. Вона придатна для ручного дугового зварювання, автоматичного зварювання під флюсом, механізованого зварювання у захисних газах, а також для багат шарового зварювання, що використовується при з'єднанні деталей значної товщини. При цьому в зоні шва не спостерігається інтенсивного утворення твердих фаз, схильних до крихкого руйнування, а межа міцності й відносне видовження після зварювання лишаються в межах допустимих значень. Це дозволяє використовувати даний матеріал навіть у тих випадках, коли виріб зазнає багаторазових пускових навантажень або коливань тиску та температури, характерних для роботи теплообмінного апарата. Також щодо особливостей термічного впливу під час зварювання, варто зазначити, що 09Г2С має знижену схильність до утворення зон гарту, а значить – менший ризик утворення холодних тріщин. Однак при значних товщинах (понад 12–14 мм) або за низьких температур навколишнього середовища все ж рекомендується помірний попередній підігрів до 120–150 °С, що дозволяє знизити швидкість охолодження після проходження дуги. Це, у свою чергу, стабілізує

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

структуру металу в зоні шва і знижує ймовірність виникнення тензометричних тріщин, що є важливим.

### 1.3 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу

Базовий технологічний процес виготовлення корпусу кожухового теплообмінника передбачає складання- зварювання конструкції реалізація якого відбувається у послідовності операцій, що охоплюють підготовку заготовок, формування зварних прихоплень, механічну обробку та остаточне складання – зварювання. Важливим при цьому є дотримання вимог щодо геометричності, міцності та загальної надійності конструкції.

Основним елементом корпусу є обичайка, торцеві днища з патрубками, опори та фланцеві з'єднання, які виготовляються із сталевого листа або трубних заготовок. Самій обичайці зазвичай надають форму завдяки гнутті листа та механічній обробці. Торці обичайки з'єднують із трубними решітками або перехідними кільцями за допомогою зварних швів. Для забезпечення якості зварних з'єднань застосовується багатопрохідне зварювання з попередньою підготовкою крайок, що дозволяє уникнути дефектів і забезпечує необхідний профіль шва. Фланці приварюються з урахуванням необхідного радіального вирівнювання, а отвори під кріплення піддаються розмітці й свердлінню за шаблонами, щоб уникнути зміщення осей.

Далі кожен патрубок відповідно до креслення, з'єднують із корпусом зварюванням скосом під кутом  $60^\circ$ , що на пряму потребує попередньої обробки трубної заготовки. Патрубки прихоплюють, після цього виконують суцільні зварювальні шви для забезпечення герметичності в областях введення та виведення теплоносія. Наступним етапом являється кріплення опор, його виконують за допомогою позиціонування уздовж

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

обичайки враховуючи про необхідність рівномірного розподілу навантаження під час монтажу обладнання на фундамент або у складі блоку. Монтаж внутрішніх перегородок, а також трубного пучка вимагає суміщення по посадовим кільцям у зварній конструкції, у чому має велике значення відповідна точність розмірів по довжині. Після операцій по складанню та зварюванню проводять механічну обробку швів та біляшовних зон, виробу надають належний вигляд.

Задля контролю основних технологічних вимог до конструкції проводять контроль якості зварних швів, перевірку розмірів та виявлення дефектів. Виконують вимірювання довжини та діаметру корпусу, а також перевірка співвісності фланцевих отворів. Зварні шви підлягають візуальному та неруйнівному методу контролю. У випадку виявлення відхилень проводиться їх локальне усунення або повне виправлення шва. Після повного складання корпус теплообмінника проходить гідравлічні випробування, які дозволяють підтвердити герметичність конструкції, а також виявити слабкі місця у зонах зварювання чи фланцевого з'єднання для їх виправлення.

Із завершенням повного циклу виготовлення конструкцію фарбують та готують до транспортування включно з консервацією внутрішньої порожнини теплообмінника. Реалізація такого підходу дає змогу конструкції відповідати вимогам які їй поставлені для впевненої її подальшої експлуатації .

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

## 2.ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

До вибору методу зварювання потрібно підійти із ретельністю, адже це один із найважливіших етапів розроблення технології виготовлення конструкції корпусу теплообмінного апарату. Потрібно врахувати особливості конструкції, товщини деталей виробу, та специфіку виконання необхідних зварних швів.

З огляду на матеріал конструкції — сталь 09Г2С, яка належить до низьколегованих зварюваних сталей конструкційного призначення, доцільним є використання електродугових методів зварювання у середовищі захисного газу або під флюсом. Наприклад для зварювання повздовжніх з великою протяжністю та кільцевих швів на обичайці для товщини металу 12-16 мм технологічно доцільним буде застосування автоматизованих систем зварювання під флюсом із подачею стрічкового або дротяного електрода. Даний метод добре справляється із великими товщинами деталей, являється повністю сумісним для обраної марки сталі та дозволяє отримати високоякісне однобічне або двобічне з'єднання з глибоким проплавленням і мінімальними втратами металу. Крім того, захист шва флюсом виключає доступ кисню до зони зварювання, що запобігає утворенню оксидних включень та пор. Хотілось би виділити, що обладнання такого типу дозволяє звести до мінімуму участь зварника у самій операції, що важливо для мінімізації людського чинника під час процесу.

Для прихоплень, точкових або коротких швів та з'єднань у важкодоступних місцях, таких як приварювання фланців, патрубків і деталей з обмеженим кутом підходу пальника, доцільним буде використовувати MIG – зварювання. Це напівавтоматичне зварювання

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

плавким електродом у середовищі захисного газу, зокрема активного або інертного. В даному випадку чудовим вибором буде саме суміш газів на основі  $\text{CO}_2$  – вуглекислоти, та  $\text{Ar}$  – аргону, де їх відповідне співвідношення складає 82 та 18 %, так як, вона чудово підходить фактично для усіх видів низьковуглецевих конструкційних сталей та є універсальною.

Зварювальна суміш зберігається у балонах сірого кольору під тиском 15 МПа та відповідним надписом на ньому.



Рисунок 2.1 – зображення прикладу балону із газовою сумішшю

Щодо зварювального обладнання вибір робиться на користь пристроїв з можливістю точного регулювання параметрів режиму, оснащених системами стабілізації дуги й захисту від перевантаження. Так як у даній конструкції необхідно виконувати зварні шви значних довжин та досить великих товщин деталей, необхідним буде обрати обладнання із великим параметром ККД під час роботи із великими силами струму. Для MIG - зварювання вибрано зварювальний напівавтоматичний інвертор для

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

промислового застосування – ESAB WARRIOR 400I, зображення якого приведено на рисунку 2.2 нижче.



Рисунок 2.2 – Зварювальне напівавтоматичне обладнання ESAB WARRIOR 400I [19]

Даний апарат виділяється зручністю регулювання параметрів режиму, багатофункціональністю завдяки якій підходить для зварювання також методами MAG та MMA, технічними характеристиками та наявністю запобіжників. Корпус даного обладнання має високий ступінь міцності що є невід’ємною перевагою. Нижче будуть приведені технічні характеристики зварювального апарату (табл. 2.2), його габаритні розміри та маса (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – зовнішні значення ESAB WARRIOR 400I [19]

Класифікатор	Значення
Габаритні розміри	712 мм x 325 мм x 470 мм
Маса	59 кг
Клас захисту	IP23

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики ESAB WARRIOR 400I – MIG  
[19]

Основні параметри напівавтомата	Величина параметрів
Номінальна напруга мережі трифазного змінного струму, В	380-415 ± 10%
Частота мережі живлення, Гц	50-60
Робоча температура, °С	від -10 до +40
Зварювальні характеристики	400 А/34V - 60% 300 А/29V - 100%
Діапазон струму, А	16-400
Напруга холостого ходу, В	54
Плавкий запобіжник, А	25
Діаметр дроту, мм	0,8-1,6

Використання Інверторних джерел струму забезпечує стабільну роботу навіть при нестабільній напрузі в цеху. Також одним із переваг таких джерел являється компактність і можливість інтеграції в автоматизовані системи.

Для автоматичного зварювання під шаром флюсу (SAW) було обрано зварювальне устаткування, яке складається із джерела Jasic MZ-1250 та трактора Jasic AT-1, так як, його технічні характеристики забезпечать надійний процес зварювання деталей конструкції виробу.



Рисунок 2.3 – джерело живлення Jasic MZ-1250 [21]

У комплект устаткування входить джерело, а саме інверторна схема із цифровою ідифікацією параметрів зварювання які мають плавне регулювання, бункер з флюсом, пересувна каретка, блок управління та механізм подачі флюсу та дроту для котушок до 25 кг. Основні технічні характеристики та габаритні розміри устаткування вказані у таблиці – 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики зварювального устаткування Jasic [21]:

Основні параметри	Величина параметрів
Вага, кг	115
Завантаження дроту	Бічне
Максимальна швидкість подачі, м/хв	3
Максимальний зварювальний струм, А	1250
Мінімальна швидкість подачі дроту, м/хв	0,3
Мінімальний зварювальний струм, А	100
Напруга живильної мережі, В	380
Номинальна споживальна потужність, кВт	55.25
Тривалість навантаження, %	80
Ступінь захисту IP	21
Частота струму, Гц	50
Габаритні розміри, мм	890x811x400

### 2.1.1 Техніко - економічне обґрунтування способів зварювання

В процесі виготовлення конструкції корпусу теплообмінного апарату необхідним є дотримання технологічних вимог, забезпечення якості виробу та збільшення продуктивності самого процесу при максимальному зниженні його затратності. В умовах серійного або індивідуального виробництва оптимальним є поєднання кількох методів зварювання з урахуванням їх витратності, тривалості виконання та вимог до кваліфікації персоналу. Найбільш витратною за часом частиною є

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварювання обичайки — довгих кільцевих і поздовжніх швів великого перерізу. Для таких ділянок традиційно обирається автоматизоване зварювання під флюсом. Попри початкові витрати на закупівлю обладнання, цей метод вирізняється високою продуктивністю, здатністю забезпечити глибоке проплавлення з мінімальною кількістю проходів, а отже, скороченням загального часу операції. Крім того, автоматизація процесу дає змогу скоротити потребу в ручній праці й підвищити повторюваність якості швів, що в умовах зростаючих вимог до надійності теплообмінного обладнання є критичним фактором. Якщо розглядати виготовлення самого корпусу, з точки зору загальної економії ресурсів, а саме часу, електроенергії та витратних матеріалів — тут припадає найбільше навантаження. Саме тут економічний ефект від автоматизації проявляється найяскравіше.

Зварювання у середовищі захисного газу має найбільш вигідне співвідношення у пропорції якості, продуктивності і собівартості для виконання зварних з'єднань. Наприклад при зварюванні патрубків та фланців. Економічно привабливим даний метод розкривається саме у невеликій витраті електродного дроту, відносно не великій енергозатратності при досить великій продуктивності. При умові досконало підібраних параметрів режиму зварювання та стабільного джерела живлення стає можливим мінімізувати витратність та зменшити шанс на утворення дефектів, а це на пряму мінімізує час та загально виробничі витрати на їх переробку.

Із недоліків в даних способах зварювання можна зазначити значні витрати захисних матеріалів, таких як захисний газ та флюс. Але водночас із правильним підбором параметрів обладнання можна добитись мінімізації їх надлишкової затратності не порушуючи якісної результативності та продуктивності виконання роботи в цілому.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

## 2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

Правильний підбір матеріалів першочергово впливає на характеристики зварної конструкції. Так як до корпусу теплообмінного апарату поставляється необхідні вимоги, щоб він був надійним у експлуатації, підбір правильних матеріалів для його виготовлення є дуже важливим етапом при проектуванні. У процесі підбору зварювальних матеріалів для виготовлення оболонкового теплообмінника, корпус якого передбачено виконувати зі сталі марки 09Г2С, ключовим фактором стає забезпечення сумісності основного металу зі зварювальним дротом, стабільності хімічного складу наплавленого металу, а також мінімізації схильності шва до гарячих тріщин, пористості й інших дефектів, що проявляються під час зварювання низьколегованих сталей. Сталь 09Г2С характеризується добрими зварювальними властивостями, оскільки вміст вуглецю в ній не перевищує 0,15%, а це сильно зменшує схильність до утворення холодних тріщин, які вподальшому можуть виникати у зоні термічного впливу під дією залишкових напружень у середині металу.

Виходячи із вимог до герметичності, механічним властивостям металу шва та однорідності із основним металом, для механізованого зварювання в захисних газах доцільним було обрано зварювальним дріт суцільного перерізу марки СВ-08Г2С. Цей дріт спеціально адаптований під зварювання конструкційних низьколегованих сталей і має у собі стабільний склад, що забезпечує якісні зварні шви. Його вміст марганцю, який складає біля 1,4-1,7 % - сприяє зниженню жорсткості зони термічного впливу, що є насправді перевагою при роботі із товстостінними деталями. Хімічний склад дроту обраної марки вказаний нижче у таблиці 2.4 у процентному співвідношенні.

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Таблиця 2.4 – Хімічні елементи у складі зварювального дроту СВ-08Г2С, % [22]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0,1	1,8-2,1	0,7-0,95	0,03	0,025	0,2	0,25	0,2

Під час проведення зварювання механізованим методом слід враховувати вплив захисного середовища. Зокрема при напівавтоматичному дуговому зварюванні необхідно забезпечити стабільний газовий захист зони горіння дуги та зварювальної ванни. Вибрано суміш вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) та аргону (Ar) у співвідношенні 82 та 18% відповідно. Так як вуглекислий газ є активним, він також надає переваги у вигляді забезпечення глибокого проплавлення та невисокої собівартості в цілому. Однак задля уникнення пористості, розбризування та стабілізації горіння дуги доцільним є застосування домішки аргону, адже він являється інертним газом. Таке поєднання дає можливість суттєво зменшити кількість бризок, покращити зовнішній вигляд шва, знизити окислення металу та забезпечити кращий контроль над переносом крапель металу.

Задля отримання якісних зварних з'єднань під шаром флюсу, варто звернути увагу й на підбір флюсу, який також являється витратним матеріалом. Для таких цілей було обрано флюс АН-47, який дає змогу хорошого формування шва, забезпечує низький рівень виникання пористості й тріщин, надає високу ударну вязкість, а також має незначну гігроскопічність, що є особливо важливим через змогу проведення роботи із даним матеріалом в умовах із нестабільною вологістю. Обраний флюс зазвичай застосовують при виготовленні високоякісних конструкцій із значними товщинами, чудово підходить для зварювання низьколегованих сталей підвищеної міцності та добре поєднується із обраною маркою зварювального дроту. Основні характеристики та хімічний склад флюсу показаний у таблиці 2.5.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 2.5 – Характеристика флюсу АН-47 [23]

Характеристики	Величини
SiO <sub>2</sub> + TiO <sub>2</sub>	37 %
CaO + MgO	20 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MnO	30 %
Розмір зерен	0,25-0,28 мм
Максимальне струмове навантаження	1200 А
Максимальна швидкість зварювання	2 м/хв
Основність за Бонишевському	1,1

### 2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

При зварюванні конструкції корпусу теплообмінного апарату, задіюються два методи зварювання, напівавтоматичне плавким суцільним дротом у середовищі захисної суміші та зварювання під флюсом. Параметри режиму напряду впливають на якість зварного шва, його геометричні розміри та форму, а значить підібрати їх правильно є необхідністю.

Розглянемо спочатку зварювання MIG – способом. Основними параметрами режиму для даного методу є :

- Зварювальний струм ( $I_{зв}$ ), А
- Напруга на дузі ( $U$ ), В
- Діаметр електродного дроту ( $d_E$ ), мм
- Швидкість подачі дроту ( $V$ ), м/год
- Виліт електроду ( $l_d$ ), мм
- Швидкість зварювання ( $V_{зв}$ ), м/год
- Витрата захисної суміші ( $Q_T$ ), м/с.

Даним методом виконується зварне з'єднання Т6 . Для початку проведемо розрахунок одностороннього кутового шва

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

таврового з'єднання із розробкою кромки – Т6 із катетом 20 мм.

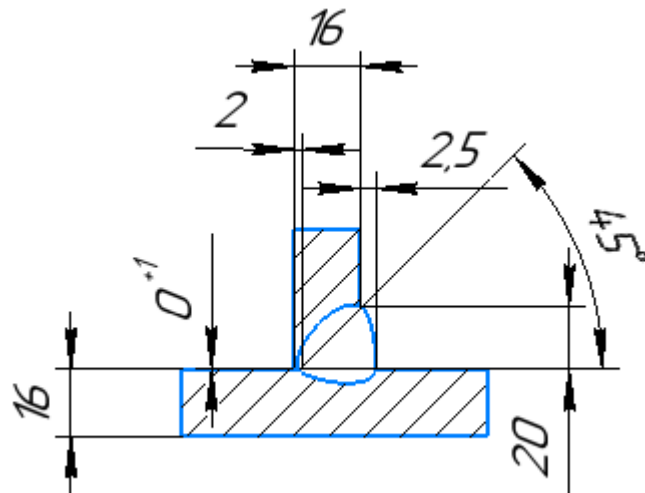


Рисунок 2.4 – Вигляд кутового шва Т6 із катетом 20 мм

Визначення площі поперечного перерізу шва ( $F_{T6}$ ) за формулою [7]:

$$F = 0.7 \cdot a^2 = 0.7 \cdot 20^2 = 280 \text{ мм}^2, \quad (2.1)$$

де  $a$  – катет шва.

Наступним кроком є визначення об'єму наплавленого металу на 1 см шва ( $V$ ). Для початку виконаємо конвертацію площі в  $\text{см}^2$  ( $A$ ) [7]:

$$A = \frac{280}{100} = 2.8 \text{ см}^2 \quad (2.2)$$

Оскільки довжина шва ( $l$ ) приймається – 1 см, тому об'єм ( $V$ ) буде дорівнювати відповідно формулі [7]:

$$V = A \cdot l = A \cdot 1 = 2.8 \text{ см}^3 \quad (2.3)$$

Маса металу на 1 см зварного шва ( $m$ ) знаходимо за формулою [7]:

$$m = V \cdot \rho = 2.8 \cdot 7.85 = 21.98 \text{ г}, \quad (2.4)$$

де  $\rho$  – густина сталі, приймається –  $7.85 \text{ г/см}^3$

З урахуванням ККД процесу ( $\eta = 0.9$ ), маса дорівнює [7]:

$$M_{\text{реальна}} = \frac{m}{\eta} = \frac{21.98}{0.9} = 24.42 \text{ г} \quad (2.5)$$

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Задля розрахунку величини швидкості подачі зварювального дроту ( $V_{др}$ ) необхідно провести розрахунки наступних параметрів:

1) 1 грам дроту СВ-08Г2С діаметром 1.2 мм має об'єм [7]:

$$V = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{7.85} = 0.127 \text{ см}^3 \quad (2.6)$$

2) Площа поперечного перерізу дроту [7]:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 3.14 * 0.12^2 / 4 = 0.0113 \text{ см}^2 \quad (2.7)$$

Відповідно швидкість подачі дроту ( $V_{др}$ ) розраховуємо за формулою [7]:

$$V_{др} = \frac{V}{S} = \frac{m * V}{S} = \frac{24 * 0.127}{0.0113} = 274.7 \text{ см/хв} = 2.75 \text{ м/хв} \quad (2.8)$$

Силу зварювального струму ( $I$ ) обираємо відповідно до товщин стінок зварних елементів та діаметру дроту ( $d_e$ ):

$$d_e = 1,2 \text{ мм}, I = 260 \text{ А} \quad (2.9)$$

В такому випадку напруга на дугі ( $U$ ) буде становити [7]:

$$U = U_0 + r \cdot I, \quad (2.10)$$

де:  $U_0$  – початкова напруга та  $r$  – опір дуги, тоді:

$$U = 16 + 0.05 \cdot 260 = 16 + 13 = 29 \text{ В}. \quad (2.11)$$

Витрата захисного газу при зварюванні вуглекисло-аргоною сумішшю визначається за формулою [7]:

$$Q_{газ} = k_g * d^2,$$

де:  $Q_{газ}$  – витрата газу, л/хв;

$d$  - діаметр дроту, мм;

$k_g$  – коефіцієнт, який становить 10-15 для  $Ar+CO_2$  та залежить напряму від умов вентиляції. При діаметрі дроту 1.2 мм прийемо  $k_g = 12$ , тому:

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$Q_{\text{газ}} = 12 \cdot 1.2^2 = 17.28 \text{ л/хв} \quad (2.11)$$

Виліт дроту доцільно підібрати відповідно прийнятій формулі [7]:

$$L_e = 8 \div 12 \cdot d_e = 10 \cdot 1.2 = 12 \text{ мм} \quad (2.12)$$

Параметр швидкості зварювання має великий вплив на формування швів, якісне проплавлення та при неправильному її підборі, можуть виникати значні дефекти. Її можна розрахувати відповідно формулі [7]:

$$v_c = \frac{m}{q},$$

де:  $m$  – маса металу, який наплавляється на 1 см шва, г/см;

$q$  – питома маса наплавлення при даній подачі дроту, г/хв.

Для цього можна скористатись формулою [7]:

$$q = \rho \cdot S \cdot V_{\text{др}},$$

де:  $\rho = 7.85 \text{ г/см}^3$  – густина;

$V_{\text{др}}$  – швидкість подачі дроту, см/хв

$S$  – площа перерізу дроту ( $\text{см}^2$ ) та розраховується за формулою [7]:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.12^2}{4} = 0.0113 \text{ см}^2, \quad (2.13)$$

тоді :

$$q = 7.85 \cdot 0.0113 \cdot 275 = 24.4 \text{ г/хв} \quad (2.14)$$

Відповідно до знайденої площі перерізу дроту та питомої маси наплавлення, оперуючи досить великою подачею дроту можемо визначити швидкість зварювання [7]:

$$v_c = \frac{24.4}{24.4} = 1.0 \text{ см/с} = 60 \text{ см/ хв} \quad (2.15)$$

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Підсуок розрахунків параметрів режиму для механізованого зварювання напівавтоматом у середовищі захисного газу виведений у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – параметри режиму зварювання для MIG – способу

Діаметр дроту, мм	Подача дроту, м/хв	Сила зв. струму, А	Напруга дуги, В	Витрата захисної суміші, л/хв	Швидкість зварювання, см/хв	Виліт електроду, мм
1.2	2.75	260	29	17-18	60	12

У випадку методу зварювання мід шаром флюсу, основними параметрами режиму будуть:

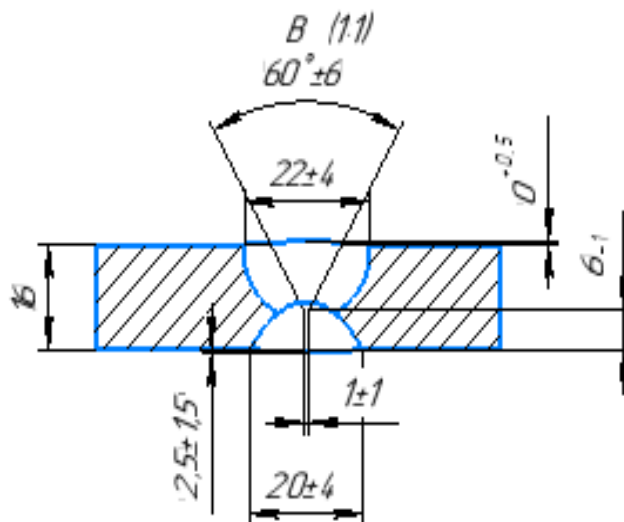


Рисунок 2.5 - Загальний вигляд стикового зварного з'єднання

Розрахунок сили зварювального струму за формулою [7]

$$I = K * d \quad (2.16)$$

$d$  – діаметр зварювального дроту 4 мм

$K$  – коефіцієнт струмонантаження = 100...130А/мм<sup>2</sup>

$$I = 110 * 4 = 440 \text{ А} \quad (2.17)$$

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Напруга дуги  $U$  за формулою [7]

$$U = E_0 + k * L \quad (2.18)$$

Де  $E_0$  – базова напруга запалювання дуги = 18 В;

$k$  – градієнт напруги на довжину дуги 3.5 В/мм;

$L$  – довжина дуги 3-5 мм.

$$U = 18 + 3,5 * 4 = 33,2 \text{ В}$$

Швидкість зварювання  $V$  за формулою [7]

$$V = Q/q \quad (2.19)$$

де:

$Q$  – кількість металу, що плавиться, г/хв

$q$  – витрата металу на 1 см шва, г/хв

Визначаємо  $Q$

$$Q = 0,02 * I * \eta \quad (2.20)$$

де:

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії плавлення (підбираємо 0,9)

$$Q = 0,02 * 440 * 0,9 = 7,92 \text{ г/хв} \quad (2.21)$$

Визначаємо витрату металу на 1 см шва за формулою [7]

$$q = p * F \quad (2.22)$$

де:

$p$  – густина сталі (7,85 г/см<sup>3</sup>)

$F$  – площа поперечного перерізу шва, см<sup>2</sup>

$$F = a * h_1 = 1,0 * (0,8 * 1,6) = 1,28 \text{ см}^2 \quad (2.23)$$

$$q = 7,85 * 1,28 = 10,05 \text{ г/см} \quad (2.24)$$

$$V = \frac{7,92}{10,05} = 0,78 \text{ см/с} \approx 28 \text{ м/год.} \quad (2.25)$$

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 - Параметри режиму зварного вузла

Вид з'єднання	Тавщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Катет шва, мм	Зварювальний струм, А	Напруга, В	Швид. звар., м/год	Виліт електр., см/хв	Витрата газу, л/хв
С21	16-18	4		440	32	28		1

#### 2.1.4. Вибір основного та допоміжного обладнання зварювального устаткування.

Вибір основного зварювального устаткування є важливим етапом так як від обладнання залежить продуктивність зварювання та якість зварних з'єднання. Щоб забезпечити максимальну продуктивність було обрано два види зварювання: автоматичне під шаром флюсу SAW та напівавтоматичне в захисних газах MIG. Значну роль у дуговому зварюванні відіграє правильно підібране джерело струму, від якого залежить першочергово стабільність самого процесу зварювання, тому зварювальні джерела живлення повинні відповідати таким вимогам:

- апарат повинен забезпечити необхідні параметри зварювання: силу струму та напругу дуги.
- вольт-амперна характеристика джерела живлення має гарантувати стабільність зварювальної дуги.
- джерело живлення забезпечувати надійне запалювання дуги та мінімальне розбризкування металу в процесі заварювання.

Потужність джерела живлення визначається максимальною силою струму, яка необхідна для реалізації обраного зварювального процесу.

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Основним обладнанням для автоматичного зварювання під шаром флюсу застосовуємо апарат Jasic MZ-1250, з оглядку на необхідність забезпечення повного проплавлення, стабільність дуги та необхідну потужність, тому цей апарат ідеально підходить по технічних характеристиках. Нище приведений сам апарат на рисунку 2.6 та його технічні характеристики (табл. 2.8) [21].



Рисунок 2.6 – Апарат Jasic MZ-1250 для SAW [21]

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики апарата Jasic MZ-1250 [21]

Параметри	Значення
Вага, кг	115
Завантаження дроту	Бічне
Максимальна швидкість подачі, м/хв	3
Максимальний зварювальний струм, А	1250
Мінімальна швидкість подачі дроту, м/хв	0,3
Мінімальний зварювальний струм, А	100
Напруга живильної мережі, В	380
Номінальна споживальна потужність, кВт	55.25
Тривалість навантаження, %	80
Ступінь захисту IP	21
Частота струму, Гц	50
Габаритні розміри, мм	890x811x400

При розгляданні способу зварювання під шаром флюсу, технічна специфіка процесу суттєво відрізняється від інших, що вимагає відповідного перегляду складу допоміжного обладнання. Основною особливістю цього методу є те, що процес захисту зони зварювання здійснюється за рахунок гранульованого флюсу, який повністю ізолює розплавлений метал від атмосферного повітря. Тому допоміжним обладнанням для зварювального устаткування є:

- пристосування для подачі флюсу
- установка відсмоктування флюсу та пилу
- механізм подачі зварювального дроту
- оснащення та пристосування

Вибір основного джерела живлення для напівавтоматичного зварювання в захисних газах є важливим етапом, так як даним способом буде проводитися більша половина зварних з'єднань, тому від його продуктивності залежить час виготовлення вузлів зварної конструкції. Для даного способу джерелом живлення служать випрямлячі, які мають жорстку зовнішню вольт-амперну характеристику. Такий тип джерела забезпечить стабільні умови горіння дуги, що є критично важливим для якісного зварювання.

Коли спосіб зварювання обраний та проведений розрахунок параметрів режиму зварювання підбираємо відповідне обладнання, яке забезпечить потрібні параметри. Вибираємо напівавтомати зварювальної фірми ESAB марки WARRIOR 400I, який розрахований для довготривалих навантажень при зварюванні стикових, напусткових, кутових і таврових з'єднань з низьколегованих конструкційних та низьковуглецевих сталей. Сам апарат показаний на рисунку 2.7.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



Рисунок 2.7 – Напівавтомат фірми ESAB WARRIOR 400I [19]

Під час організації процесу механізованого зварювання також виникає потреба у правильному доборі допоміжного обладнання, яке забезпечує не лише стабільність зварювального процесу, але й надійну подачу витратних матеріалів, безперебійне формування шва, зручність виконання процесів та захист зони зварювання від атмосферного впливу.

- Одним із першочергових пристроїв, що необхідно використати у цьому випадку, є блок подачі дроту з плавним регулюванням швидкості. Саме від його точності залежить рівномірність подачі зварювального дроту, що, у свою чергу, безпосередньо впливає на стабільність дуги та якість наплавленого металу.

- Також важливо приділити увагу вибору пальника, адже він водночас являється і основним інструментом для зварника, адже він забезпечує подачу дроту у зону зварювання та подачу захисного газу. Їх розрізняють за потужністю, величиною зварювального струму та діаметром застосовуваного дроту. Також можливий вибір довжини рукава – 5 метрів буде оптимальним варіантом у даному випадку.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

- Балони із сумішшю повинні бути оснащені редукторами з мікрометричною шкалою, щоб забезпечити можливість точного дозування витрати газу в необхідних межах. Наявність витратоміра – являється критичною умовою задля підтримання постійного потоку газу протягом усього циклу зварювання.

## **2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції**

### **2.2.1 Заготівельні операції**

Процес виготовлення зварної конструкції кожухового теплообмінника починається насамперед із комплексу заготівельних операцій, які визначають не лише геометричну точність майбутніх елементів, а й безпосередньо впливають на якість формування зварних з'єднань. Під час цього особливу увагу слід приділити ретельному відборі заготовок з необхідними механічними властивостями, а також належній підготовці зон кромки для їх подальшого зварювання. Враховуючи, що конструкція передбачає використання низьколегованої сталі марки 09Г2С, заготовки повинні відповідати вимогам сертифікації за хімічним складом і мати достатній рівень чистоти поверхонь, без окалин, тріщин чи дефектів прокату.

Найпершим розглянемо виготовлення частин корпусу із листового прокату. Ними являються обичайка (поз.2) та деталі для зварних підвузлів (поз.5, 6, 7), відповідно першим кроком є операція розкрою листового металу та труб необхідної товщини згідно розмірів та вимог технічної документації. В умовах серійного виробництва для розкрою листових прокатів було обрано використання машини автоматичної плазмової різки із джерелом живлення РАДІАН ПРК-130М, її зображення

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

продемонстровано на рисунку 2.8. Плазмовий різак забезпечує чистоту різку, що відчутно знижує необхідність у додатковій механічній обробці. Цей спосіб дозволяє отримувати високу точність під час роботи, а також мінімальну зону

термічного впливу у порівнянні із іншими. Контури отворів та з'єднувальних площин формуються одночасно в межах тієї ж операції з дотриманням координатної прив'язки.



Рисунок 2.8 – Машина плазмового різання [20]

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики джерела живлення РАДІАН ПРК-130М [20]

Параметри	Значення
Максимальна товщина різання, мм	20
Максимальна товщина пробивання, мм	18
Робочий струм, А	30-130
Живлення, В	3x380
Захист від перенавантаження	ПВ 60% при 130 А
Система охолодження	повітряне

Фланці (поз.1) , заглушки (поз.4) та деталі зварного підвузла (поз.3) виготовляються із кругляка, який вирізається на стрічкопильному верстаті, який показаний нище на рисунку 2.9.

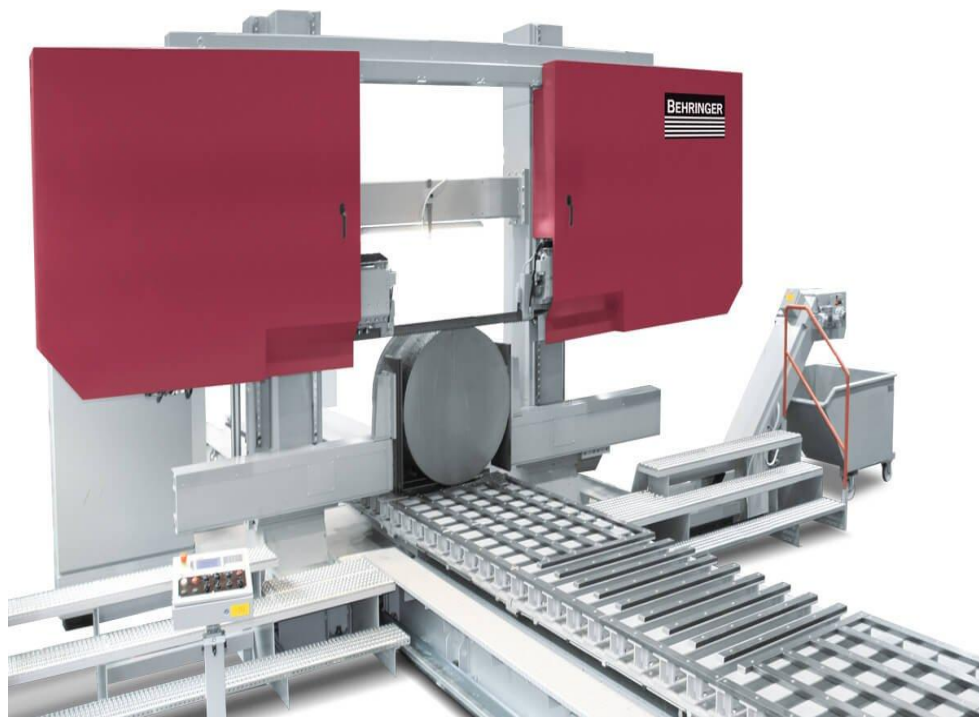


Рисунок 2.9 – Стрічкопильний верстат BEHRINGER HBP 1100A Performance [24]

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики стрічко-пильного верстата [24]

Параметри	Значення
Максимальний діаметр, мм	1100
Тип	Автоматичний горизонтальний стрічкопильний верстат
Розмір стрічки, мм	10400x67x1.6
Подача	Сервопривід із точним керуванням
Потужність, кВт	11-15

Наступним виконують розточування центрального отвору, після чого поверхню та отвори під гвинти піддають обов'язковій обробці на токарному верстаті. Під час цієї операції необхідно дотримуватись допусків, які являються необхідними задля подальшої герметизації фланцевого з'єднання. Також симетрія розташування отворів на спарених деталях є важливою для точного складання виробу без додаткового припасування. Деталь обичайка (поз.2) вирізається листового прокату товщиною – 16 мм на плазмовій машині. Після розкрою лист спрямовується на листозгинальні вальця, модель якої показана на рисунку 2.10. Технічні характеристики листозгинального верстату вказані у таблиці 2.11. Продиться контроль радіуса згину, а у разі виявлення залишкових деформацій після згинання застосовуються операції механічного вирівнювання або термообробки.



Рисунок 2.10 – Валковий листозгинальний верстат Faccin 4HEL-5006 [25]

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики Faccin 4HEL-5006 [25]

Параметри	Значення
Тип	4-валковий гідравлічний валювальний верстат
Максимальна ширина	5000 мм
Максимальна товщина	До 20 мм
Керування	CNC
Матеріал	Вуглецева сталь, нержавіюча, алюміній
Виробник	Faccin S.p.A., Італія

Зварний підвезол фланець з трубою (поз.3) виконується з труби та листового прокату. Заготовку із труби відрізають на стрічкопильному

верстаті, а листовий прокат відповідно на автоматичній плазмовій різці. Після цього деталі піддаються механічній обробці та передаються на складання.

Заглушки фланцевого типу (поз.4) виготовляються з кругляка за допомогою стрічкопильного верстату, їх обробка є аналогічною як для фланцевих деталей, проте додатково враховується симетрія розміщення штифтів або центрувальних елементів, які згодом слугують для монтажу теплообмінника на трубопровідну систему. Деталі (поз.3) та (поз.4) піддаються обробці на свердлильному та токарному верстатах.



Рисунок 2.11 – Радіально-свердлильний верстат ZJ Radial Drilling Machine [26]

Таблиця 2.12 – Технічні характеристики ZJ Radial Drilling Machine [26]

Основні параметри	Значення параметрів
Тип	Радіально-свердлильний верстат
Максимальний діаметр, мм	50
Хід шпинделя, мм	315
Відстань від шпинделя до основи, мм	1200
Потужність двигуна, кВт	4

Стійки – верхні та нижні ( поз. 5 і 6) – виконуються із листового прокату на автоматичній плазмовій установці. Підвузол теплообмінник (поз.7) виготовляється із труб та листового прокату відповідно на стрічкопильному верстаті та автоматичній плазмовій установці.

У разі розкрою трубних заготовок використовується відрізне обладнання з автоматичним позиціонуванням – це напряму впливає на зменшення похибки по довжині та куту різку. З особливою увагою проводиться розмітка отворів для трубної решітки, оскільки будь-яке відхилення на цьому етапі ускладнить складання та може призвести до напружень у місцях з'єднання.

Після завершення процесу розкрою, всі деталі піддаються операціям механічної та термічної обробки відповідно до креслень та технологічних вимог. Важливим є витримати відповідну точність шорсткості поверхні та розміри отворів. Термообробка виконується задля зняття залишкових напружень, що утворюються внаслідок різання. Поверхня деталей, та щонайважливіше зони зварювання очищуються від продуктів окислення та мастил механічним або хімічним способом, що сприяє поліпшенню стабільності дуги.

У конструкціях типу кожухових теплообмінників велике значення має якість підготовки торців труб і кожуха, де формуються кільцеві та поперечні шви. Для труб це може включати фаски під зварювання, що виконується за допомогою спеціалізованих верстатів або ручного інструменту з направляючим центруванням. Фаски повинні мати строго витриманий кут, згідно зі стандартами (зокрема ГОСТ 14771-76), що забезпечує оптимальну геометрію шва та зменшує ризик непровару.

Всі підготовлені заготовки після завершення операцій маркуються та комплектуються згідно зі складальною схемою, що забезпечує чітку ідентифікацію кожного елемента на етапі складання.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

## 2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

Для збільшення продуктивності було прийнято рішення розбити конструкцію на складально-зварювальні підвузли. Перед складанням основної зварної конструкції потрібно виготовити підвузол труба та фланець (поз.3) із відповідних елементів.

Процес складання та зварювання корпусу теплообмінного апарату розпочинається з установки деталі обичайка (поз.2) горизонтально на стаціонарному стенді. Далі для витримування радіальності застосовуємо центратор. Після закріплення виконуємо 15 прихоплень по 20 мм кожне. Для витримання правильного діаметру обичайки (поз.2) в торець виставляємо деталь фланець (поз.1) - 2 шт. та виконуємо 8 прихоплень по 20 мм кожне.

Після цього виконуємо зварювання автоматичним методом під шаром флюсу за допомогою зварювальної колони таких зварних з'єднань:

- Один стиковий шов стикового з'єднання С21 довжиною 4185 мм.
- Два стикових шва стикового з'єднання С21 по замкнутому контуру довжиною 2198 мм кожне.

Наступним етапом є виготовлення окремого підвузла теплообмінника (поз.7), який складається з листа із технологічними отворами та пучка труб які викладаються на пристрій складальний. Лист із технологічними отворами виставляється перпендикулярно до стола та закріплюється торець до упору струбцинами, після чого в отвори вкладаються труби та виконуються 792 прихоплення по 5 мм кожне. Після цього виконуються вісімдесят вісім стикових шва стикового з'єднання С8 во замкнутому контуру.

По технологічних отворах, які знаходяться на обичайці (поз.2) виставляємо зварний підвузол фланець з трубою (поз.3) – 2 шт. перпендикулярно до неї з обох сторін, після чого виконуємо вісім

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прихоплень по 15 мм кожне. Після цього за допомогою механізованого зварювання у захисних газах між деталями обичайка (поз.2) та підвузлом фланець з трубою (поз.3) виконуємо два кутових шви таврового з'єднання Т6 із катетом 20 мм по замкнутому контуру та по 728 мм кожний.

В деталь обичайка (поз.2) вкладаємо підвузол теплообмінник (поз.7) відповідно по торцях та виконується 12 прихоплень по 15 мм кожне. Після за допомогою напівавтоматичного методу виконуються два кутові односторонні шви кутового з'єднання У6 із катетом 18 мм по замкнутому контуру.

Завершальним етапом є складання-зварювання підвузлів верхньої та нижньої стійки (поз.5 та поз.6), які складаються в технологічній оснастці по упорах та закріплюються гвинтовими притискачами згідно із технічним кресленням. За цим проводяться прихоплення та в подальшому за допомогою MIG – способу виконуються дванадцять кутових двохсторонніх швів таврового з'єднання Т3 із катетом 12 мм кожний.

### **2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями**

Деформації являються головною проблематикою та недопустимим фактором який виникає внаслідок дії внутрішніх напружень металу. У процесі виготовлення, зокрема при складанні-зварюванні будь-якої просторової конструкції виникають напруження та внаслідок цього певні деформації, що напряму пов'язані із локальним нерівномірним нагріванням металу в зоні зварювання. Ці процеси можуть призводити до геометричних відхилень відносно креслень та допусків, що

відповідно впливає на експлуатаційні критерії, герметичність, міцність та стійкість конструкції в цілому. Саме тому головною задачею є

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

мінімізувати напруження та деформації за допомогою впровадження методик та заходів, які зменшують негативні наслідки термічного впливу зварювання.

Розглянемо геометрію виробу та специфічність його складання. Так як товщина деталей та дожини швів є досить великими, даному випадку ключовими чинниками, які впливають на напруження є концентрація тепла при проведенні зварювання. Задля запобігання перегріву зварювальної та біляшовної зон, можна використовувати метод зварювання за принципом холодного місця - це зменшить перегрів, а відповідно і виникання внутрішніх напружень. Також важливим елементом у боротьбі з деформаціями є використання прихваток, які слугують фіксаторами взаємного положення деталей перед виконанням повного шва. Вони виконуються короткими ділянками зварювання в точках, де найменша ймовірність термічного розширення, та видаляються після основного зварювання, якщо цього вимагають вимоги до шва. Крім прихоплень, у місцях з високою концентрацією напружень доцільно встановлювати тимчасові ребра жорсткості або розпірки, які примусово знімають частину навантаження під час остигання шва.

У місцях де зварювання необхідно проводити двохсторонніми швами доцільним буде використання попереднього підігріву до температури 100-120 °С щоб уникнути утворення твердих структур в зоні термічного впливу.

Одним із методів, які запобігають великій концентрації теплоти та утворенні внутрішніх напружень при зварюванні швів із великими довжинами є – принцип шахового порядку, а також використовують технологію проведення зварювання від середини до країв.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

## 2.2.4 Технологічний контроль якості та виправлення браку

Для початку суть даного етапу полягає у перевірці геометричних параметрів заготовельних деталей, а саме: відповідність довжин, діаметрів, товщин стінок і правильність обробки кромки перед зварюванням

Окрему увагу приділяють торцям труб та фланцевим поверхням, оскільки від точності їх виготовлення залежить щільність з'єднання і відповідно герметичність виробу вцілому. У разі виявлення відхилень, наприклад, овальності труби або зміщення центра отворів, деталі вибраковуються або коригуються відповідно до технічних допусків.

Після свердління отворів необхідно проводити контроль розміру діаметрів відповідно допустимим величинам та у випадках відхилення – корегувати їх одразу. Щоб запобігти не точності позиціонування отворів, або їх розмірності, важливим є точне розмічення перед свердлінням. Також важливо проводити обробку поверхонь перед складанням та зварюванням деталей, очистку від окалин, бруду та жиру, це напряду покращує якість цих процесів.

Під час процесу складання-зварювання є необхідність у постійному візуальному контролі правильності суміщення отворів, симетрії розміщення елементів конструкції та зварних підвузлів, а також зміщення зазорів. Це дозволить одразу виявити грубі помилки, які впливають на геометрію конструкції. Складаючи елементи деталі чи зварних підвузлів необхідно проводити контроль співвісності у отворах, корегувати та дотримуватись перпендикулярності там, де вона являється необхідністю згідно технічних креслень. Стикування деталей повинно бути рівномірним, без виступів та лише із допустимими зазорами. Для контролю виникає потреба у використанні допоміжних вимірювальних інструментів та приспособлень.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Безпосередньо під час зварювання контролю підлягають такі критерії як стабільність дуги, рівномірність наплавлення, формування валиків, а також відсутність дефектів. Коригування в даному випадку здійснюється шляхом коригування параметрів режиму зварювання.

Після проведення складально-зварювальних робіт, необхідне проведення контролю якості зварних з'єднань. Для початку проводять візуальний огляд, за ним одразу проводять заміри. Проводиться перевірка розмірності швів, за допомогою спеціального інструменту перевіряється величина катетів кутових швів. Вони перевіряються на відповідність форми нормативам, наявність поверхневих дефектів, а також рівномірність ширини й висоти валиків. Для критичних стикових з'єднань, в даному випадку такими являються шви фланців з обичайкою, застосовується капілярний контроль – він дозволяє виявити тріщини або пори, які не можна побачити зовні.

Так як корпус теплообмінного апарату це конструкція, до якої ставляться вимоги відсутності протікання під тиском та герметичності, додатково проводиться гідравлічне випробування з подачею тиску вищим за робочий, що дозволяє перевірити герметичність стиків. Якщо виявлені зовнішні дефекти, а саме:

- Підрізи;
- Напливи;
- Непровари кореня шва;
- Кратери;
- Нерівномірності форми швів;
- Поверхневі тріщини та пори;
- Відхилення розміру шва,

Для виявлення внутрішніх дефектів зварних швів - залучають методи неруйнівного контролю, а саме ультразвуковий та рентгенографію. Внутрішні дефекти включають:

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- Внутрішні пори та тріщини
- Металеві включення
- Внутрішні подрізи
- Непровари

Проводять зачищення шва з подальшим повторним наплавленням за скоригованими режимами, або локальне вирізання дефектної ділянки із подальшим повторним проведенням зварювання. Найгіршим є утворення як внутрішніх так і зовнішніх тріщин, цей дефект являється недопустимим та його виправляють за допомогою повного видалення пошкодженої ділянки та прилеглого до неї основного металу, після чого заново проводять зварювання лише після підтвердження відсутності структурних змін у прилеглих шарах, щоб тріщини не поширились далі.

Усі операції з виправлення супроводжуються повторним контролем якості, в тому числі із залученням методів неруйнівної діагностики. Результати перевірок обов'язково фіксуються у відповідній документації, яка додається до виробу як частина технічного паспорта.

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Компонування складальних та зварювальних установок

Для виготовлення підвузлів та самої конструкції корпусу теплообмінного апарату, є необхідним використання грамотного компонування відповідного обладнання у виробничому просторі. Задля спрощення процесів складання та зварювання виробу задіюються комплексні установки. Це дозволяє забезпечити логічну послідовність операцій, зручний доступ до зони обробки, мінімізацію втрат часу на переналадку та покращення умов праці. У випадку виробу, який містить циліндричні елементи великої довжини та фланцеві вузли, компонування дільниці або поста має враховувати особливості обертання, фіксації та зварювання таких об'ємних об'єктів.

Основним елементом робочого місця під час процесу складання конструкції являється регульований роликовий стенд. Він дозволить встановити обичайку (поз.2) у горизонтальному положенні та обертати її навколо осі, що напряду полегшить процес зварювання, адже воно буде проводитись у одному просторовому положенні. Ролики повинні мати м'яке покриття із гуми або поліуретану, щоб зменшити пошкодження поверхні деталі під її вагою. Рама оснащується фіксаторами, які допоможуть у випадку зсуву виробу під час зміни положення.

Так як для виготовлення конструкції використовуються два методи зварювання, а саме механізоване у захисних та автоматичне під шаром флюсу. Насамперед розглянемо компонування установок для процесу зварювання під шаром флюсу. Помимо роликового стенду, для проведення повздовжніх та кільцевих швів великої довжини використовуємо балкову зварювальну колону зображену на рисунку 3.1, на якій розташоване джерело живлення Jasic MZ-1250, бункер

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

автоматичної подачі флюсу, система подачі дроту та блок управління для зварювання. Окрім цього застосовується обладнання збору флюсу із просіюванням. Сама колона має пульт дистанційного управління та монтується на основі за допомогою підшипників, які в свою чергу дозволяють здійснювати поворот на 360°.



Рисунок 3.1 – Колона для зварювання під шаром флюсу [27]

У потрібному положенні колону можна зафіксувати за допомогою ручного фрикційного пристрою, а підйом по вертикалі за рахунок мотор-редуктора змінного струму, який самосповільнюється. Технічні характеристики зварювальної колони наведені нижче у таблиці 3.1.[27]

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики зварювальної колони [27]

Основні параметри	Величини параметрів
Робочий хід по вертикалі, мм	3500
Робочий хід по горизонталі, мм	3500
Швидкість переміщення консолі, мм	0.12-1.2
Швидкість підйому консолі, м/хв	1.2
Габаритні розміри колони, мм	4800x2000x2900
Мінімальна відстань між консоллю та підлогою, мм	300

Дані устаткування використовуються на ряду із зварювальним напівавтоматом. Сам напівавтомат складається із компонентів: панелі управління, блоку подачі дроту та джерела струму – випрямляча ESAB WARRIOR 400I. Установку обладнують пальником, масотримачем і системою подачі газу із балонами суміші та редуктором задля регулювання його витрати.

Робоче місце також обладнане позиціонувальними пристроями, зокрема підставками для точного розміщення елементів фланців, патрубків та стійок під час процесу складання. Задля правильного суміщення з корпусом та збереження співвісності під час виконання прихоплень використовують оправки та центрувальні кільця.

### **3.2 Розрахунок окремих елементів пристосувань**

Для того щоб забезпечити найбільш точне розташування елементів конструкції корпусу теплообмінного апарату під час етапу складання та зварювання, були застосовані пристосування стендового типу. Вони відіграють функції фіксації, центрування та утримання деталей в необхідному проектному положенні. Зважаючи на особливість виробу, його габаритні розміри та специфічність розташування наявних елементів, виникає потреба у кількох видах упорів, затискачів і допоміжних елементів, які будуть приймати навантаження під час монтажу теплообмінника та подальшого процесу зварювання. Універсальне пристосування буде складатись з таких окремих елементів [28]:

- два опорні роликові блоки для установки обичайки (поз.2);
- гвинтові притискачі для фіксації фланців (поз.1) до обичайки (поз.2);

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- ексцентрикового затискача для швидкої фіксації патрубків;
- опорний кондуктор з V-подібною опорою для збирання стійок (поз. 5 та 6);
- направляючої оправки для центрування по фланцю;

Насамперед розглянемо гвинтовий притискач та його розрахунок. Слугує він в даному випадку для стягування фланця (поз.1) до торця обичайки (поз.2) в процесі точного взаєморозміщення під час зварювання стикового кільцевого шва. Зусилля затиску вибираються з рахуванням сил тертя при утриманні деталей, їх маси та необхідного моменту сили на обертовому важелі.

### Розрахунок гвинтового притискача:

Найпершим необхідно знайти внутрішній діаметр гвинта, він визначається за формулою [28]:

$$d_{Ai} = \sqrt{\frac{1,27P_0}{|\sigma|}}, \quad (3.1)$$

де  $P_0 = z_0 \cdot P$  - розрахункове зусилля, яке застосовується для попереднього визначення діаметру гвинта,  $z_0 = 2$ ,  $P$  - осьове зусилля на гвинті.  $|\sigma|$  - допустиме зусилля на гвинті, вимірюється у МПа,  $|\sigma| = 80 \text{ МПа}$ .

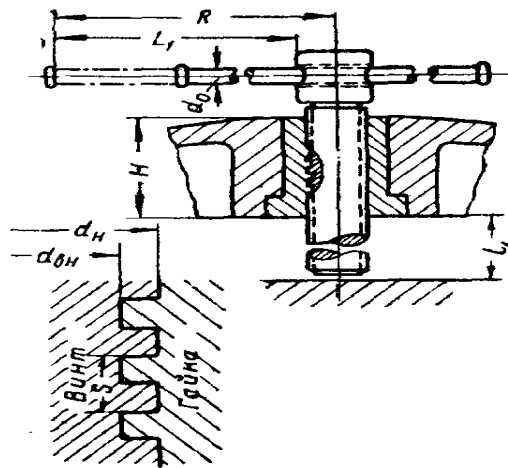


Рисунок 3.2 – Будова гвинта

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Наступним кроком є визначення діаметру гвинта, із вихідними даними формули 3.4, його розрахунок виглядає наступним чином [28]:

$$d_{BH} = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 2 \cdot 50000}{80 \cdot 10^6}} = 0,024\text{м} = 24\text{мм} \quad (3.2)$$

Відповідно умові стандартизації приймаємо діаметр - 24 мм. Вільна довжина гвинта  $l_1 > 10 \cdot d_{BH} = 240 > 40\text{мм}$ . Повздовжня перевірка виконується за формулою [28]:

$$\sigma_z = \frac{1,27 \cdot P_0}{d_{Ai}^2 \cdot \varphi_0} < |\sigma| = 80\text{МПа} \quad , \quad (3.3)$$

де  $\varphi_0$  - є коефіцієнтом зменшення основного допустимого напруження на стиск. Для сталі Ст.5 вибирається в залежності від вихідного значення формули [28]:

$$\frac{l}{r_0} \quad , \quad (3.4)$$

де:  $l$  - розрахункова довжина при повздовжньому згині, яка приймається рівною -  $0,5 \cdot l_1$  при жорсткому закріпленні кінця гвинта [28];

$r_0$  - радіус інерції, який рівний -  $\sqrt{\frac{I_{\min}}{F}}$  ;

$I_{\min}$  - мінімальний момент інерції, який рівний  $0,05d_{Ai}^4$  ;

$F$  - площа перерізу гвинта по внутрішньому діаметру, яка рівна:

$$\pi \cdot \frac{d_{Ai}^2}{4} \quad , \quad (3.5)$$

Відповідно розрахунок буде мати наступний вигляд:

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = 3,14 \cdot \frac{24^2}{2} = 904 \text{ мм}^2, I_{\min} = 0,05 \cdot 4^4 = 16588,8 \text{ см}^4; r_0 = \sqrt{\frac{16588,8}{904}} = 4,2,$$

$$l = 0,5 \cdot 240 = 120 \text{ см}; \frac{l}{r_0} = \frac{120}{4,2} = 28,5. \quad (3.6)$$

Якщо  $\varphi_0 = 0,94$ , тоді [28]:

$$\sigma_z = \frac{1,27 \cdot 2 \cdot 500}{24^2 \cdot 0,94} = 23 \text{ МПа} < 80 \text{ МПа} \quad (3.7)$$

Наступним етапом буде перевірка пружності від стиску і кручення, це можна зробити за допомогою формул [28]:

$$\sigma_z = \frac{1,27 \cdot P}{d_{\text{вн}}^2}; \sigma = \frac{1,27 \cdot 2 \cdot 5000}{24^2} = 220 \text{ кг} / \text{см}^2 \quad (3.8)$$

$$\tau = \frac{M}{W}, \quad (3.9)$$

де:  $W$  - момент опору, визначається за формулою [28]:

$$W = \frac{\pi \cdot d_{\text{дв}}^3}{32}; \quad (3.10)$$

$M$  - це момент від зусилля тертя на різьбі, його розраховуємо наступним чином [28]:

$$M = P \cdot \text{tg}(\phi + \rho) \cdot r_{\text{сп}}, \quad (3.11)$$

де  $\phi$  - кут підйому гвинтової лінії на середньому діаметрі,  $\phi = 30^\circ$ ;

$\rho$  - кут тертя для пари гвинт-гайка,  $\rho = 20^\circ$ ;

$r_{\text{дв}}$  - середній радіус різьби.

Знайшовши значення, можна підставити їх у формули та додатково провести перевірки розтягів та кручень [28]:

$$W = \frac{3,14 \cdot 24^3}{32} = 56,52 \text{ см}^3 \quad (3.12)$$

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$M = 500 \cdot \operatorname{tg}(30 + 20) \cdot 12 = 11460 \text{ кг} \cdot \text{см} \quad (3.13)$$

$$\tau = \frac{11460}{56,52} = 202 \text{ кг} / \text{см}^2 \quad (3.14)$$

Повні напруження на гвинті будуть дорівнювати [28]:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 + 4\tau^2}, \text{ кг} / \text{см}^2 \quad (3.15)$$

$$\sigma = \sqrt{220^2 + 4 \cdot 202^2} = 460 \text{ кг} / \text{см}^2 < \sigma_{\text{дон}} = 600 \text{ кг} / \text{см}^2$$

Визначимо зусилля на рукоятці при плечі рівному R за формулою [28]:

$$K = \frac{M}{R}, \text{ кг} \quad (3.16)$$

$$K = \frac{11460}{250} = 45,8 \text{ кг} \quad (3.17)$$

Діаметри рукоятки притискача визначають за відповідною формулою [28]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{K \cdot l_1}{0,1 \cdot \sigma_{\text{дв}}}}, \quad (3.18)$$

Підставивши знайдені значення, можна виявити що:

$$d = \sqrt[3]{\frac{45,8 \cdot 24}{0,1 \cdot 600}} = 2,5 \text{ см} . \quad (3.19)$$

### Розрахунок пневмогідравлічного притискача

Одним із елементів складально-зварювальної оснастки є пневмогідравлічний притискач прямої дії рисунок - 3.3. Він поєднує у собі гідравлічні і пневматичні компоненти, а це дає нам змогу поєднати швидкодію та велику силу притиску при його компактних габаритах. Суть дії полягає у тому, що стиснене повітря переміщує поршень у

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

пневмоциліндрі, який через плунжер передає стиск на рідину в гідравлічному контурі, а та – на виконавчий поршень зі штоком [28]. Було вибрано наступні вихідні дані для розрахунку:

- Необхідна сила притиску на штоку гідроциліндра:  $Q = 5000 \text{ Н}$
- Тиск повітря в мережі:  $p_{\text{п}} = 0,6 \text{ МПа}$
- Діаметр плунжера приймається:  $d = 0,02 \text{ м}$
- ККД приводу:  $\eta = 0,85$

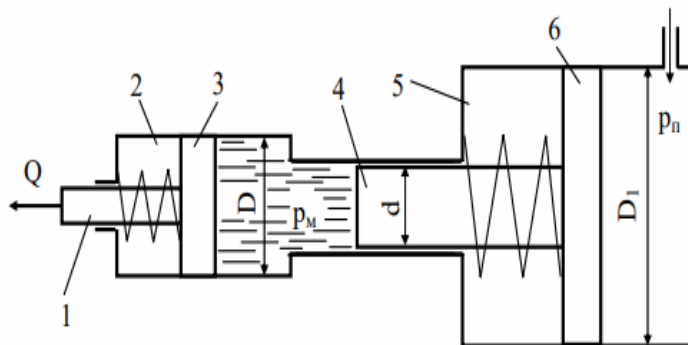


Рисунок 3.3 – Схема притискача пневмогідравлічного [28]

Насамперед проведемо розрахунок тиску масла у гідроциліндрі. Узявши з рівноваги сил у приводі та спростивши отримаємо [28]:

$$p_{\text{м}} = \frac{d^2}{D^2} * p_{\text{п}} \quad (3.20)$$

Підставимо рівняння [28]:

$$Q = \eta * \frac{\pi D^2}{4} * \left( \frac{d^2}{D^2} * p_{\text{п}} \right) = \eta * \frac{\pi d^2}{4} * p_{\text{п}} , \quad (3.21)$$

Незалежно від параметру D, сила Q – визначається плунжером. Тоді підставимо [28]:

$$Q = 0.85 * \frac{3,14 * (0,02^2)}{4} * 600000 = 160,02 \text{ Н} \quad (3.22)$$

Звідси стає зрозуміло, що реальна сила від пневмоциліндра без гідропосилення є недостатньою, а тому використовуємо його через передачу тиску на гідравлічний шток більшого діаметра.

Наступним кроком буде знаходження потрібного діаметра гідроциліндра для отримання  $Q = 5000$  Н при гідротиску рівному 6 МПа за формулою [28]:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \times n \times p_m}} = \sqrt{\frac{4 \times 5000}{3,14 \times 0,85 \times 6 \times 10^6}} = 35,3 \text{ мм} \quad (3.23)$$

Отже для забезпечення сили достатньо гідропоршня діаметром 35 мм, за умови ефективного посилення. Виконаємо перевірку плунжера для створення потрібного гідротиску. Згідно формулі 3.21 тиску масла підставимо значення і отримаємо [28]:

$$p_m = \frac{(0,02)^2}{(0,0353)^2} * 0,6 = 0,193 \text{ МПа,}$$

- це значення меншим від необхідного, отже потрібно використати проміжну гідроступінь.

Проведемо остаточний розрахунок робочої сили при заданих параметрах відповідно формулі 3.22 сили на вході [28]:

$$Q = 0,85 \times \frac{3,14 \times (0,353^2)}{4} \times 600000 = 4998 \text{ Н,}$$

а отже при знайденому діаметрі поршня і величині гідротиску, система забезпечує необхідне розрахункове зусилля.

### **Розрахунок опорних елементів оснастки**

Опорний елемент сприймає вагу корпусу обичайки, підтримує його в горизонтальному положенні. Можна припустити, що маса розподілена між двома опорами, кожна з яких сприймає [28]:

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = \frac{300 \cdot 9,81}{2} = 1471,5 \text{ Н} \quad (3.24)$$

Так як в даному випадку опора є сталевую балкою круглого перерізу з діаметром – 30 мм, перевіримо її момент згину, опору та напруження.

Момент згину розраховується за формулою [28]:

$$M = F \cdot l = 1471,5 \cdot 0,25 = 367,88 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (3.25)$$

Момент опору відповідно формулі [28]:

$$W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 30^3}{32} = 2650 \text{ мм}^3 = 2,65 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (3.26)$$

Тепер можна знайти напруження [28]:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{367,88}{2,65 \cdot 10^{-6}} = 138,8 \text{ МПа} \quad (3.27)$$

Оскільки для сталі 45 допустимим числом являється – 200 МПа, тоді переріз є безпечним.

### 3.3 Розробка плану цеху

Суть розробки планування цеху полягає у вдосконаленні розстановки робочих зон так, щоб виготовлення конструкції було ланцюговим. Це робиться з метою зручності і продуктивності, для того щоб деталі переміщувались послідовно від заготівельної ділянки до зони контролю без зустрічних або зворотніх маршрутів. Такий план дозволяє знизити простої і уникнути плутання в операціях.

Першочергово вхідні заготовки для корпусу теплообмінного апарату надходять до складу, який розташований біля вхідної зони цеху. У ньому здійснюється первинний облік, огляд надходжених матеріалів та відповідно ведеться облік і сортування. Поруч із ним розташовується

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заготівельна ділянка у якій встановлене обладнання для обробки, а саме: стрічкопильний, свердлильний і токарний верстати, а також машина плазмового різання. Їх розміщення виконано з урахуванням безпечної відстані та вільного доступу сировини з обох боків. Після обробки заготовки конструкції переміщуються в зону складання-зварювання. Там встановлені стаціонарні роликові стенди та пристосування, описані у розділі 3.2. У ній же розташовані вентиляційні системи та локальні димовловлювачі. Окрім цього у даній зоні розташоване обладнання для механізованого зварювання у захисних газах, та відповідно балони із сумішшю і обладнання для зварювання під шаром флюсу. Важливим є правильне освітлення, воно виконується з урахуванням захисту від засліплення й має бути не менше 300 лк.

У даному випадку, коли конструкція є досить габаритною та важкою, цех повинен бути обладнаний кранбалкою задля транспортування конструкції. Також у складально – зварювальній зоні передбачено розсташування позиціювальної поворотної рами, а також набір необхідних інструментів та приспособлень (шаблонів, калібрів, тощо) для контролю точності з'єднань.

Наступною окремою ділянкою цеху є зона технічного контролю, в якій виконується візуальні, вимірювальні, а також неруйнівні методи контролю якості. При виникненні необхідності гідравлічного випробування в цій зоні наявна відгороджена окрема площа з ємністю та насосом. Тут також важливим є хороше освітлення, столик з відповідними інструментами (лупи, дзеркала, контрастні рідини тощо) для виявлення дефектів.

Фінішною ділянкою є зона пакування й маркування виробів, окрім цього поруч з нею відведене місце для складування та зберігання готових виробів. Вихід готової продукції здійснюють через ворота з протилежного боку від вхідного.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час виготовлення корпусу теплообмінного апарата виникає низка потенційно небезпечних ситуацій, які потребують особливої уваги з точки зору охорони праці. Її принцип полягає в мінімізації впливів шкідливих та небезпечних факторів на людину під час виконання тої чи іншої роботи. Основну загрозу становить процес зварювання, що супроводжується виділенням інтенсивного світлового випромінювання, розробленням розплавленого металу та утворенням високотемпературного газового середовища. Все це може спричинити термічні опіки, пошкодження органів зору, а також отруєння або подразнення дихальних шляхів зварювальними газами й продуктами згорання.

Окремої уваги потребує електробезпека, оскільки зварювальне обладнання працює під високою напругою, а будь-яке пошкодження ізоляції кабелів або необережно провадження з електротримачем здатне призвести до ураження електричним струмом. Також є небезпека вибуху або займання при неправильному поводженні з балонами, які мають захисні гази під високим тиском, особливо у разі порушення герметичності з'єднання або наявності джерел відкритого вогню поруч. Механічна обробка деталей різання, свердління, вальцювання може бути джерелом поранень внаслідок контакту з ріжучим інструментом, а також спричинити травми в разі потрапляння оброблювальних елементів під рухомі частини верстата. Небезпеку становить й сам виріб, його елементи, адже їх маса є досить великою. Підняття та транспортування важких заготовок і вузлів конструкцій, що створює ризик падіння елементів, затискання кінцівок або перекидання обладнання.

Слід враховувати такий фактор, як втома працівників, яка виникає внаслідок тривалого фізичного навантаження, роботи у незручних положеннях та при недостатньому освітленні, що здатне спричинити

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

помилку у виконанні технологічних операцій, та можливе виникнення нещасних випадків на робочому місці.

Крім того, організація робочого простору має виключати необхідність роботи у небезпечних положеннях, а всі зони, де ведуться зварювальні чи монтажні роботи, повинні бути достатньо освітленими та обладнані попереджувальними знаками.

Особливу роль у забезпеченні охорони праці відіграють засоби індивідуального захисту. Для зварників обов'язковим є носіння вогнетривкого спецодягу, яке закриває усі оголені ділянки тіла, маски з затемнюючими склом, краги, костюм з натуральних матеріалів, не схильний до займання. Важливим є створення безпечних умов праці при виготовленні корпусу теплообмінного апарата, це не лише дотримання формальних вимог, а й частина виробничого процесу. Безпека залежить від проінформованості персоналу, від правильного організованого робочого середовища, від технічного стану обладнання і від здатності керівництва оперативно реагувати на будь-які виявлення порушення.

Для зменшення ризиків шкідливих факторів та виникнення небезпек під час виготовлення конструкції корпусу теплообмінного апарату з'являється необхідність у запровадженні комплексу певних організаційних заходів. Окрім застосування індивідуальних засобів захисту працівників треба правильно організувати робочі місця із забезпеченням справного обладнання, яке повинне вчасно проходити технічну перевірку та бути обладнане захисними системами. Саме обладнання повинне бути заземленим, справним та підключеним через трансформатори безпеки або стабілізатори які забезпечать плавний пуск і автоматичне відключення живлення при коротких замиканнях. До усього електрообладнання заборонено торкатись вологими руками, а також біля них повинні бути присутні діелектричні килимки.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Щодо організаційних вимог, насамперед перед роботою необхідним є проведення інструктажів (вступного та первинного) з охорони праці щодо того чи іншого процесу та етапу виготовлення виробу, а також обладнання з яким передбачена робота. В разі необхідності також проводяться повторні, позапланові та цільові інструктажі.

Для того щоб мінімізувати ризики термічних опіків, вражень зору від шкідливого впливу в процесах зварювання потрібно забезпечити відповідними захисними масками відповідно до стандартів. Для захисту навколишніх у даному випадку використовуються захисні переносні щити. Костюми зварників повинні бути із вогнетривкого матеріалу, такого як, брізент. Термостійкі рукавиці, відповідні високі захисні черевики із вогнетривкого матеріалу та металевими вставками – це необхідні елементи спецодягу. Зважаючи на високі температури металу та його розбризкування, поряд не має бути легкозаймистих матеріалів, а підлога біля зварника покрита термостійкими килимами або ж металевим листом із необхідною шорсткістю покриття.

Наступною не менш важливою проблемою є забруднення повітря у зоні складання – зварювання через дим та випари. Вирішенням для цього в першу чергу служить відповідна вентиляційна комбінована система. Необхідна як загальна, яка забезпечує повітрообмін приміщення в цілому, так і локальна у зоні, де безпосередньо проводяться зварювальні операції. Якщо вентиляції не достань, або роботи проводяться у замкнутому просторі (всередині обичайки), необхідно спорядити робітників захисними фільтрувальними масками або респіраторами для захисту органів дихання.

Вогнебезпечні елементи та легкозаймісті речовини першочергово повинні зберігатися відповідно, адже вони можуть особливо спричинити небезпечні ситуації у виробництві. Одним із них і в той момент необхідним є балони із стиснутими сумішами. Для їх транспортування

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

використовуються спеціальні візки, які дозволяють уникнути ударів ковзання або падіння. Вони повинні зберігатись вертикально із закріпленими ланцюгами у добре вентиляованих приміщеннях. Редуктор приєднується до балону лише після візуального огляду ущільнень та різьби на справність, а саме відкривання вентилів потрібно здійснювати повільно. Якщо був виявлений витік або інші несправності, роботу потрібно припинити негайно до їх повного виправлення. Слід також віддати належне протипожежним заходам, адже вони є не менш важливими. Дільниця повинна бути оснащена вогнегасниками із вуглекислою та порошковим вмістом, а також протипожежними інструментами та спеціально виведеним місцем із піском. Ці місця повинні бути спеціально промарковані та знаходитись у легкодоступних місцях.

Перевтома працівників на пряму впливає на рівень уважності під час роботи. Цього можна запобігти за допомогою раціонального планування режиму праці. Слід дотримуватись тривалості робочого дня, кількості перерв, послідовності виконання операцій повинні бути регламентовані згідно трудовим законодавством. Правильна освітленість також сильно впливає на втомленість, важливо щоб воно було не тільки в межах яскравості але й рівномірним. Температура у робочих приміщеннях повинна підтримуватись на рівні 16-22 °С – це дозволить уникати непотрібних перегрівів або переохолоджень. Працівники повинні вчасно та регулярно проходити профілактичний медогляд.

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

## ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської роботи було розроблено усі етапи технології виготовлення конструкції корпусу теплообмінного апарату, починаючи з підбору матеріалів та способів зварювання, завершуючи компонуванням робочого цеху та необхідними організаційними моментами щодо безпеки роботи. Усі виконані мною рішення приймалися на основі чинних стандартів, практичних міркувань технологічності та проводилось з урахуванням особливостей сучасного конструкційного виробництва України.

На сьогодні теплообмінники є незмінними елементами промисловості та що найважливіше у енергетиці. У зв'язку із активним прогресом модернізації промисловості та необхідністю відновлення пошкоджених об'єктів енергетики через теперішню ситуацію – попит на такі конструкції є доволі великим, що на пряму робить конструкцію корпусу теплообмінного апарату потрібною та економічно обгрунтованою.

Підсумовуючи, можна сказати що обрана конструкція, розраховані параметри та технологія виготовлення стануть надійною основою для подальшої професійної діяльності в галузі зварювального виробництва, яка відноситься до однієї з ключових і перспективних сфер сучасності.

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Складально-зварювальне оснащення. Методичні вказівки до практичних та лабораторних занять для студентів спеціальностей «Технології та устаткування зварювання. /Укл.: Березін Л.Я.-Чернігів: ЧНТУ,2015 - 80с.
2. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій, 2012, - 896 с.
3. Гуменюк І.В., Іваськів О.Ф., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання. Київ: Грамота, 2007. 272 с.
4. Квасницький В.В. Спеціальні способи зварювання: навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 437 с.
5. Панчук М.В., Шлапак Л.С. Зварювання плавленням: конспект лекцій (Частина 1). Іва-но-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. 67 с.
6. Панчук М.В., Шлапак Л.С. Зварювання плавленням: конспект лекцій (Частина 2). Іва-но-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 109 с.
7. Гуменюк І. В. Обладнання та технології зварювальних робіт : навч. посіб. / І. В. Гуменюк. — К. : Грамота, 2014. — 120 с. Волченка В . Н. Контроль якості зварних конструкцій [Текст]/В. Н. Волченко. -М. : Машинобудування , 1986 . - 152 с.
8. Василик А.В. Спеціальні методи зварювання: конспект лекцій. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. 89 с.
9. Нормування витрати зварювальних матеріалів при зварюванні у вуглекислому газі та його сумішах.- Київ: Екотехнологія, 2008, - 66 с.
10. Чернов І. М. Конструювання зварних з'єднань. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 198 с.
11. Шаповалов В. І., Колесніков Ю. В. Технологія зварювання. – Харків: УкрДАЗТ, 2020. – 228 с.

					КРБ.ЗТ-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

12. Папков С. М., Кузнєцов І. В. Сучасні технології автоматизованого зварювання. – Дніпро: НМетАУ, 2022. – 143 с.
13. Тимченко О. С. Зварювання тиском і спеціальні види зварювання. – К.: НАУ, 2020. – 148 с.
14. КОМПАС-3D. Довідкове керівництво користувача. – АСКОН, 2021. – 122 с.
15. Сталь 09Г2С: Хімічний склад, властивості, зварюваність – Режим доступу: <https://metalspace.com.ua/materials/09g2s>.
16. В.Ц. Жидецький. Основи охорони праці. Львів, Афіша. 2002. – 310
17. В.В. Сафонов, Л.М. Діденко, В.В. Мелашич. Охорона праці при встановленні і монтажі металевих конструкцій. К., Техніка. 2006. – 235с.
18. Технічні характеристики протукції сталі 09Г2С, URL: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/09g2s>
19. Зварювальний напівавтомат, URL: <https://kievsvarka.com.ua/ua/p1572556950-svarochnyj-poluavtomat-warrior.html>.
20. Машини термічного різання Радіан, URL : <https://radian.ua/katalog/radian/>.
21. Зварювальний трактор JASIC MZ-1250, URL: <https://prompostavka.in.ua/ua/p1263172939-svarochnyj-traktor-jasic.html>.
22. Зварювальний дріт Св08Г2С, URL: <https://policarsnab.com/ua/p349997694-provoloka-svarochnaya-omednennaya.html>.
23. Флюс зварювальний АН-47, URL: <https://metal-shop.com.ua/ua/flus-svarochniy-an-47/>.
24. Стрічковий промисловий верстат, URL: <https://www.behringer.net/en/products/behringer-bandsaws/large-bandsaws/semi-automatic-large-bandsaws/hbp1100-1500.html>.
25. Механічні вальцевий верстат, URL: <https://www.faccin.com/>.

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

26. Радіальний свердильний верстат, URL:  
<https://www.elcncmachine.com/radial-drilling-machine/zj-radial-drilling-machine.html>.

27. Зварювальна колона серія МАВ/МВІ, URL:  
<https://qz.dp.ua/ua/p117226414-svarochnaya-kolonna-seriya.html>.

28. Карпенко А . С . Технологічна оснастка у зварювальному виробництві [ Текст ] / А . С . Карпенко . – К . : Арістей , 2005 – 268 с .

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

**ДОДАТОК А – ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ**

					КРБ.3Т-97.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64