

РОБОТА БАКАЛАВРА

КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ

Група ЗТ-22-1

Андрій Гудима

2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та будівництва "ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Гудима Андрій Миколайович

(підпис)

Група ЗТ-22-1

Розроблення технології виготовлення корпусу теплообмінника

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів
“Інжиніринг зварювальних технологій”
спеціальністю G9 “Прикладна механіка”**

Керівник: <u>д.т.н., проф.</u> <u>Шлапак Л.С.</u> _____ <i>підпис</i>	Завідувач кафедри будівництва: <u>к.т.н., доц.</u> <u>Андрусяк А.В.</u> _____ <i>підпис</i>
---	---

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

Інститут

архітектури та будівництва
"ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Кафедра будівництва

ОПП

"Інжиніринг зварювальних
технологій"

Спеціальність

G9 "Прикладна механіка"

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

(підпис)

" ____ " _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на випускні кваліфікаційну роботу бакалавра студента Гудими Андрія Миколайовича

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення корпусу теплообмінника

Затверджена наказом по університету № ____ від _____ 2026 р.

2. Термін здачі закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи

Технічні умови на складання та зварювання корпусу теплообмінника, креслення виробу, умови експлуатації корпусу теплообмінника, матеріал виробу сталь 16ГС.

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

1. Загальний розділ. 1.1 Загальна характеристика зварної конструкції корпусу теплообмінника, та його елементів. 1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу. 1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності. 1.4 Технічні умови на виготовлення ферм 2 Технологічний розділ. 2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування. 2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання. 2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів. 2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання. 2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування. 2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції. 2.2.1 Заготівельні операції. 2.2.2 Розробка технології складання та зварювання. 2.2.3 Технічний контроль якості та виправлення браку. 3. Конструкторський розділ. 3.1 Компонування складальних та зварювальних установок. 3.2 Розрахунок зубчатої передачі 3.3 Розрахунок необхідних зусиль притискання. 3.3 Розробка плану цеху. 4. Безпека праці.

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

1. Загальний вигляд корпусу теплообмінника. 2. Схема технологічного процесу виготовлення корпусу теплообмінника. 3. Установа для зварювання кільцевих зварних швів. 4. Установа для зварювання внутрішніх швів теплообмінника. 5. Установа для приварювання штуцерів та горловин. 6. Установа для зварювання обичайок. 7. План зварювальної ділянки цеху.

6. Дата видачі завдання _____

Керівник

Завдання прийняв до виконання

Шлапак Л.С.

Гудима А.М.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент _____ Гудима А.М.

Керівник _____ Шлапак Л.С.

РЕФЕРАТ

Робота бакалавра складається із 10 слайдів презентації, пояснювальної записки із 71 аркуша, 13 рисунків, 14 таблиць та 15 посилань на використану літературу.

Об'єкт роботи - технологічний процес виготовлення корпусу теплообмінника.

Мета роботи - розроблення технології виготовлення корпусу теплообмінника, вибір раціонального зварювального обладнання, зварювальних матеріалів та технологічної оснастки.

У випускній кваліфікаційній роботі було обґрунтовано вибір основних способів зварювання, зварювальних матеріалів, обладнання та технологічних режимів, які забезпечують отримання надійної, герметичної та міцної конструкції.

Для виготовлення поздовжніх і кільцевих стиків обичайок було обрано автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу, що забезпечує високу продуктивність процесу, стабільну якість швів, глибоке проплавлення та мінімальний вплив людського фактора. Для виконання складально-прихоплювальних операцій і приварювання окремих елементів конструкції застосовано напівавтоматичне зварювання в середовищі захисних газів.

Ключові слова: АВТОМАТ, ЗВАРЮВАННЯ, КОРПУС ТЕПЛООБМІННИКА, НАПІВАВТОМАТ, УСТАНОВКА, СКЛАДАННЯ.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 10 presentation slides, an explanatory note of 71 sheets, 13 figures, 14 tables and 15 references to the literature used.

The object of the work is the technological process of manufacturing the heat exchanger housing.

The purpose of the work is to develop a technology for manufacturing the heat exchanger housing, select rational welding equipment, welding materials and technological equipment.

The final qualification work substantiated the choice of the main welding methods, welding materials, equipment and technological modes that ensure the receipt of a reliable, hermetic and durable structure.

Automatic submerged arc welding was chosen for the manufacture of longitudinal and annular joints of the shells, which ensures high process productivity, stable weld quality, deep penetration and minimal human factor. Semi-automatic welding in a protective gas environment was used to perform assembly and clamping operations and weld individual structural elements.

Keywords: AUTOMATIC, WELDING, HEAT EXCHANGER HOUSING, SEMI-AUTOMATIC, INSTALLATION, ASSEMBLY.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Загальний розділ.....	8
1.1 Загальна характеристика конструкції корпусу теплообмінника.....	8
1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу.....	10
1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності.....	14
1.4 Технічні умови на виготовлення виробу.....	15
1.5 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу.....	17
2 Технологічний розділ.....	19
2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування.....	19
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання.....	19
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів.....	20
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання.....	23
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування.....	29
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції.....	39
2.2.1 Заготівельні операції.....	39
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання.....	40
2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями.....	42

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ						
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Розроблення технології виготовлення корпусу теплообмінника			<i>Лім.</i>	<i>Арк</i>	<i>Аркушів</i>	
<i>Розроб.</i>	Гудима А.М.									4	71
<i>Перевір.</i>	Шлапак Л.С.										
<i>Реценз.</i>											
<i>Н. контр.</i>	Матвієнків О.									ІФНТУНГ	
<i>Затверд.</i>	Андрусак А.В.						ЗТ-22-1				

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку.....	43
3 Конструкторський розділ.....	46
3.1 Компонування складальних та зварювальних установок.....	46
3.2 Розрахунок зубчатої передачі.....	53
3.3 Розрахунок необхідних зусиль притискання.....	59
3.4 Розробка плану цеху.....	60
4 Безпека праці.....	63
Висновки.....	67
Список використаних джерел.....	69
Додатки.....	71

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Сучасні галузі промисловості (хімічна, енергетична та ін.) потребують нового, більш сучасного обладнання, при цьому висуваються високі вимоги до його міцності, надійності та працездатності. Як правило, вироби такого типу можна отримати лише зварюванням плавленням. До них належать і вузли двигунів із зовнішнім підведенням тепла. До найбільш відповідальних конструкцій належать також теплообмінники, з трубними дошками [1].

Теплообмінники працюють у складних умовах: висока температура та тиск. Це визначає вимоги до зварних швів: вони повинні бути міцні з гарантованою глибиною проплавлення. При виготовленні теплообмінника з 1000 трубок лише 1 % зварних швів вимагають виправлення дефектів, що знижує ККД зварювання на 18 %. Для виготовлення теплообмінної апаратури використовують різні матеріали, але найчастіше застосовують високолеговані та нержавіючі сталі. Це призводить до виникнення безлічі проблем розробки конкретних технологічних процесів. Так, при зварюванні труб з трубними дошками можливе нерівномірне проплавлення, поява кільцевих тріщин, пор та інших дефектів. Такі недоліки виявляються при з'єднанні трубок малого діаметру (3...5 мм) із трубними дошками великої товщини (20...60 мм) [2].

Вибір методу зварювання залежить від конкретної конструкції, кількості зварних швів, їх положення, умов експлуатації та методів контролю. Зазвичай найбільш широко застосовується зварювання плавленням, яке розглядається як самостійна технологічна операція. При великій кількості зварних швів необхідно користуватися спеціалізованим обладнанням для отримання їх однакової геометрії. Високі змінні напруження, пов'язані з термодинамічною зміною тиску та температури зумовлюють експлуатацію з'єднань труб у трубних дошках. Виходячи з цього факту при їх конструюванні та підборі зварювальної технології необхідно забезпечувати

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		6

не тільки зварне з'єднання високої якості при найменших виробничих витратах, але також його надійність та експлуатацію протягом всього періоду роботи, що закладається [1].

Майже третина, а саме 26 %, становить пошкодзованість теплообмінних апаратів від сумарної пошкодзованості обладнання в цілому. За досвідом тих, хто експлуатує ці вироби можна дійти невтішного висновку, що надійність таких пристроїв значною мірою залежить від якості зварних швів труб з трубними решітками. Найбільш ймовірною причиною поломок таких систем (від 14% до 25%) є втрата герметичності зварних швів. У зв'язку з цим виникає необхідність припинення роботи апаратів, аналізу появи протікань і заглушки труб, у місця з'єднань з трубними решітками, що не забезпечують необхідної герметичності. Ці операції дуже складні, трудомісткі і часто пов'язані з важкими умовами роботи [2].

У реальних умовах роботи конструкції при її ремонті для відновлення поверхні теплообміну зазвичай проводиться заміна всього трубного пучка. Вартість ремонту залежить від величини бракованих трубок. Аналіз ресурсів, які необхідних при відновленні поверхні теплообмінників підігрівачів, та втрат економічності турбоустановки при функціонуванні з теплообмінниками, які мають часткову поверхню теплообміну, дозволяє виділити максимальну величину бракованих трубок, за якої економічно обґрунтовано замінити увесь трубний пучок [2].

Метою випускної кваліфікаційної роботи є підвищення продуктивності та якості виготовленні зварюванням корпусів теплообмінників за рахунок збільшення ефективності зварювальних операцій.

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		7

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

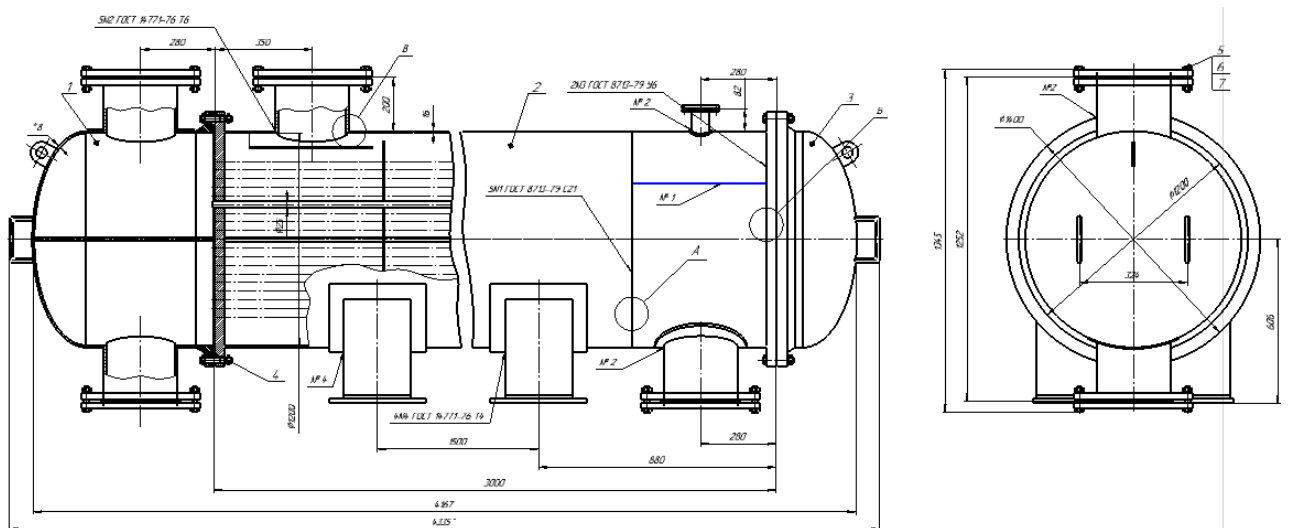
1.1 Загальна характеристика зварної конструкції корпусу теплообмінника, та його елементів

Теплообмінник 1000 ТНГ (рис. 1.1) виготовляється згідно з ГОСТ 15119-79. Основне призначення полягає в організації теплообміну технологічних середовищ (рідких та газоподібних) при виробництві основної продукції для хімічної, газової, нафтової, нафтопереробної, нафтохімічної та інших галузей промисловості. Постачання здійснюються як на український ринок, так і за кордон [2].

Таблиця 1.1 - Основні технічні характеристики теплообмінника 1000 ТНГ-1,0

Найменування параметрів		Призначення параметрів для апаратів
Температура теплообмінних середовищ, °C±5°C	в кожусі	90 °C
	в трубах	30 °C
Діаметр кожуху, мм		600
Поверхня теплообміну, м ²		75,5
Умовний тиск, МПа в кожусі		0,1
Умовний тиск МПа в трубах		0,1
Довжина теплообмінних труб, мм		4000
Зовнішній діаметр та товщина стінки теплообмінних труб, мм		20x2
Число ходів по трубах		4
Маса апарату, кг		4700

Розподільча камера теплообмінного апарату призначена для прийому технологічного середовища, спрямування його в трубний пучок та виведення назовні. Дана конструкція є циліндричною обичайкою з привареними до неї фланцями та ввареними штуцерами. Фланці призначені для з'єднання камери з корпусом апарату та кришкою. Всередині камери розташовується поперечна перегородка для розподілу входу та виходу рідини. Для зручності знімання кришки з камери на ній розташовується кран-укосина. Кришка розподільчої камери представляє собою еліптичне днище з привареним фланцем та привареною всередині поперечною перегородкою аналогічно як в розподільчій камері. Схема конструкції теплообмінника приведена на рисунку 1.1 [3].



1 – розподільча камера теплообмінника; 2 – штуцер; 3 – кришка розподільчої камери; 4 – фланець розподільчої камери; 5 – опора нерухома
 Рисунок 1.1 – Загальний вигляд теплообмінника 1200ТПГ-4,0-М4/25Г-6-К4

При розробленні технології виготовлення даної конструкції було враховано ряд особливостей, які визначають її технологічність [2].

Технологічність конструкції залежить від масштабу її випуску і типу виробництва. Конструкція, високотехнологічна для одного масштабу випуску, може виявитися не технологічною для іншого. Однією з основних умов

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		9

технологічності зварної конструкції є доступність її зварних швів для автоматичних процесів зварювання. Кількість і розміри зварних швів мають бути обґрунтовані міцністними розрахунками або технологічними умовами. Зайвий наплавлений метал погіршує якість конструкції і збільшує трудомісткість виготовлення і монтажу. Необхідно враховувати, що собівартість одиниці маси наплавленого металу в 15-20 разів вища, ніж собівартість маси зварної конструкції. Усі шви мають бути доступні до зварювання в нижньому положенні і в човник з урахуванням кантування виробу (при дугових процесах зварювання плавленням) і у вертикальному положенні з відхиленням не більше 10-15° від вертикалі для електрошлакових процесів зварювання. Форму оброблення кромки вибирають з технологічних міркувань, але слід враховувати, що [4]:

- двохстороння Х-подібна обробка зручна для виконання поворотних стиків, при цьому значно скорочується об'єм наплавленого металу в порівнянні з односторонньою формою оброблення кромки;

- для кутових швів об'єм наплавленого металу із збільшенням катету зростає пропорційно квадрату висот, а здатність несучого шва, при цьому росте за лінійним законом. Так, при збільшенні катета з 6 до 8 мм несуча здатність, збільшується в 1,3 рази, а об'єм наплавлення зростає в 1,8 рази [4].

Виходячи з таких міркувань можна оцінити технологічність даної конструкції як достатньо високою, адже при її виготовленні використовується значна кількість засобів механізації для зварювання та надання необхідного просторового положення.

1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу

Технологічність виготовлення зварного корпусу теплообмінника доцільно розглядати як сукупність конструктивних і виробничих рішень, що визначають, наскільки легко, економічно та стабільно може бути виготовлений виріб у

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		10

заданих умовах виробництва з забезпеченням необхідної якості, точності та надійності [3].

Зварний корпус теплообмінника є типовим прикладом великогабаритної зварної конструкції, що складається з кількох основних елементів: обичайки (циліндричної оболонки), днищ, патрубків для підведення та відведення теплоносія, а також додаткових елементів жорсткості або внутрішніх перегородок, якщо це передбачено конструкцією теплообмінника. Основним способом з'єднання цих елементів є зварювання, що визначає специфіку всього технологічного процесу виготовлення.

З точки зору технологічності конструкції, виріб загалом можна вважати раціональним, оскільки він побудований на основі простих геометричних форм, які добре піддаються виготовленню з листового та фасонного прокату. Обичайки формуються шляхом вальцювання листового металу, днища виготовляються штампуванням або глибокою витяжкою, а патрубки використовуються стандартні, що значно зменшує потребу в індивідуальній механічній обробці. Така уніфікація елементів позитивно впливає на технологічність, оскільки дозволяє застосовувати серійні заготовки та типові технологічні процеси [2].

Водночас, головним ускладнюючим фактором є велика кількість зварних з'єднань. Саме зварювання визначає як трудомісткість виготовлення, так і рівень вимог до точності та контролю. Більшість швів є стиковими або кутовими і виконуються в різних просторових положеннях, що ускладнює механізацію процесу. Частина з'єднань може бути виконана автоматичним або напівавтоматичним зварюванням, особливо поздовжні та кільцеві шви обичайок, однак приєднання патрубків і внутрішніх елементів часто вимагає ручного зварювання через обмежений доступ [3].

Важливим аспектом технологічності є матеріал корпусу. Найчастіше застосовуються конструкційні та низьколеговані сталі, які добре зварюються і не потребують складних режимів обробки. У випадку використання

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докum	Підпис	Дата		11

корозійностійких сталей або спеціальних сплавів технологічність знижується через підвищені вимоги до теплового режиму зварювання та захисту зони шва від окиснення. Однак навіть у таких випадках застосовувані матеріали, як правило, належать до добре освоєних у машинобудуванні, що дозволяє зберігати прийнятний рівень технологічності [2].

Заготівельні операції для корпусу є відносно простими. Листовий прокат розкроюється за допомогою газового, плазмового або лазерного різання, після чого здійснюється вальцювання обичайок. Днища надходять у вигляді готових штампованих елементів або виготовляються на спеціальному обладнанні. В якості патрубків зазвичай використовуються стандартні трубні заготовки. Така структура заготовок дозволяє мінімізувати складну механічну обробку і підвищує загальну технологічність виробу [3].

Разом з тим на етапі складання виникають певні труднощі, пов'язані з необхідністю забезпечення точного взаємного розташування елементів перед зварюванням. Оскільки корпус має великі габарити і відносно тонкостінні елементи, навіть невеликі відхилення можуть призводити до значних геометричних похибок. Особливо це стосується овальності обичайок і зміщення патрубків. Тому, в технологічному процесі широко використовуються складальні кондуктори, позиціонери та тимчасові прихоплення, які забезпечують правильну геометрію до моменту остаточного зварювання [2].

Однією з ключових проблем технологічності є зварювальні деформації. При нагріванні та подальшому охолодженні металу виникають внутрішні напруження, що призводять до викривлення форми корпусу. Це проявляється у вигляді овальності циліндричних частин, викривлення осі корпусу або локальних деформацій у зонах швів. Для зменшення цих явищ застосовують раціональну послідовність виконання швів, симетричне зварювання, попередній підгин елементів, а також у деяких випадках термічну обробку для зняття залишкових напружень. Таким чином, технологічність конструкції значною

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		12

мірою залежить від того, наскільки ефективно ці деформації можуть бути контрольовані в умовах виробництва [3].

Контроль якості зварного корпусу є невід'ємною частиною технологічного процесу і суттєво впливає на його складність. Оскільки теплообмінники часто працюють під тиском і в агресивних середовищах, вимоги до герметичності та міцності дуже високі. Тому застосовуються неруйнівні методи контролю, такі як ультразвукова та радіографічна дефектоскопія, а також гідравлічні випробування. Це підвищує загальну трудомісткість виготовлення, але є необхідною умовою забезпечення надійності [4].

З точки зору рівня механізації та автоматизації, виготовлення корпусу має середній рівень технологічного розвитку. Окремі операції, зокрема різання, вальцювання та частково зварювання обичайок, можуть бути автоматизовані або механізовані. Однак через індивідуальний характер багатьох вузлів та складність просторових з'єднань повна автоматизація процесу поки що є обмеженою. Значна частина операцій, особливо складальні та монтажні, виконується з використанням ручної праці [1].

Узагальнюючи, технологічність зварного корпусу теплообмінника можна оцінити як достатньо високу за умови правильно організованого виробництва. Вона забезпечується використанням стандартних матеріалів і заготовок, відносною простотою геометричних форм та можливістю застосування механізованих способів обробки і зварювання. Водночас, технологічність знижується через значну кількість зварних з'єднань, складність забезпечення геометричної точності та необхідності ретельного контролю якості [3].

Отже, основний висновок полягає в тому, що зварний корпус теплообмінника є конструктивно технологічним виробом, але його ефективне виготовлення значною мірою залежить не від самої конструкції, а від рівня організації зварювального виробництва, оснащення та технологічної організації.

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		13

1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності

Оскільки розподільча камера та її кришка піддаються впливу водяної пари, то виготовляються з сталі 16ГС. При виготовленні основних вузлів та деталей теплообмінника широко застосовується низьколегована конструкційна сталь 16ГС. Застосування в промисловості: елементи та вузли посудин під тиском та парових котлів, а також корпуси механізмів, днища, фланці та інші елементи, що працюють при температурах від - 40 до + 475 °С під тиском. Деталі зварних металоконструкцій, які працюють за температури мінус 70 °С.

Таблиця 1.1- Хімічний склад сталі 16ГС у % [2]

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

Таблиця 1.3 - Корозійні властивості сталі 16ГС [2]

Середовище	Температура випробувань, °С	Швидкість корозії, мм/год
Розчин NaOH	20	0.46
25% розчин NH ₄ OH	20	0.26

Для оцінювання впливу термічного циклу зварювання на низьколеговані сталі різних типів здійснюють серію комплексних досліджень і випробувань. Щоб мінімізувати явище знеміцнення металу в зоні, прилеглої до шва, процес зварювання таких сталей рекомендується виконувати з якомога меншою погонною енергією.

Досягнення однакової міцності між металом шва та основним металом забезпечується передусім завдяки легувальним компонентам, які переходять із

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ				Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата					14

основного металу до зварного шва. Крім цього, для підвищення надійності та опору крихкому руйнуванню метал шва додатково насичують легувальними елементами через використання спеціального зварювального дроту [2].

Під час зварювання низьколегованих сталей метал шва є більш схильним до появи кристалізаційних тріщин порівняно з низьковуглецевими сталями. Причиною цього є посилення шкідливого впливу вуглецю окремими легувальними домішками, зокрема кремнієм. Підвищити тріщиностійкість зварного з'єднання можливо шляхом зменшення вмісту сірки, вуглецю та інших небажаних елементів у зоні шва, застосуванням зварювального дроту зі зниженим рівнем відповідних домішок, а також завдяки правильному вибору режимів зварювання і оптимальної конструкції виробу [5].

Знаючи хімічний склад сталі можна визначити її зварюваність за еквівалентним вмістом вуглецю:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10} \quad (1.1)$$

Отже для сталі 16ГС еквівалентний вміст вуглецю буде:

$$C_{\text{екв}} = 0,12 + \frac{1,7}{20} + \frac{0,3}{15} + \frac{0,3}{10} = 0,255;$$

Виходячи з цього можна оцінити зварюваність сталі 16ГС як добру, що дозволяє нам використовувати різні методи зварювання без додаткових заходів перед та після зварювання.

1.4 Технічні умови на виготовлення виробу

Технічні умови на виготовлення теплообмінника визначають комплекс вимог до матеріалів, технології виробництва, контролю якості, випробувань та умов експлуатації виробу. Вони забезпечують відповідність теплообмінника вимогам міцності, герметичності, довговічності та безпечної роботи [3].

Під час виготовлення теплообмінника повинні використовуватись матеріали, передбачені конструкторською документацією та сертифіковані

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		15

відповідно до чинних стандартів. Листовий прокат, труби, патрубки та інші елементи не повинні мати тріщин, розшарувань, корозії чи механічних пошкоджень. Зварювальні матеріали мають відповідати хімічному складу основного металу та забезпечувати необхідні механічні властивості зварних з'єднань.

Механічна обробка деталей виконується відповідно до креслень із дотриманням встановлених допусків на розміри, овальність, співвісність і шорсткість поверхонь. Кромки деталей перед зварюванням необхідно очищати від окалини, мастила, вологи та інших забруднень [4].

Зварювання корпусу теплообмінника повинно здійснюватися атестованими зварниками за затвердженим технологічним процесом. Зварні шви мають бути рівномірними, без підрізів, тріщин, пор, непроварів і шлакових включень. Допускається застосування ручного дугового, напівавтоматичного або автоматичного зварювання залежно від конструкції та товщини металу. Після завершення зварювальних робіт проводять контроль якості зварних з'єднань. Контроль включає візуально-вимірювальну перевірку, а за необхідності - ультразвуковий, радіографічний або капілярний метод неруйнівного контролю. Виявлені дефекти повинні бути усунені з подальшою повторною перевіркою [3].

Для підтвердження герметичності та міцності теплообмінник піддають гідравлічним або пневматичним випробуванням під тиском, який перевищує робочий. Під час випробувань не допускаються протікання, падіння тиску чи залишкові деформації конструкції.

Поверхня готового виробу повинна бути очищена від шлаку, бризок металу, окалини та слідів корозії. За потреби виконується антикорозійне покриття або фарбування відповідно до умов експлуатації [2].

Готовий теплообмінник маркують із зазначенням основних технічних характеристик: марки матеріалу, робочого тиску, температури, серійного номера

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		16

та дати виготовлення. До виробу додається комплект супровідної документації, що включає паспорт, результати випробувань та сертифікати на матеріали.

1.5 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу

Базовий технологічний процес зварювання корпусу теплообмінника, включає низку послідовних операцій, спрямованих на забезпечення міцності, герметичності та надійності конструкції.

Спочатку здійснюється підготовка матеріалу та заготовок. Листовий метал очищують від окалини, мастила, іржі та інших забруднень, після чого виконують розмічування й різання заготовок відповідно до креслень. Далі проводять механічну обробку кромek під зварювання, формуючи необхідний кут скосу та зазор між деталями [3].

Наступним етапом є вальцювання листів у циліндричну форму. Після надання необхідного радіусу заготовки стикують і закріплюють прихопленнями для запобігання зміщенню під час зварювання. Потім виконують поздовжнє зварювання обичайки. Залежно від товщини металу та вимог до якості можуть застосовуватись ручне дугове, напівавтоматичне або автоматичне зварювання під флюсом [4].

Після виготовлення циліндричної частини здійснюють приварювання днищ до корпусу. Для цього деталі центрують, встановлюють у складальному пристрої та виконують кільцеві зварні шви. За необхідності додатково приварюють патрубki, фланці, опори, ребра жорсткості та інші конструктивні елементи теплообмінника.

Під час зварювання особливу увагу приділяють дотриманню режимів: сили струму, напруги дуги, швидкості зварювання та температури попереднього підігріву. Це дозволяє уникнути появи внутрішніх напружень, деформацій і тріщин у зварних з'єднаннях [4].

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		17

Після завершення зварювальних робіт проводять очищення швів від шлаку та бризок металу, візуальний і неруйнівний контроль якості з'єднань. Для перевірки герметичності корпус теплообмінника піддають гідравлічним або пневматичним випробуванням під тиском.

Завершальним етапом є термічна обробка (за потреби), антикорозійний захист поверхні та остаточне монтування виробу перед введенням в експлуатацію.

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докum	Підпис	Дата		18

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання

Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання при виготовленні корпусу теплообмінника полягає у виборі такого методу зварювання, який забезпечує необхідну якість зварних з'єднань, продуктивність виробництва та мінімальні витрати на виготовлення конструкції.

Корпус теплообмінника зазвичай являє собою циліндричну посудину, виготовлену з низьковуглецевих або низьколегованих сталей, що працює під тиском та при змінних температурах. Основними вимогами до зварювання є герметичність швів, висока міцність, відсутність дефектів та мінімальні залишкові деформації [3].

Для виготовлення корпусу теплообмінника можуть застосовуватись такі основні способи зварювання [5]:

Ручне дугове зварювання покритими електродами (ММА). Цей спосіб характеризується простотою обладнання та універсальністю застосування. Він не потребує складної апаратури та може використовуватись у важкодоступних місцях. Проте ручне зварювання має низьку продуктивність, значні витрати електродів і підвищену залежність якості шва від кваліфікації зварника. Крім того, виникає необхідність частого очищення швів від шлаку. Через це застосування ММА є доцільним переважно для ремонтних робіт, одиничного виробництва або приварювання допоміжних елементів [4].

Напівавтоматичне зварювання в середовищі захисних газів (MIG/MAG). Даний метод забезпечує вищу продуктивність порівняно з ручним зварюванням, стабільну якість шва та менші витрати часу на обробку з'єднань. Використання суцільного зварювального дроту дозволяє зменшити втрати металу та підвищити рівень механізації процесу. Напівавтоматичне зварювання добре підходить для

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докum	Підпис	Дата		19

виготовлення корпусів середньої товщини, забезпечує гарний зовнішній вигляд швів і зменшує деформації. Недоліком є вища вартість обладнання та необхідність використання захисного газу [1].

Автоматичне зварювання під шаром флюсу (SAW). Цей спосіб є найбільш ефективним для виконання довгих поздовжніх і кільцевих швів корпусу теплообмінника. Автоматичне зварювання забезпечує високу продуктивність, глибоке проплавлення, стабільну якість шва та мінімальний вплив людського фактора. Витрати електродного матеріалу при цьому менші, а коефіцієнт наплавлення значно вищий, ніж при ручному способі. Також суттєво знижуються витрати часу на виготовлення виробу. Основним недоліком є висока вартість обладнання та обмеження застосування переважно для нижнього положення шва [5].

З техніко-економічної точки зору найбільш доцільним способом виготовлення корпусу теплообмінника серійного або масового виробництва є автоматичне зварювання під шаром флюсу. Воно забезпечує найкраще співвідношення між продуктивністю, якістю та собівартістю виробу. Для приварювання патрубків, фланців і допоміжних елементів доцільно використовувати напівавтоматичне зварювання в середовищі захисних газів, яке забезпечує маневровість та високу якість з'єднань.

Таким чином, комбіноване застосування автоматичного та напівавтоматичного зварювання дозволяє підвищити ефективність виробництва теплообмінника, скоротити витрати матеріалів і часу, а також забезпечити необхідні експлуатаційні характеристики готового виробу.

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

У процесі зварювання як присадковий матеріал переважно застосовують сталевий зварювальний дріт, виготовлений методом гарячої прокатки або волочіння після прокатування. Для класифікації та нормування таких матеріалів розроблено стандарт ГОСТ 2246-70 «Дріт сталевий зварювальний», у якому визначено хімічний склад 77 марок зварювального дроту. У даному

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		20

нормативному документі регламентуються переважно хімічний склад і геометричні параметри дроту, оскільки експлуатаційні характеристики металу шва формуються під впливом багатьох технологічних чинників. Зварювальний дріт цього типу може використовуватись для виконання швів у будь-яких просторових положеннях, а наплавлений метал відзначається достатньою пластичністю, високою міцністю та добрим ступенем розкислення [6].

Під час зварювання маловуглецевих сталей кількість оксидних включень у металі шва залежить від марки застосованого дроту. Зокрема, при використанні дроту Св-08ГС вміст оксидних домішок становить приблизно 0,014 %, тоді як для дроту Св-08Г2С цей показник знижується до 0,009 %. Менший рівень забруднення металу шва пояснюється оптимальним співвідношенням кремнію та марганцю, за якого продукти розкислення утворюються у вигляді рідкоплинних силікатів, що позитивно впливає на структуру металу [5].

Зварювання здійснюється в газовому середовищі суміші 82 % Ar і 18 % CO₂. Основне призначення захисної атмосфери полягає у запобіганні контакту розплавленого металу з повітрям, що дозволяє уникнути окиснення та утворення дефектів у зварному шві [6].

Вибір зварювальних матеріалів визначається необхідністю отримання щільної та бездефектної структури металу шва, механічні властивості якої повинні відповідати умовам експлуатації конструкції. Для забезпечення достатньої міцності та підвищення стійкості до кристалізаційних тріщин і пористості при зварюванні низьколегованих і високолегованих сталей застосовують матеріали з підвищеним вмістом кремнію та марганцю. Такі елементи сприяють зменшенню ймовірності утворення дефектів і покращують якість зварного з'єднання [5].

Практика показує, що під час зварювання низьколегованих сталей найбільш якісні та щільні шви отримують із використанням кремніємарганцевих електродних матеріалів. Вони забезпечують мінімальну кількість оксидних

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		21

включень у наплавленому металі, що позитивно впливає на його мікроструктуру та механічні характеристики [6].

Таким чином, для автоматичного дугового зварювання під флюсом обичайок із сталі 09Г2С доцільно застосовувати флюс марки АН-348А у поєднанні зі зварювальним дротом Св-08А. Хімічний склад дроту Св-08А наведений у таблиці 2.1 [2].

Хімічний склад зварювального дроту марки Св-08А приведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад зварювального дроту марки Св-08А, % [7]

Марка дроту	С	Si	Ni	Cr	Mo	Mn	Ti	S	P
Св-08А	0,05 – 0,1	не > 0,03	0,25	0,1	–	0,35 – 0,60	–	не > 0,03	не > 0,03

Хімічний склад зварювального флюсу приведений в таблиці 2.2 [7]

Таблиця 2.2 – Хімічний склад зварювального флюсу марки АН – 348А, %

Марка флюсу	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	Fe ₂ O ₃	S	P
АН-348А	40–41	34–38	6,5	5–7,5	4,5	4–5,5	2,0	0,15	0,12

Для напівавтоматичного та автоматичного зварювання деталей корпусу теплообмінника, які виготовляються із сталі 09Г2С, використовуємо дріт суцільного перерізу марки Св-08Г2С діаметром 1,6 мм. Хімічний склад дроту марки Св-08Г2С приведений в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Хімічний склад дроту Св-08Г2С за ГОСТ 2246-70, % [7]

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
			Не більше			
0.05-0.11	0.7-0.95	1.8-2.1	0.2	0.25	0.025	0.03

Цей тип зварювального дроту може застосовуватись під час виконання швів у будь-яких просторових положеннях. Метал, який утворюється в результаті наплавлення, характеризується високим ступенем розкислення, а також поєднанням підвищеної міцності та достатньої пластичності. Вміст оксидних включень у зварному шві при роботі з маловуглецевими сталями залежить від марки дроту. Так, при використанні Св-08ГС їх кількість становить близько 0,014 %, тоді як для Св-08Г2С цей показник зменшується до приблизно 0,009 %. Зниження рівня забруднення металу шва при застосуванні дроту Св-08Г2С пояснюється більш збалансованим співвідношенням кремнію та марганцю у зварному металі (близько 0,23 % Si і 0,72 % Mn). За таких умов продукти розкислення утворюють рідкі силікатні сполуки, що сприяє очищенню металу шва та покращенню його структури [8].

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Розрахунок параметрів режиму зварювання виконується відповідно до типу з'єднання, наведеного на рисунку 2.3. Зварювання шва циліндричної частини корпусу теплообмінника здійснюється згідно з вимогами ГОСТ 8713-79 методом автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу.

Параметри режиму зварювання визначаються для виконання як поздовжніх, так і кільцевих стикових швів обичайок. При цьому режим зварювання для обох типів з'єднань приймається однаковим, оскільки товщина металу є ідентичною, а також застосовується однакова підготовка кромки типу С21 [9].

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		23

На формування геометрії та розмірів зварного шва впливає низка технологічних факторів. До них належать конфігурація розробки кромки та величина зазору у стику, вибраний режим зварювання, тип і рід струму, теплофізичні характеристики основного матеріалу, його товщина та початкова температура. Також суттєве значення мають положення виробу під час зварювання (кут нахилу) та обрана техніка виконання зварного процесу [9].

На рисунку 2.2 наведено конструктивне оформлення підготовлених кромки зварних деталей для стикового з'єднання типу С21, яке використовується при виготовленні корпусу теплообмінника.

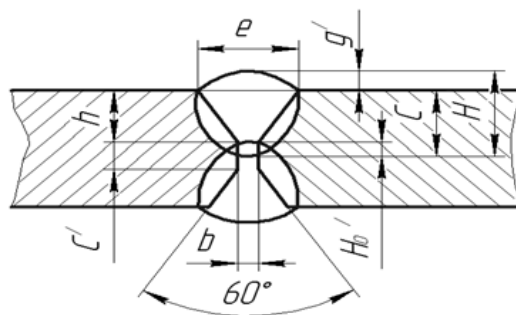


Рисунок 2.2 – Конструктивні елементи підготовлених кромки зварних деталей (тип з'єднання – С21)

Виконуємо розрахунок параметрів режиму зварювання [9]:

1. Визначаємо зварювальний струм:

$$I_{зв} = (80 \dots 100) h = 800A \quad (2.1)$$

де h – глибина провару, що в даному випадку складає 8 мм.

2. Напругу на дузі приймаємо для стикових з'єднань вибираємо в межах 32-40 В.

3. Визначаємо діаметр зварювального дроту:

$$d_{ел} = 2 \sqrt{\frac{I_{зв}}{i \cdot \pi}} = 2 \sqrt{\frac{800}{3,14 \cdot 50}} = 5 \text{ мм} . \quad (2.2)$$

де i - густина струму, для діаметру електроду 5 мм $i = 50 \text{ А/мм}^2$.

4. Визначаємо коефіцієнт форми провару при $d_{ел} = 5 \text{ мм}$; $I_{зв} = 800A$ знаходимо $\psi_{пр} = 2,6$.

Виходячи із коефіцієнта форми провару, визначаємо ширину шва:

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		24

$$e = \psi n r h = 2,6 \cdot 8 = 21 \text{ мм.} \quad (2.3)$$

5. Знаючи, що коефіцієнт форми валика шва знаходиться в межах від 5 до 8, приймаємо його значення $\psi_6 = 8$ і знаходимо опуклість шва.

$$q = \frac{e}{\psi_6} = \frac{21}{5} \approx 4,2 \text{ мм} \quad (2.4)$$

6. Визначаємо площу поперечного перерізу наплавленого металу:

$$F = 0,75eq + sb + 0,75e1q1 + 2h^2 \text{tg} \frac{\alpha}{2} = 1,42 \text{ см}^2 \quad (2.5)$$

При зварюванні постійним струмом зворотної полярності коефіцієнт наплавлення приймається:

$$\alpha_n = 11,6 \pm 0,4, \text{ з/А} \cdot \text{год} \quad (2.6)$$

Значення коефіцієнта α_n , знайдені за вказаними формулами, не враховують збільшення плавлення електродного дроту за рахунок попереднього підігріву вильоту електроду зварювальним струмом. Дійсний коефіцієнт наплавлення при даному вильоті можна визначити за формулою:

$$\alpha_n = \alpha_n + \Delta\alpha_n \quad (2.7)$$

де $\Delta\alpha_n$ - підвищення коефіцієнта наплавлення за рахунок попереднього підігріву вильоту електроду, який визначається за номограмою.

$$\alpha_n = 11,6 + 0,5 = 12,1$$

Швидкість переміщення дуги (м/год) знаходимо з формули:

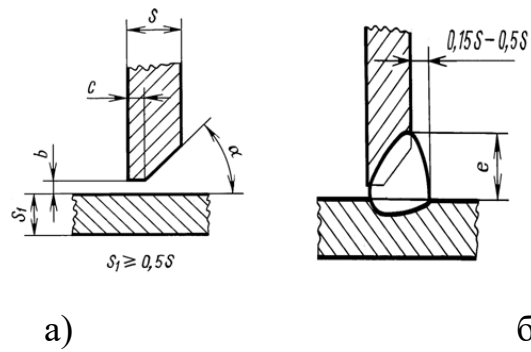
$$v_{\text{пд.}} = \frac{\alpha_n \cdot I_{\text{зв}}}{F_n \cdot \gamma \cdot 100} = \frac{12,1 \cdot 800}{1,42 \cdot 7,8 \cdot 100} = 8,6 \text{ м/год.} \quad (2.8)$$

Знаходимо швидкість подачі зварювального дроту:

$$V_{\text{н.др.}} = \frac{4\alpha_{\text{нд}} I_{\text{зв}}}{\pi \cdot \gamma \cdot d_{\text{ел}}^2} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 800}{3,14 \cdot 25 \cdot 7,8} = 63 \text{ м/год.} \quad (2.9)$$

Розрахунок режимів таврового з'єднання за ГОСТ 14771-76 Т6 (рис. 2.3) товщиною 16 мм механізованим зварюванням в середовищі Ar+CO₂. Зварювання проводиться в нижньому положенні похиленим зварювальним дротом Св-08Г2С [7]:

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		25



а- конструктивні розміри кромки деталей; б- конструктивні розміри шва.

Рисунок 2.3- Розміри шва Тб за ГОСТ 14771-76

Розміри зварного з'єднання: $S=16$ мм, $c=2$ мм, $b=0$ мм, $\alpha=45^\circ$, $e=20$ мм.

Площа наплавленого металу обчислюється за формулою (2.3):

$$F_1 = \frac{1}{2} \times 20 \times 8 = 80 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 2,4 = 24 \text{ мм}^2$$

$$F_{\text{н}} = 80 + 24 = 104 \text{ мм}^2$$

Таблиця 2.4 – Залежність товщини листа від діаметру дроту

Товщина листа, мм	1-2	3-6	6-24 і більше
Діаметр електродного дроту d_e , мм	0,8-1,0	1,2-1,6	2,0

В залежності від товщини листа вибираємо діаметр дроту з таблиці 2.4: $d_e=2$ мм.

Розрахунок сили струму проводимо за формулою (2.10):

$$I_{\text{зв}} = \frac{\pi \cdot d_e^2 \cdot a}{4} \quad (2.10)$$

де, a - густина струму, $a=110-130$ А/мм².

Підставивши вихідні дані у формулу 2.13, обчислимо:

$$I_{\text{зв}} = \frac{3,14 \cdot 2^2 \cdot 120}{4} = 380 \text{ А}$$

Таблиця 2.5 – Залежність сили струму від напруги

Сила зварювального струму, А	50÷60	90÷100	150 ÷160	220 ÷240	280÷ 300	360÷ 380	430 ÷450
Напруга дуги, В	17-28	19-20	21-22	25-27	28-30	30-32	32-34
Витрата газу, л/хв	8-10	8-10	9-10	15-16	15-16	18-20	18-2

Напруга на дузі вибирається із таблиці 2.5, $U_d=32$ В.

Швидкість подачі електродного дроту, м/год , розраховується за формулою (2.11).

$$V_{\text{пд}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\rho} \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \rho} \quad (2.11)$$

де α_{ρ} - коефіцієнт розплавлення дроту, г/А· год ;

ρ - густина металу електродного дроту, г/см³ (для сталі $\rho = 7,8$ г/см³).

Значення α_{ρ} розраховується по формулі (2.12):

$$\alpha_{\rho} = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_e} \quad (2.12)$$

Підставивши вихідні дані у формулу 2.12, отримаємо:

$$\alpha_{\rho} = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{380}{2} = 18,2 \text{ г/А} \cdot \text{ год}$$

Підставивши вихідні дані у формулу 2.11, отримаємо:

$$V_{\text{пд}} = \frac{4 \cdot 18,2 \cdot 380}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 7,8} = 282 \text{ м/год}$$

Швидкість зварювання, м/год, розраховується по формулі (2.13):

$$V_{\text{зв}} = \frac{\alpha_n \cdot I_{\text{св}}}{100 \cdot F_n \cdot \rho} \quad (2.13)$$

де, α_n - коефіцієнт наплавлення, г/А· год.

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата			27

$$\alpha_H = \alpha_p \cdot (1 - \Psi) \quad (2.14)$$

де, Ψ - коефіцієнт втрат металу на вигоряння і розбризкування, $\Psi = 0,1 - 0,15$;

F_H - площа поперечного перерізу одного валика, см^2 , приймається рівним $0,3 - 0,7 \text{ см}^2$.

$$\alpha_H = 18,2 \cdot (1 - 0,15) = 15,5 \text{ г/А} \cdot \text{год}$$

Підставивши вихідні дані у формулу 2.16, отримаємо:

$$V_{зв} = \frac{15,5 \cdot 380}{100 \cdot 0,5 \cdot 7,8} = 15,1 \text{ м/год}$$

Маса наплавленого металу, г, розраховується за формулою (2.17):

$$G_H = F_{св} \cdot l \cdot \rho \quad (2.17)$$

де, l - довжина шва, см;

ρ - густина наплавленого металу (для сталі $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$).

Підставивши вихідні дані отримаємо:

$$G_H = 1,04 \cdot 73 \cdot 7,8 = 592 \text{ г}$$

Час горіння дуги, год, визначається по формулі (2.18):

$$t_0 = \frac{G_H}{I_{св} \cdot \alpha_H} \quad (2.18)$$

Підставивши вихідні дані у формулу 2.18, отримаємо:

$$t_0 = \frac{592}{380 \cdot 15,5} = 0,1 \text{ год}$$

Повний час зварювання, год, визначається по формулі (2.19):

$$T = \frac{t_0}{k_{п}} \quad (2.19)$$

де, $k_{п}$ - коефіцієнт використання зварювального поста ($k_{п} = 0,6 \div 0,57$).

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докum	Підпис	Дата		28

Підставивши вихідні дані у формулу 2.19, отримаємо:

$$T = \frac{0,1}{0,57} = 0,17 \text{ год}$$

Витрата електроенергії, кВт· год, визначається по формулі (2.20):

$$A = \frac{U_d \cdot I_{св}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 \cdot (T - t_0) \quad (2.20)$$

де U_d - напруга дуги, В;

η - ККД джерела живлення : при постійному струмі 0,6÷0,7, при змінному 0,8÷ 0,9;

W_0 - потужність джерела живлення, що працює на холостому ході, кВт. На постійному струмі $W_0 = 2,0 \div 3,0$ кВт, на змінному - $W_0 = 0,2 \div 0,4$ кВт.

Підставивши вихідні дані отримаємо:

$$A = \frac{32 \cdot 380}{0,7 \cdot 1000} \cdot 0,1 + 3 \cdot (0,17 - 0,1) = 2 \text{ кВт} \cdot \text{ год}$$

Приварювання штуцерів та опор до корпусу теплообмінника виконуємо за допомогою напівавтомату типу А-547 в середовищі захисного газу CO_2 на наступному режимі:

- 1) Діаметр електродного дроту – $d_e = 1,2$ мм;
- 2) Сила зварювального струму – $I_{зв} = 300$ А;
- 3) Напруга на зварювальній дузі – $U_d = 36$ В;
- 4) Швидкість зварювання – $V_{зв} = 30$ м/год;
- 5) Швидкість подачі електродного дроту – $V_{п.д} = 100$ м/год.

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування

Виберемо основне зварювальне устаткування для складання під зварювання повздовжніх і кільцевих стиків обичайок теплообмінника та для встановлення вивідних пластин.

Будь-який складально-зварювальний цех оснащується двома видами устаткування: основне зварювальне і допоміжне (механічне). Основне зварювальне устаткування призначене безпосередньо для виконання

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		29

зварювальних операцій. До нього належать зварювальні головки, зварювальні трактори, напівавтомати, контактні машини, зварювальні трансформатори, генератори, випрямлячі, баластні реостати, осцилятори тощо [4].

Для складання під зварювання поздовжніх і кільцевих стиків обичайок теплообмінника, а також для встановлення вивідних пластин, обираємо відповідне основне зварювальне устаткування [5].

Порівняно з напівавтоматичним зварюванням під шаром флюсу, напівавтоматичне зварювання в середовищі захисного газу CO₂ є менш продуктивним і дещо поступається за якістю, проте має нижчу вартість. Водночас, у порівнянні з ручним дуговим зварюванням, воно забезпечує вищу якість зварних з'єднань і більшу продуктивність праці, хоча є дещо дорожчим.

З урахуванням наведених факторів, а також того, що зварювання виконуватиметься лише на прихватках, доцільно обрати як основне зварювальне устаткування зварювальний напівавтомат типу А-547У, призначений для роботи в середовищі захисного газу CO₂ [5].

Технічні дані напівавтомату типу А-547У [6]:

- Діаметр електродного дроту, мм.....0,8–1,2
- Швидкість подачі електродного дроту, м/год.100–340
- Номінальний зварювальний струм при ПВ=60%, А.....300
- Діапазон регулювання зварювального струму, А.....60–400
- Напруга мережі живлення, В.....380
- Вага електродного дроту в котушці, кг.....4
- Габаритні розміри держака з мундштуком, мм:
 - довжина.....230
 - ширина.....35
 - висота.....140

Напівавтомат типу А-547У складається із механізму подачі, держака зі шлангом, пульта керування і газової апаратури.

Механізм подачі разом із котушкою для зварювального електродного дроту змонтовані в одному переносному футлярі. Швидкість подачі

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		30

електродного дроту плавно регулюється шляхом зміни частоти обертання електродвигуна постійного струму, а також заміною подаючих роликів.

На пульті керування розміщена вся пускорегулююча апаратура. Пульт може встановлюватися в генераторі постійного струму або монтуватися у передній стінці селенового випрямляча. Пускова кнопка розташована на держаку [5].

Для зварювання внутрішніх швів корпусу теплообмінника доцільно застосувати консольну зварювальну установку А-913, зображену на рисунку 2.4. Вона відповідає вимогам технологічності конструкції, забезпечує формування якісного зварного з'єднання та має належні техніко-економічні показники. Установка А-913 складається з таких основних вузлів: 1 – візок; 2 – колонка; 3 – супорт; 4 – горизонтальна обойма; 5 – механізм подачі дроту; 6 – мундштук [2].

Технічні характеристики установки А-913 наведені в таблиці 2.7.

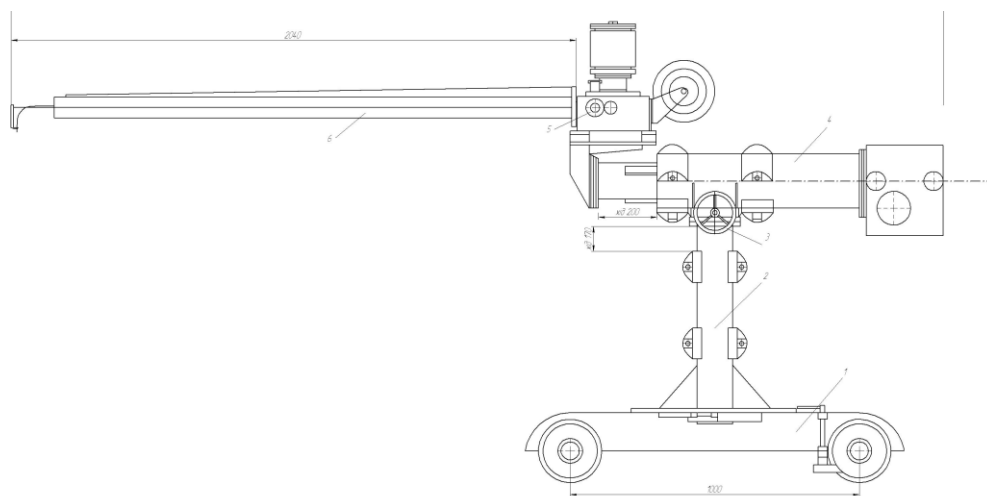


Рисунок 2.4 – Консольна зварювальна установка А-913

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики установки А-913

Параметр	Значення
Діаметр електродного дроту, мм	2,5-5
Номінальний зварювальний струм, А	600
Швидкість подачі дроту, м/год	24-250
Горизонтальне переміщення, мм	400
Вертикальне переміщення, мм	170
Габаритні розміри:	

Довжина, мм	3350
Ширина, мм	750
Висота, мм	1750
Вага, кг	510

Як джерело живлення при виконанні автоматичного зварювання в даній установці може бути використаний зварювальний випрямляч типу ВС-730, технічні параметри якого наведені в таблиці 2.8. За своїми характеристиками він повністю відповідає вимогам, що впливають із розрахованих режимів зварювання, а також узгоджується з необхідною зовнішньою вольт-амперною характеристикою та забезпечує прийнятні техніко-економічні показники процесу автоматичного зварювання [7]:

Застосування даного випрямляча є доцільним, оскільки він має ряд конструктивних і експлуатаційних переваг. Зокрема, передбачено ступінчасте регулювання зварювальної напруги в розширеному діапазоні з невеликим кроком налаштування, що дозволяє точно підбирати режим зварювання. Обладнання розраховане на тривалу роботу під навантаженням, що підвищує його продуктивність у виробничих умовах. Додатково випрямляч оснащений швидкороз'ємними та електробезпечними силовими з'єднаннями, що спрощує обслуговування та підвищує безпеку роботи. Його обмоткові вузли характеризуються підвищеною надійністю та довговічністю. Також джерело живлення має жорстку, або похилопадаючу, зовнішню характеристику, яка є оптимальною для процесів автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу [8].

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики випрямляча ВС-730

Параметр	Значення
Напруга мережі живлення, В	3 x380
Частота мережі живлення, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А (при ТВ,%)	730 (100%)
Межі регулювання зварювального струму, А	100...730
Номінальна робоча напруга, В	45

Параметр	Значення
Напруга холостого ходу, В не більше	75
Межі регулювання робочої напруги, В	19 ... 45
Кількість ступенів регулювання	28 (4x7)
Споживана потужність, кВА	50
Маса, кг, не більше	280
Габаритні розміри, мм	855x610x760



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд випрямляча BC-730

Як основне технологічне обладнання для виконання внутрішніх і зовнішніх, а також поздовжніх і кільцевих стикових з'єднань обичайок теплообмінника приймається зварювальний трактор типу ТС–35 [9].

Даний зварювальний трактор призначений для виконання автоматичного дугового зварювання під флюсом і широко використовується при зварюванні протяжних швів різної конфігурації. У поєднанні з велосипедним візком типу ВТ–2Б він забезпечує стабільне переміщення зварювального вузла вздовж зони шва та дозволяє виконувати зварювання як поздовжніх, так і кільцевих з'єднань. Застосування зазначеної комплектації дає можливість обробляти вироби з товщиною металу в діапазоні приблизно від 5 до 40 мм, що повністю відповідає вимогам до виготовлення корпусу теплообмінника. Використання такого обладнання забезпечує високу продуктивність процесу, стабільну якість зварних швів, рівномірне формування валиків та мінімальний вплив людського фактора на результат зварювання [9].

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		33

Технічні дані зварювального трактора типу ТС–35 [10]:

- Діаметр електродного дроту, мм.....1,6 – 5
- Швидкість подачі електродного дроту, м/год.50–500
- Швидкість зварювання, м/год.12–20
- Номінальний зварювальний струм при ПВ=60%, А.....1000
- Діапазон регулювання зварювального струму, А.....400–1000
- Напруга мережі живлення, В.....220 або 380
- Вертикальне коректування мундштука, мм.....±12,5
- Поперечне зміщення супорта, мм.....±60
- Вага електродного дроту в касеті, кг.....15
- Місткість бункера для флюсу, дм³.....6
- Габаритні розміри трактора, мм:
 - довжина.....850
 - ширина.....530
 - висота.....490
- Вага, кг.....48

Зварювальний трактор є переносним універсальним автоматизованим агрегатом, оснащеним електродвигуном змінного струму. У процесі роботи він переміщується безпосередньо по поверхні виробу або ж по спеціальній напрямній рейці, що забезпечує точність ведення зварного шва. Функціональна універсальність трактора ТС–35 досягається завдяки можливості заміни окремих конструктивних вузлів і комплектуючих, які входять до базового постачання. Це дає змогу адаптувати обладнання під різні види зварних з'єднань і умови виконання робіт [10].

Процес зварювання виконується при постійній швидкості подачі електродного дроту, яка не залежить від коливань напруги дуги. Регулювання швидкості зварювання та подачі дроту у тракторі ТС–35 здійснюється за рахунок зміни передавальних відношень зубчастих шестерень.

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		34

Для запуску та налаштування автомата достатньо мінімального набору допоміжних елементів, зокрема спеціального струмопідводу та сопла, яке забезпечує стабільне формування та захист зварювальної дуги. У разі використання автоматичного зварювального обладнання типу АДС–1000–2 можливе його вдосконалення шляхом встановлення додаткового регульовального опору $R_{\text{дод}}$ у межах 2–350 Ом в коло збудження електродвигуна механізму подачі дроту. Така модернізація дозволяє суттєво розширити діапазон швидкостей подачі електродного дроту - з початкової максимальної величини 135 м/год до приблизно 360 м/год. Це особливо важливо при роботі з дротом малого діаметра, де потрібна підвищена точність регулювання процесу зварювання [11].

Технічні дані зварювального автомату типу АДС–1000–2 [12]:

– Напруга мережі живлення, В.....	380
– Номінальний зварювальний струм %, А.....	1000
– Номінальний режим роботи ПР, %.....	65
– Діаметр електродного дроту, мм.....	3 – 6
– Швидкість подачі зварювального дроту, м/год.	30 – 135
– Швидкість зварювання, м/год.	15 – 70
– Витрати захисної суміші газів, л/хв.....	15 – 30
– Габаритні розміри, мм:	
довжина.....	1010
ширина.....	344
висота.....	662

Приварювання штуцерів до корпусу теплообмінника будемо проводити в середовищі вуглекислого газу на установці зображеній на рисунку 2.6.

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		35

можливість виконувати зварювальні операції паралельно двома або більше зварювальниками.

Конструктивною особливістю даного джерела живлення є використання кремнієвих вентилів у випрямному блоці, що забезпечує високу надійність роботи, компактність конструкції та підвищений коефіцієнт корисної дії. При виконанні зварювання фланцевих з'єднань теплообмінника, де застосовується автоматичне дугове зварювання під флюсом, також доцільно використовувати випрямляч ВКСМ–1000. Його жорстка зовнішня характеристика дозволяє ефективно забезпечувати стабільний процес зварювання і в даному технологічному режимі, що робить його універсальним джерелом живлення для всіх основних операцій виготовлення корпусу теплообмінника [12]:

Технічні характеристики зварювального випрямляча ВКСМ–1000 [12]:

– Напруга мережі живлення, В.....	380
– Номінальний зварювальний струм (при ПР=100%), А.....	1000
– Номінальна напруга зварювання, В.....	60
– Напруга холостого ходу, В.....	70
– Коефіцієнт потужності.....	0,9
– ККД, %	87
– Вага, кг.....	650

Для виконання поздовжніх і кільцевих стикових з'єднань обичайок теплообмінника використовується автоматичне дугове зварювання під флюсом. У якості джерела живлення для зварювального трактора прийнято зварювальний трансформатор типу ТДФ–1201, який конструктивно та функціонально орієнтований на процеси автоматичного зварювання під шаром флюсу.

Даний трансформатор забезпечує необхідні електричні параметри режиму зварювання, стабільну роботу дуги та можливість точного регулювання зварювального струму. Його застосування дозволяє підтримувати оптимальні

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		37

умови формування зварного шва, що особливо важливо при виконанні протяжних стикових з'єднань великої довжини [14].

Завдяки спеціалізації на автоматичних процесах під флюсом ТДФ–1201 забезпечує надійну роботу зварювального трактора, високу продуктивність та стабільну якість зварних з'єднань, що повністю відповідає вимогам до виготовлення корпусу теплообмінника.

Технічні характеристики зварювального трансформатора ТДФ–1201 [11]:

– Напруга однофазної мережі живлення, В.....	380
– Вторинна напруга холостого ходу, В:	
I ступінь.....	94
II ступінь.....	113
– Номінальна вторинна напруга, В:	
I ступінь.....	40
II ступінь.....	70
– Номінальний зварювальний струм при ПВ=100 %, А.....	1200
– Номінальна потужність при ПВ=100 %, кВт.....	215
– Межі регулювання зварювального струму, А:	
I ступінь.....	350–850
II ступінь.....	550–1250
– ККД, %.....	94
– Габаритні розміри трансформатора, мм:	
довжина.....	900
ширина.....	1300
висота.....	1360
– Вага трансформатора, кг.....	1100

Зварювальний трансформатор ТДФ–1201 виконаний у вигляді однокорпусного агрегату, в якому конструктивно об'єднані основні

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		38

функціональні вузли. До його складу входять безпосередньо силовий трансформатор, механізм плавного регулювання зварювального струму, система охолодження з вентилятором, а також пускова, регулювальна та захисна апаратура. Конструкція апарата забезпечує зручність експлуатації та компактність розміщення всіх елементів в одному корпусі, що спрощує його використання в умовах виробництва [11].

Трансформатор ТДФ–1201 характеризується падаючою зовнішньою вольт-амперною характеристикою. Такий тип характеристики досягається за рахунок підвищеного магнітного розсіювання в магнітній системі апарату. Це забезпечує стабільність процесу зварювання, особливо при автоматичному дуговому зварюванні під шаром флюсу, та сприяє підтриманню сталих параметрів зварювального струму при коливаннях дугової напруги [9].

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції

2.2.1 Заготівельні операції

Заготівельні операції при виготовленні корпусу теплообмінника є важливим етапом виробничого процесу, оскільки саме від якості підготовки деталей залежить точність складання, надійність зварних з'єднань та довговічність готового виробу [9].

Першою операцією є приймання та перевірка матеріалів. Листовий прокат, труби та інші заготовки контролюють на відповідність вимогам конструкторської документації та сертифікатам якості. Перевіряють марку сталі, товщину, відсутність тріщин, розшарувань, корозії та механічних пошкоджень.

Після контролю виконують розмічання заготовок відповідно до креслень. На поверхню металу наносять контури майбутніх деталей, осьові лінії, місця вирізів і центри отворів. Для розмічання застосовують шаблони, рулетки, лінійки, циркулі та спеціальні розмічальні пристрої може застосовуватися

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		39

автоматичний розкрій матеріалів. Наступною операцією є різання металу. Листовий прокат розрізають механічним, плазмовим, газокисневим або гільйотинним способом залежно від товщини та типу матеріалу. При виготовленні корпусу теплообмінника найбільш поширеним є плазмове або газове різання, яке забезпечує високу точність та продуктивність [10].

Після різання виконують механічну обробку кромek деталей. Кромки зачищають від задирів, окалини та нерівностей, а також формують скоси під зварювання для забезпечення необхідного провару шва. Обробка може здійснюватися на кромкообробних верстатах або шліфувальними машинами. Однією з основних заготівельних операцій є вальцювання листового металу для отримання циліндричної форми корпусу. Заготовку пропускають через вальці, поступово надаючи їй необхідний радіус кривизни. Після вальцювання перевіряють геометричні параметри обичайки - діаметр, овальність та прямолінійність [11].

Далі проводять підготовку днищ, патрубків і фланців. Для цього виконують вирізання отворів, свердління, токарну обробку та підгонку елементів до розмірів, передбачених кресленнями. Перед складанням усі поверхні в зоні майбутнього зварювання очищують від мастила, вологи, іржі та інших забруднень. Це необхідно для забезпечення високої якості зварних швів і запобігання утворенню дефектів [2].

Завершальною заготівельною операцією є попереднє складання конструкції. Деталі встановлюють у складальних пристроях, центрують і фіксують прихватками для забезпечення точного взаємного розташування перед основним зварюванням [4].

2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

Технологія складання та зварювання корпусу теплообмінника охоплює комплекс послідовних операцій, спрямованих на отримання міцної, герметичної та надійної конструкції, здатної працювати під тиском і при змінних температурах.

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		40

Після завершення заготівельних операцій проводять складання окремих елементів корпусу. Основною деталлю теплообмінника є циліндрична обичайка, яку отримують шляхом вальцювання листового металу. Краї обичайки суміщають відповідно до технологічних зазорів та фіксують прихватками. Прихватки виконують через певні інтервали для запобігання зміщенню деталей і зменшення деформацій під час основного зварювання [4].

Складання здійснюють у спеціальних складальних стендах або роликкових обертачах, що забезпечують правильне взаємне розташування елементів та зручність виконання зварювальних робіт. Перед зварюванням перевіряють співвісність деталей, діаметр корпусу, овальність та відповідність конструкції кресленням. Першим етапом зварювання є виконання поздовжнього шва обичайки. Для цього найчастіше застосовують автоматичне зварювання під флюсом або напівавтоматичне зварювання в середовищі захисних газів. Автоматичне зварювання дозволяє отримати рівномірний шов високої якості з глибоким проваром і мінімальною кількістю дефектів. Зварювання виконують у декілька проходів залежно від товщини металу [2].

Після виготовлення обичайки здійснюють складання корпусу з днищами. Днища центрують відносно осі корпусу, після чого закріплюють прихватками та виконують кільцеві зварні шви. Для забезпечення рівномірного розподілу температурних напружень зварювання проводять симетрично або ділянками у певній послідовності. Наступним етапом є встановлення та приварювання патрубків, штуцерів, фланців, опор та інших конструктивних елементів теплообмінника. Перед приварюванням отвори в корпусі механічно обробляють, а місця стику очищують до металевого блиску. Під час виконання зварювальних робіт важливе значення має дотримання технологічних режимів: сили струму, напруги дуги, швидкості зварювання та температури попереднього підігріву металу. Для низьколегованих сталей може застосовуватись попередній або супутній підігрів з метою запобігання утворенню тріщин і зниження внутрішніх напружень [5].

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		41

Після завершення зварювання проводять очищення швів від шлаку та бризок металу, а також контроль якості з'єднань. Виконують візуально-вимірювальний контроль, перевірку геометричних параметрів і неруйнівний контроль - ультразвуковий, радіографічний або капілярний метод залежно від вимог до виробу. Для підтвердження герметичності та міцності корпус теплообмінника піддають гідравлічним випробуванням під тиском. Після успішного контролю конструкцію очищують, за потреби наносять антикорозійне покриття та передають на остаточне складання й експлуатацію [6].

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями

Під час виготовлення корпусу теплообмінника виникнення зварювальних напружень і деформацій є одним із основних факторів, що можуть негативно впливати на точність геометричних розмірів, герметичність та міцність конструкції. Для їх зменшення застосовують комплекс технологічних і конструктивних заходів [12].

Одним із найважливіших способів боротьби із деформаціями є правильний вибір послідовності складання та зварювання. Зварні шви необхідно виконувати симетрично відносно осі конструкції, що дозволяє забезпечити рівномірний розподіл теплових напружень. Поздовжні та кільцеві шви рекомендується зварювати окремими ділянками у шаховому або зворотно-ступінчастому порядку. Для зменшення теплового впливу на метал доцільно використовувати способи зварювання з високою концентрацією тепла та мінімальною погонною енергією, наприклад автоматичне зварювання під флюсом або напівавтоматичне зварювання в захисних газах. Зниження тепловкладення сприяє зменшенню усадження металу та деформацію конструкції [10].

Ефективним методом є застосування жорстких складально-зварювальних пристроїв, кондукторів і прихоплень, які забезпечують надійну фіксацію деталей у процесі зварювання. Це дозволяє утримувати необхідну форму корпусу та запобігати зміщенню елементів. Важливим заходом є попереднє встановлення

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		42

технологічних припусків або компенсаційних вигинів. При складанні конструкції враховують можливу усадку металу після охолодження, завдяки чому після завершення зварювання корпус набуває необхідної геометричної форми [13].

Для низьколегованих сталей рекомендується застосовувати попередній підігрів металу перед зварюванням. Це знижує швидкість охолодження зони шва, зменшує внутрішні напруження та запобігає утворенню тріщин. У деяких випадках після завершення зварювання виконують термічну обробку - відпал або високий відпуск, які забезпечують часткове зняття залишкових напружень. Значну увагу приділяють також правильному вибору режимів зварювання. Необхідно підтримувати оптимальні значення сили струму, напруги дуги та швидкості переміщення електрода. Надмірне тепловкладення призводить до збільшення деформацій і погіршення структури металу. Для зменшення місцевих деформацій застосовують багат шарове зварювання тонкими шарами з проміжним охолодженням. Крім того, після окремих етапів зварювання можуть виконуватись механічне правлення або проковування швів, що сприяє частковому зняттю напружень [14].

Таким чином, найбільш ефективним способом боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями при виготовленні корпусу теплообмінника є комплексне поєднання раціональної технології складання, оптимальних режимів зварювання, використання жорстких фіксуєчих пристроїв та термічної обробки конструкції.

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку

Контроль якості зварних з'єднань виконується луна-імпульсним ультразвуковим методом із використанням акустичного перетворювача, який працює за суміщеною схемою включення. Такий спосіб неруйнівного контролю дозволяє ефективно виявляти внутрішні дефекти зварних швів, зокрема непровари, пори та тріщини [14].

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		43

Для проведення ультразвукової дефектоскопії застосовується ультразвуковий дефектоскоп типу УД4-76 (див. рисунок 4.7). Основні технічні характеристики приладу наведені в таблиці 4.1 [15].



Рисунок 4.7 – Ультразвуковий дефектоскоп УД4-76

Дефектоскоп УД4-76, окрім стандартних режимів налаштування та роботи, оснащений сучасними експрес-режимами, які спрямовані на підвищення точності вимірювань і скорочення часу підготовки обладнання до проведення контролю. Це дозволяє значно підвищити ефективність процесу діагностики зварних з'єднань [16].

Однією з важливих функцій приладу є режим напівавтоматичного калібрування параметрів перетворювача (ПЕП) та об'єкта контролю. Завдяки цьому значно спрощується процедура первинного налаштування дефектоскопу при підключенні нового перетворювача або повторній калібровці вже використовуваного. Це забезпечує стабільність результатів вимірювань і підвищує загальну надійність ультразвукового контролю [16].

Таблиця 4.1-Технічні характеристики дефектоскопу УД4-74

Параметр	Значення
Робочі частоти, МГц	0,4 - 15
Діапазон контролю,мм	0.12 -1200

Абсолютна погрішність при вимірюванні глибини залягання дефекту,мм	$\pm(0,1+0,005 Hx)$
Абсолютна погрішність при вимірюванні відношення амплітуд сигналів, дб	$\pm(0,2+0,03 Hx)$
Маса дефектоскопа,кг	3,5
Габаритні розміри (без ручки),мм	247 × 147 × 80

Контроль зварних з'єднань ультразвуковим методом виконується у три послідовні етапи: попередня підготовка виробу та контрольної апаратури, безпосереднє виявлення внутрішніх дефектів із визначенням їх координат і основних характеристик, а також заключна класифікація виявлених дефектів і оцінювання якості зварного з'єднання за результатами проведених вимірювань. На етапі підготовки до контролю здійснюється аналіз відповідної нормативно-технічної документації, проводиться візуальний огляд і вимірювання параметрів зварних швів. Додатково визначається необхідна ширина очищеної (зачищеної) поверхні контролю, встановлюються основні параметри ультразвукового контролю та виконується перевірка і налаштування дефектоскопічної апаратури для конкретного типорозміру з'єднання [14].

Розмір зони зачищення поверхні залежить від обраної схеми контролю та товщини елементів, що зварюються. Для металу товщиною до 70 мм орієнтовні значення ширини зони зачищення становлять: для стикових з'єднань - від 80 до 280 мм, для напусткових - від 60 до 190 мм, для таврових - від 100 до 330 мм. Це забезпечує можливість якісного введення ультразвукових коливань та отримання достовірної інформації про стан зварного шва [15].

Остаточний висновок щодо придатності контрольованої ділянки робиться на підставі бракувальних рівнів, встановлених у чинній нормативно-технічній документації для конкретної конструкції теплообмінника.

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		45

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Компонування складальних та зварювальних установок

Компонування складальних та зварювальних установок при виготовленні корпусу теплообмінника повинно забезпечувати послідовне виконання технологічних операцій, високу продуктивність праці, зручність обслуговування обладнання та мінімізацію транспортних переміщень заготовок і вузлів. Розташування установок здійснюється відповідно до технологічного маршруту виготовлення виробу [15].

Основу компонування становить лінійне або потокове розміщення обладнання, при якому заготовки переміщуються від однієї ділянки до іншої без зустрічних потоків. Це дозволяє скоротити час транспортування та підвищити ефективність виробництва [14].

На початковій стадії виробництва розташовують складальні столи та стенди для попереднього складання обичайок. Тут встановлюють роликові опори, затискні пристрої та центратори, які забезпечують точне суміщення кромки перед зварюванням. Поблизу розміщують установки для виконання прихоплень.

Для зварювання поздовжніх швів обичайок використовують спеціальні зварювальні установки з роликівими обертачами або стендами. Найчастіше застосовують автоматичні установки для зварювання під флюсом, які складаються з джерела живлення, зварювального трактора, механізму подачі дроту та системи подачі й збору флюсу. Такі установки розташовують вздовж виробничої лінії з урахуванням можливості обслуговування мостовими кранами. Після виготовлення обичайок вироби переміщують на ділянку складання корпусу. Тут встановлюють універсальні складально-зварювальні стенди та роликові обертачі, які дозволяють обертати корпус теплообмінника під час

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		46

виконання кільцевих швів. Використання обертачів забезпечує зварювання в нижньому положенні, що значно покращує якість шва та продуктивність процесу [15].

Для приварювання днищ, патрубків, штуцерів і фланців передбачають окремі універсальні зварювальні пости. Вони оснащуються джерелами живлення для ручного дугового або напівавтоматичного зварювання, витяжною вентиляцією та пристроями для фіксації деталей. У великосерійному виробництві доцільно застосовувати механізовані або автоматизовані складально-зварювальні комплекси. Такі комплекси можуть включати маніпулятори, позиціонери, автоматичні центратори та роботизовані зварювальні системи. Їх використання забезпечує стабільну якість зварних з'єднань та зменшує вплив людського фактору [14].

Особливу увагу при компоюванні приділяють транспортним засобам. Для переміщення великогабаритних обичайок і готових корпусів застосовують мостові крани, кран-балки, роликові транспортери та візки. Ширина проходів і відстані між установками повинні забезпечувати безпечне транспортування виробів та обслуговування обладнання. Зварювальні установки розміщують з урахуванням вимог охорони праці та пожежної безпеки. Робочі місця обладнують захисними екранами, місцевою витяжною вентиляцією, системами освітлення та засобами електробезпеки [4].

Таким чином, раціональне компоювання складальних і зварювальних установок дозволяє забезпечити безперервність технологічного процесу, високу продуктивність виготовлення корпусу теплообмінника та стабільну якість зварних з'єднань.

Як уже зазначалося, будь-який складально-зварювальний цех структурно включає два основних типи обладнання: основне зварювальне; допоміжне (механічне). Допоміжне механічне обладнання використовується для виконання операцій, які не є безпосередньо зварювальними, але забезпечують нормальне

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		47

здійснення технологічного процесу. До таких операцій належать позиціонування, встановлення, обертання, кантування та переміщення зварних конструкцій, а також видалення флюсу та інші допоміжні дії [14].

У процесі виготовлення зварного корпусу теплообмінника застосовується наступне механічне обладнання:

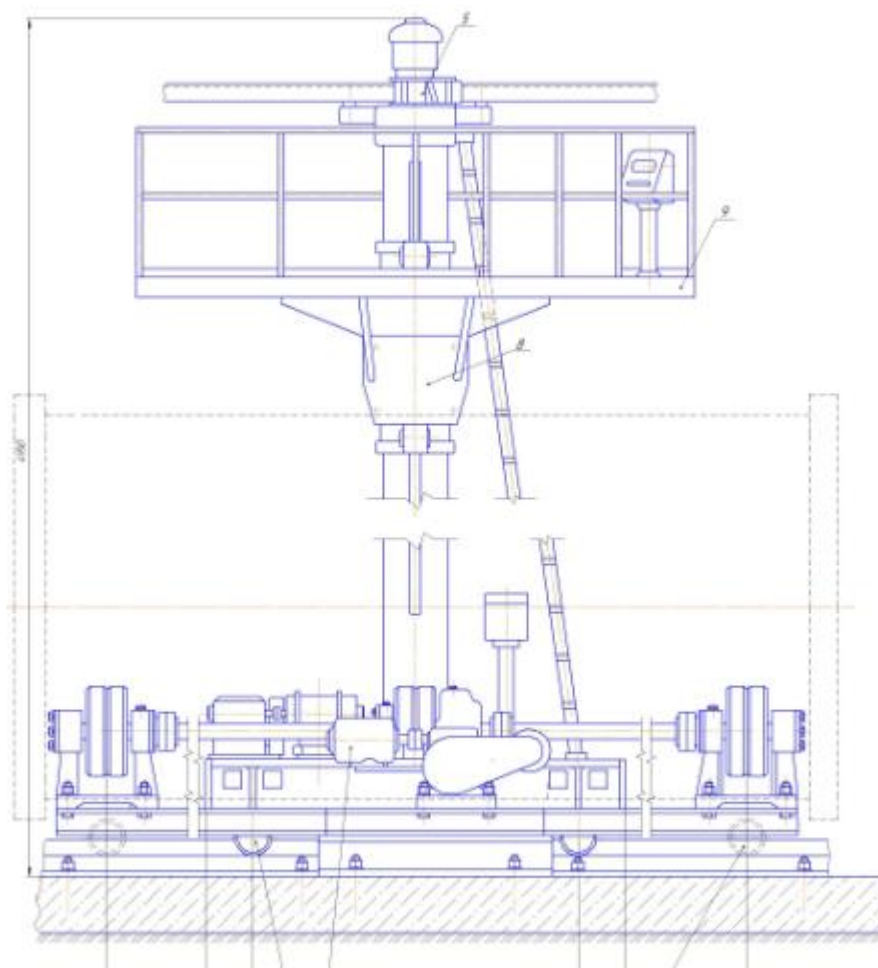
Велосипедний візок типу ВТ–2Б з балконом [12].

Дане обладнання використовується для забезпечення правильного позиціонування зварювального трактору типу ТС–35 під час виконання зовнішніх поздовжніх і кільцевих швів обичайок, а також при з'єднанні обичайок із фланцевими елементами.

Велосипедний візок (див. рисунок 3.1) призначений для автоматизованого зварювання кільцевих та поздовжніх зовнішніх швів циліндричних виробів діаметром у діапазоні 1200–3500 мм. Він працює у комплекті зі зварювальними тракторами, зокрема типу ТС–35, забезпечуючи стабільне виконання зварного шва. Конструктивно на балконі візка розміщується пульт керування. Сам балкон разом із кареткою має можливість вертикального переміщення, яке здійснюється за допомогою ходового гвинта та гайки через редуктор із електродвигуном змінного струму. Це дозволяє точно встановлювати положення зварювальної головки відносно шва [14].

Пересування всього візка уздовж направляючої рейки здійснюється за допомогою бігунків і опорних роликів, що опираються на верхню підтримуючу рейку. Привід руху реалізований від електродвигуна постійного струму, який розташований на платформі візка, що забезпечує плавність ходу та точність позиціонування під час зварювання [4].

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		48



1 – балкон; 2 – каретка; 3 – колона; 4 – візок

Рисунок 3.1 – Велосипедний візок типу ВТ–2Б з балконом

Технічні характеристики велосипедного візка типу ВТ–2Б з балконом [11]:

- Виліт балкона від осі колони до осі зварювального апарату, мм.....2300
- Висота підйому балкона, мм:
 - максимальна.....4000
 - мінімальна.....2000
- Маршова швидкість, м/хв.....13
- Швидкість підйому балкону, м/хв.....2
- Габаритні розміри веловізка, мм:
 - довжина.....2520
 - ширина.....3150

мінімальний вплив людського фактора. Така технологія особливо ефективна при серійному виготовленні теплообмінних апаратів, де необхідна висока повторюваність параметрів і надійність зварних з'єднань.

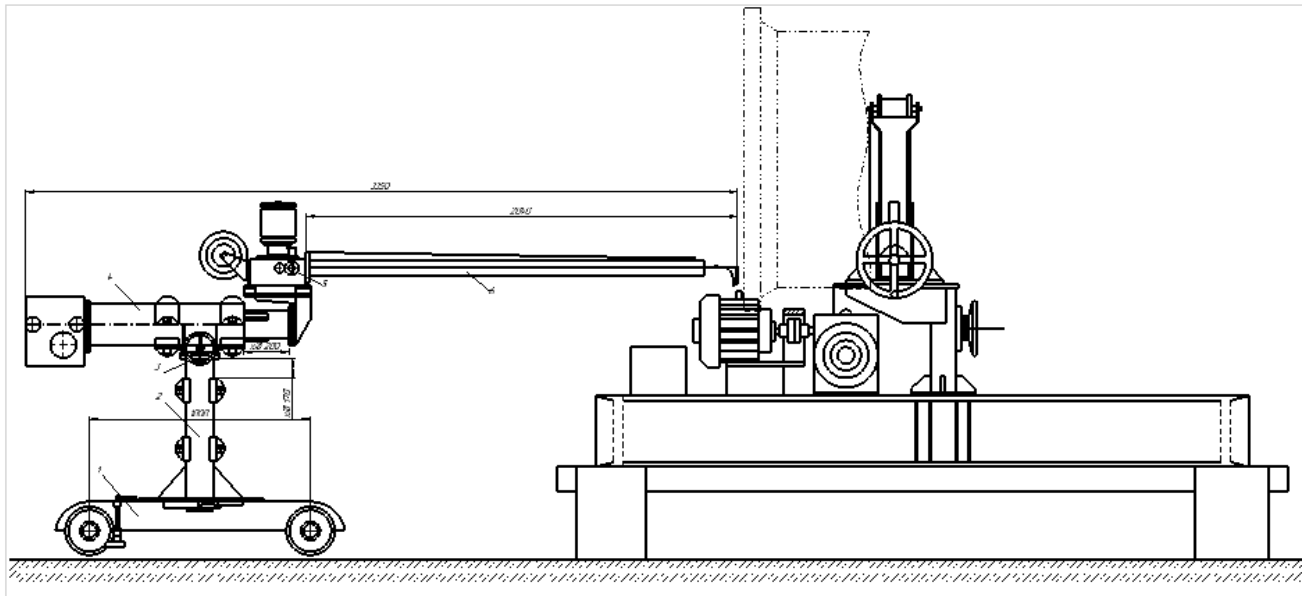


Рисунок 3.3 – Установа для зварювання внутрішніх швів

Установа (рис.3.4) для приварювання горловин і штуцерів до корпусу теплообмінника призначена для механізованого або автоматизованого виконання кільцевих зварних швів при з'єднанні патрубків, штуцерів, фланців і горловин із циліндричним корпусом апарата.

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		51

з'єднань. Вона сприяє правильному формуванню зворотного валу шва та підвищує якість зварного з'єднання.

Мостовий кран є основним вантажопідіймальним обладнанням цеху, що використовується для виконання підйомно-транспортних операцій у процесі виготовлення теплообмінника. За його допомогою здійснюється переміщення заготовок, вузлів і готових конструкцій між технологічними дільницями, а також їх встановлення на складально-зварювальні стенди. Використання мостового крану забезпечує безпечне та ефективно транспортування великогабаритних елементів виробу [4].

3.2 Розрахунок зубчастої передачі

Під час виготовлення обичайок корпусу теплообмінника для операції вальцювання листового металу застосовують консольні вальці, які приводяться в дію через одноступінчастий редуктор. Таке обладнання забезпечує плавне формування циліндричної форми заготовки та стабільність процесу деформування металу.

Вихідними параметрами для розрахунку приводу є потужність електродвигуна (кВт) та частота обертання робочих валків, яка становить 16 об/хв. На основі цих даних здійснюється підбір основних елементів передачі, зокрема параметрів зубчастого зачеплення редуктора [7].

Процес визначення модуля прямозубої зубчастої передачі базується на уточненні коефіцієнта динамічного навантаження для зачеплення. Підбирається таке значення коефіцієнта динамічності (K_{Hv}) яке максимально наближене до розрахункового значення, причому допустиме відхилення між ними не повинно перевищувати 0,001 ($K_{Hv} - k_{HvT} \leq 0,001$). Це забезпечує точність розрахунку та надійність роботи зубчастої передачі в умовах експлуатації.

Далі виконується визначення основного геометричного параметра - розрахункового ділительного діаметра шестерні (d_{w1}). Його обчислення

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		53

здійснюється на основі залежностей, що враховують контактні напруження в зубцях зубчастих коліс. Отримане значення дозволяє підібрати оптимальні розміри зубчастого зачеплення, які забезпечують необхідну міцність, довговічність і працездатність приводу консольних вальців [8].

$$\sigma_k = 12270 \cdot z_n \cdot z_\varepsilon \cdot \frac{1}{d_{w1}} \cdot \sqrt{\frac{T1}{\psi_{bd} \cdot d_{w1}} \cdot \frac{u_n}{u} \cdot Khv \cdot Kh\beta} \quad [10] \quad (3.1)$$

Наступний крок - знаходження модуля прямозубої передачі з умови забезпечення контактної міцності зубів

$$m = \frac{d_{w1}}{z1}, \quad [10] \quad (3.2)$$

міжосьової віддалі передачі

$$a_w = (z1 + z2) \cdot \frac{m}{2} \quad [10] \quad (3.3)$$

та відносної лінійної швидкості ковзання двох зубів у точці контакту

$$v = \frac{\pi \cdot d_{w1} \cdot n}{60000} \quad [10] \quad (3.4)$$

Визначення розрахункового коефіцієнта динамічності – (khvr) для тих параметрів передачі, що отримані з врахуванням (Khv) здійснюють за формулою:

$$khvr = 0,98 + 0,014 \cdot v + \frac{3 \cdot a_w}{u \cdot 10000} + (st - 6) \cdot 0,02 \quad (3.5)$$

Після аналізу отриманих результатів виконують повторний перерахунок модуля доти, доки різниця між призначеним коефіцієнтом динамічності (Khv) і розрахунковим коефіцієнтом динамічності (khvr) не стане меншою за 0,001.

Подальші етапи розрахунку передбачають визначення модуля зубчастого зачеплення з умови забезпечення згинної міцності зубів, а також вибір найбільшого з отриманих розрахункових значень [4].

Крутний момент на шестерні	T1:=60	Nm
Допустимі контактні напруги	σ:=600	MPa

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		54

Число зубів шестерні $z_1:=40$

Число зубів колеса $z_2:=125$

Кількість обертів шестерні $n:= 1500$ Об/хв

Ступінь точності зубчатої передачі

рекомендовано (6... 8) $st:=7$

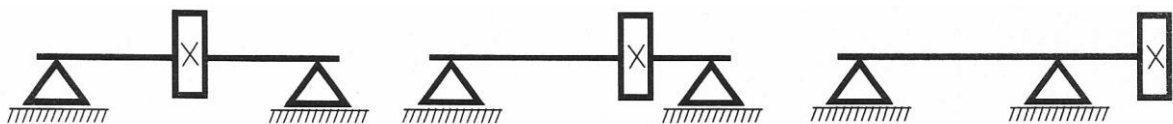
Коефіцієнт, котрий враховує форму спряжених

поверхонь зубів $z_n:=1.76$

Відношення ширини вінця шестерні до початкового діаметра рекомендовано призначати для коробок швидкостей в межах (0,2 ... 0,4).

$\psi_{bd}:=0.3$

У залежності від розміщення зубчатої передачі відносно опор розглядають три варіанти розміщення зубчастого колеса:



Kod = 1

Kod = 2

Kod = 3

Рисунок 3.1 - Варіанти розміщення зубчатої передачі відносно опор

Вкажіть код розміщення передачі

відносно опор

код:=1

Коефіцієнт торцьового перекриття

$$\varepsilon_{\alpha}:=1.88-3.2\cdot\left(\frac{1}{z_1}+\frac{1}{z_2}\right)$$

Коефіцієнт, котрий враховує сумарну довжину контактних ліній

$$z_{\varepsilon}:=\sqrt{\frac{4-\varepsilon_{\alpha}}{3}}$$

Визначаємо передаточне число прямозубої передачі ($u>1$)

$$u_r:=\frac{z_1}{z_2}$$

$$u:=\text{if}\left(u_r < 1, \frac{1}{u_r}, u_r\right)$$

$$u_n:=u-1$$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця з умови забезпечення контактної міцності зубів

$$Kh\beta_1 := 0.915 + 0.0588 \cdot \psi_{bd} + 0.799 \cdot \psi_{bd}^2 - 0.554 \cdot \psi_{bd}^3 + 0.17 \cdot kod$$

$$Kh\beta_2 := 0.283 \cdot \psi_{bd} \cdot kod^2 + 0.0933 \cdot \psi_{bd}^2 \cdot kod^2 - 0.0474 \cdot kod^2 - 0.684 \cdot \psi_{bd} \cdot kod$$

$$Kh\beta := Kh\beta_1 + Kh\beta_2$$

Оптимізація коефіцієнту динамічності передачі:

$$K := 1 \quad K_{hv} := K, K + 0.001 \dots K + 1$$

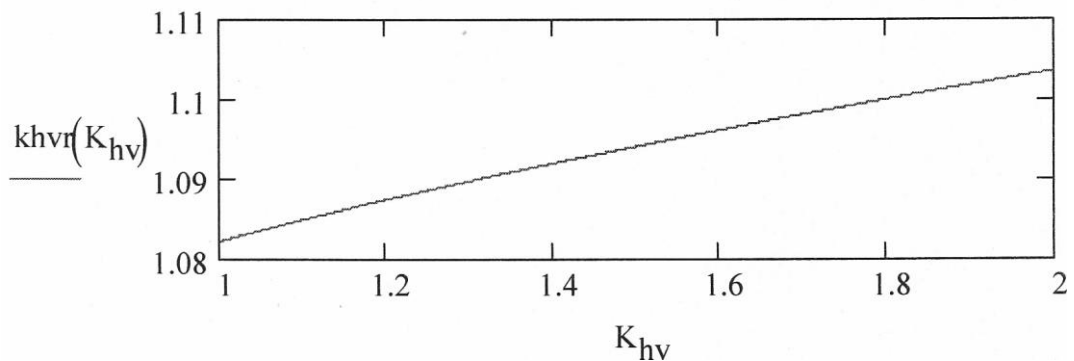
$$dw1(K_{hv}) := \sqrt[3]{\frac{12270^2 \cdot z_n^2 \cdot z_\varepsilon^2 \cdot T_1 \cdot u_n \cdot K_{hv} \cdot Kh\beta}{\psi_{bd} \cdot u \cdot \sigma^2}}$$

$$v(K_{hv}) := n \cdot dw1(K_{hv}) \cdot \frac{n}{60000}$$

$$mh(K_{hv}) := \frac{dw1(K_{hv})}{z_1}$$

$$aw(K_{hv}) := (z_1 + z_2) \cdot \frac{mh(K_{hv})}{2}$$

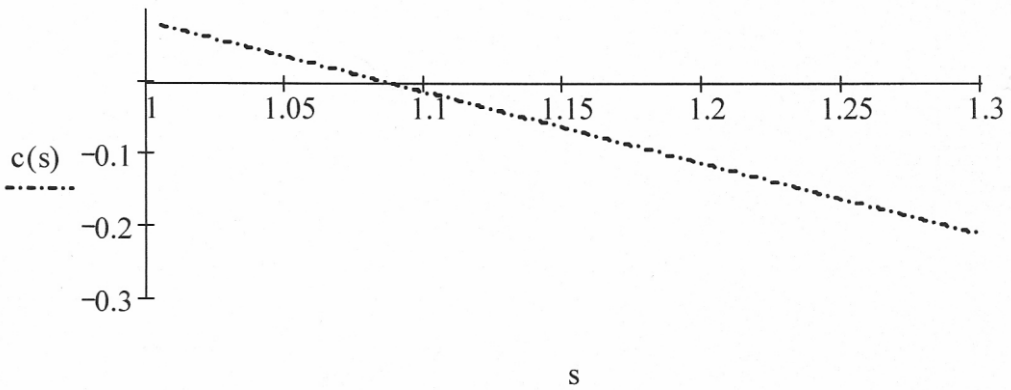
$$khvr(K_{hv}) := 0.98 + 0.014 \cdot v(K_{hv}) + (st - 6) \cdot 0.02 + \frac{(3 \cdot aw(K_{hv}))}{(u \cdot 10000)}$$



$$a := 1.006, 1.0061 \dots 1.2$$

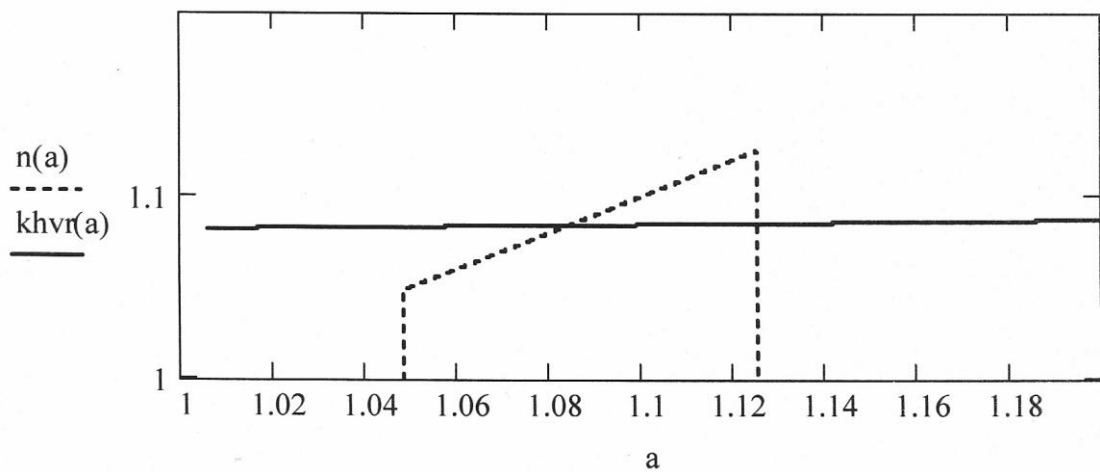
$$sp := 1.005 \quad s := sp, (sp + 0.001) \dots 1.3$$

$$c(s) := khvr(s) - s \quad z(s) := 0$$



$$s := sp \quad Khv := \text{root}(c(s), s) \quad Khv = 1.084$$

$$e(b) := khvr(b) - Khv \quad e(Khv) = -5.404 \times 10^{-5} \quad n(a) := \text{if}(|e(a)| < 0.001, a, 0]$$



$$e(1.035) = -1.357 \times 10^{-3} \quad e(1.11) = 6.035 \times 10^{-4} \quad e(1.055) = -8.252 \times 10^{-4}$$

Діаметр шестерні по умові контактної міцності

$$dw1(K_{hv}) := \sqrt[3]{\frac{12270^2 \cdot zn^2 \cdot z\varepsilon^2 \cdot T1 \cdot un \cdot K_{hv} \cdot Kh\beta}{\psi bd \cdot u \cdot \sigma^2}}$$

Максимально допустимий модуль по контактних напругах

$$mhr := \frac{dw1}{z1} \quad dw1 = 65.047$$

$$mhr = 1.626$$

Коефіцієнт модуля, для прямозубих передач $km := 14$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця з умови забезпечення згинної міцності зубів

$$Kf\beta1 := 0.759 + 1.081 \cdot \psi bd + 0.985 \cdot \psi bd^2 - 0.423 \cdot \psi bd^3 + 0.232 \cdot kod$$

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		57

$$Kf\beta2 := 0.380 \cdot \psi_{bd} \cdot kod^2 + 0.313 \cdot \psi_{bd} \cdot kod^2 - 0.0549 \cdot kod^2 - 1.022 \cdot \psi_{bd} \cdot kod$$

$$Kf\beta := Kf\beta1 + Kf\beta2$$

Коефіцієнт, що враховує форму зуба шестерні

$$Yf := 3.518 + \frac{6.0}{z1-10} - \frac{0.11}{z1-16} + (z1-60) \cdot 0.00034$$

Допустимі напруги по згину $\sigma_f := 200$ МПа

Мінімально допустимий модуль по напругах згину

$$m_f := km \cdot \sqrt{\frac{T1 \cdot Kf\beta \cdot Yf}{z1^2 \cdot \psi_{bd} \cdot \sigma_f}}$$

РЕЗУЛЬТАТИ:

- розрахунковий модуль з умови забезпечення

допустимих напруг при згині зуба $m_f = 0.68$ mm

- розрахунковий модуль з умови забезпечення

контактної міцності зуба $m_{hv} = 1.626$ mm

$q := 0..4$ $m_q := q$ $q := 5..7$ **$r := 8$** $qqq := r..13$ $j := 0..13$

1
1.25
1.75
2
2.5

$$m_{qq} := m4 + \frac{qq-4}{2}$$

$$qr(qqq) := \text{if}[r \neq qqq, (qqq-r)+1, 1]$$

$$m_{qqq} := m7 + 2 \cdot qr(qqq) \quad \text{mod}_j := m_j$$

$$mr1(j) := \text{if}(m_f < \text{mod}_j, \text{mod}_j, 0) \quad mr2(j) := \text{if}(m_{hr} < \text{mod}_j, \text{mod}_j, 0)$$

$$m(j) := \text{if}(mr(j) \neq 0, \text{if}(mr(j) \neq 0, mr(j), 0), 0)$$

mr1(j) =	mr2(j) =	m(j) =
1	0	0
1.25	0	0
1.75	1.75	1.75
2	2	2
2.5	2.5	2.5
3	3	3
3.5	3.5	3.5
4	4	4
6	6	6
8	8	8
10	10	10
12	12	12
14	14	14
16	16	16

Рисунок 3.2 – Результати розрахунків

З виконаних розрахунків встановлено, що найменше розрахункове значення модуля прямозубого зубчастого зачеплення, яке відповідає нормованим значенням, становить $m = 1,75$ мм [6].

Рекомендовано обирати модуль із першого ряду нормальних значень. З огляду на це, для виконання проектних робіт доцільно прийняти модуль $m = 2$ мм.

3.3 Розрахунок необхідних зусиль притискання

Пневматичні приводи широко застосовуються в пристосуваннях завдяки їх високій швидкодії, простоті конструкції, надійності та стабільності в роботі.

Розрахунок виконуватимемо за розрахунковою схемою, наведеною на рисунку 3.3.

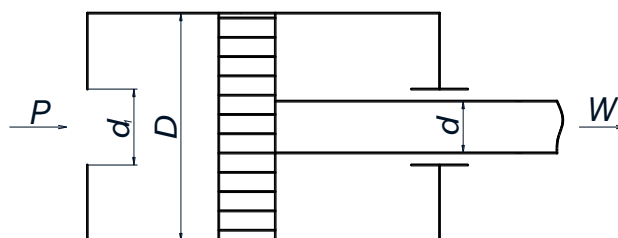
Осьову силу на штоку визначають за формулою:

$$W = P \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \eta, \quad [10] \quad (3.6)$$

де P – тиск повітря в пневмокамері цеху, МПа, $P = 0,45$ МПа;

D – діаметр пневмоприводу, м;

η – коефіцієнт корисної дії від пневмоприводу, приймається рівним $\eta = 0,98$ [9].



P – тиск повітря в пневмокамері, МПа; D – діаметр пневмоприводу, м;
 d – діаметр штока, м; d_1 – діаметр вхідного отвору, м; W – осьова сила на штоці, МПа·м²

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		59

Рисунок 3.3 – Розрахункова схема пневмоциліндра

Оскільки відомо необхідне зусилля підтискання $2кН$, за формулою (3.6) запишемо для визначення діаметра пневмоциліндра співвідношення:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot P \cdot \eta}} \quad (3.7)$$

Підставивши значення одержимо:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2000}{3,14 \cdot 0,45 \cdot 0,98}} = 76,13 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Згідно ГОСТ 6540-68 знайдений діаметр округлимо до найближчого значення із стандартного ряду і приймемо $D = 80 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Діаметр штока вибираємо із співвідношення:

$$d = (0,25 \dots 0,32) \cdot D, \quad [9] \quad (3.8)$$

Тоді $d = (0,25 \dots 0,32) \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Із стандартного ряду приймемо $d = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Хід штока пневмоциліндра для діапазону тиску $P = 0,4 \dots 0,8 \text{ МПа}$ приймаємо із співвідношення:

$$S = (0,08 \dots 0,15) \cdot D. \quad [10] \quad (3.9)$$

Тоді $S = (0,08 \dots 0,15) \cdot 80 \cdot 10^{-3} = (6,4 \dots 12) \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Отже, будемо використовувати пневмоциліндр з діаметром $80 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, діаметром штока $25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ і робочим ходом $12 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

3.4 Розробка плану цеху

План цеху для складання та зварювання корпусу теплообмінника повинен забезпечувати раціональне розміщення обладнання, безперервність технологічного процесу, безпечні умови праці та ефективне переміщення

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		60

заготовок і готових виробів. Організація цеху здійснюється відповідно до послідовності виконання виробничих операцій [9].

На вході до цеху розташовується ділянка приймання та зберігання металу. Тут зберігають листовий прокат, труби, фланці, патрубки та інші комплектуючі. Для транспортування матеріалів використовують мостові крани або кран-балки.

Поруч із складом матеріалів знаходиться заготівельна діляниця. На цій ділянці виконують розмічання, різання металу, свердління, механічну обробку кромки та підготовку деталей до складання. Тут розміщують гільйотинні ножиці, установки плазмового або газового різання, кромкообробні верстати та шліфувальне обладнання [12].

Після заготівельної ділянки заготовки надходять на вальцювальну діляницю, де листовий метал формують у циліндричні обичайки. Основним обладнанням є листозгинальні та вальцювальні машини. Поряд передбачають місце для контролю геометричних параметрів обичайок.

Центральну частину цеху займає складально-зварювальна діляниця. Тут виконують складання корпусів теплообмінників, встановлення днищ, патрубків та інших елементів конструкції. Для цього використовують складальні стенди, роликові обертачі, кондуктори та прихваточні пристрої. Зварювальні пости обладнуються джерелами живлення для ручного, напівавтоматичного та автоматичного зварювання [11].

Для виконання довгих поздовжніх і кільцевих швів передбачають окрему зону автоматичного зварювання під флюсом. Ця зона оснащується автоматичними зварювальними установками, механізмами подачі флюсу та витяжною вентиляцією.

Після завершення зварювання вироби переміщують на діляницю контролю якості. Тут здійснюють візуально-вимірний контроль, ультразвукову або радіографічну перевірку швів, а також контроль геометричних параметрів конструкції.

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		61

Окремо розташовується випробувальна ділянка, де теплообмінники проходять гідравлічні або пневматичні випробування на герметичність і міцність. Ділянка обладнується насосними установками, резервуарами для води та вимірювальними приладами [12].

Після випробувань вироби надходять на фарбувально-оздоблювальну ділянку. Тут проводять очищення поверхні, нанесення антикорозійного покриття та маркування готового виробу.

У цеху також передбачають допоміжні приміщення: склад зварювальних матеріалів, ремонтну зону, компресорну станцію, вентиляційні установки, побутові приміщення для персоналу та місця зберігання інструменту.

Для забезпечення безпеки праці цех оснащується припливно-витяжною вентиляцією, системами пожежогасіння, захисними екранами та засобами електробезпеки. Проходи між ділянками повинні забезпечувати безпечне транспортування великогабаритних елементів теплообмінника [2].

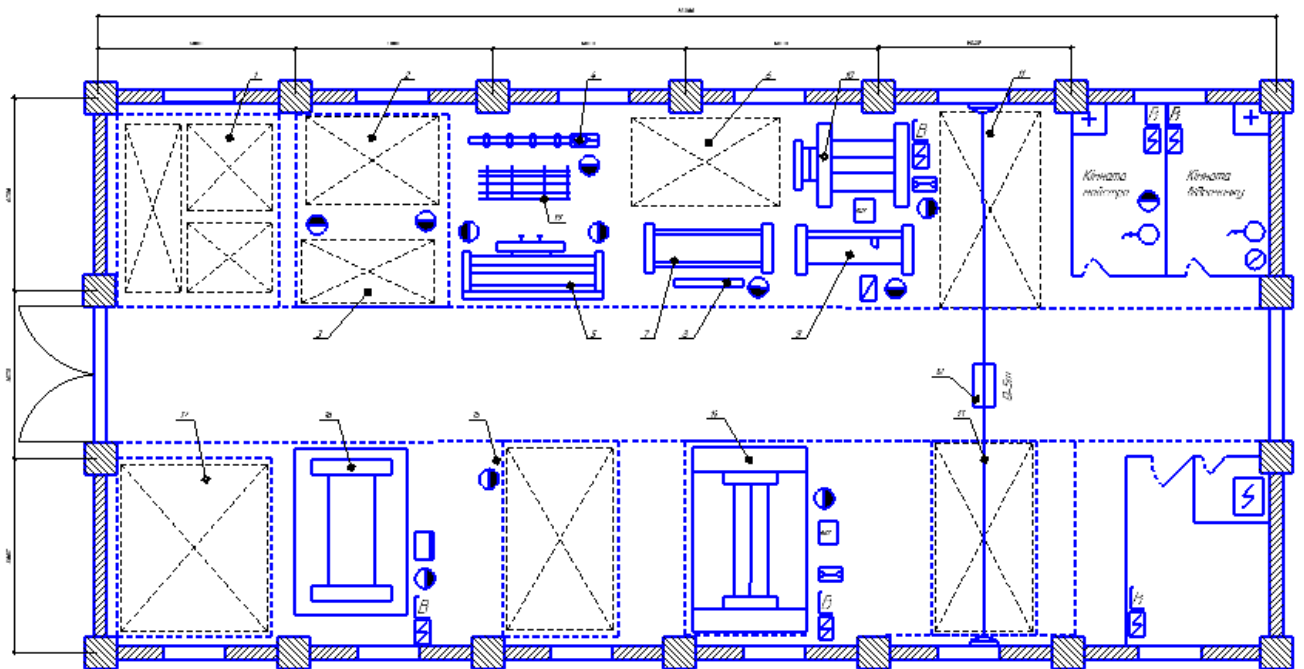


Рисунок 3.5 – План складального-зварювального цеху

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докum	Підпис	Дата			62

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

Перевищення рівня шуму.

Цей фактор відноситься до шкідливих виробничих факторів. Джерелом виникнення можуть бути верстати, апарати, устаткування, що працює, внутрішньоцехові вантажопідйомні механізми, робота слюсарним інструментом. Може викликати такі негативні наслідки, як дезорієнтацію, головний біль, розсіяність та зниження працездатності на тлі підвищеної стомлюваності. А також може викликати погіршення слуху або глухоту внаслідок постійного напруження барабанної перетинки. Рівень звуку для виробничих приміщень має бути в діапазоні від 80 дБА до 95 дБа. До колективних засобів захисту відносять шумоізоляцію приміщень, а до індивідуальних засобів захисту навушники та беруші [14].

Недостатнє освітлення.

Цей фактор відноситься до шкідливих виробничих факторів. Джерелом виникнення даного фактору є недостатня освітленість робочого місця або цеху, загалом відсутність локального джерела світла або перекриття приладів освітлення верстатами або іншими загороджувальними пристроями. Внаслідок чого на око діє підвищене навантаження, погіршується точність та чіткість зору. Підвищується тиск усередині очного яблука, що призводить до стомлюваності працівника та зменшення уважності. Рівень освітленості для промислового приміщення з проведенням робіт малої точності при комбінованому розташуванні приладів освітленості повинен становити не менше 400 лк. До колективних засобів захисту відносяться цехові освітлювальні прилади, а до індивідуальних переносних ламп, ліхтариків, локальних джерел світла [14].

Можливе ураження електричним струмом.

Цей фактор відноситься до небезпечних виробничих факторів. Джерелом виникнення є: оголені проводи, відсутність заземлення, неправильно підібраний

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		63

запобіжник чи автомат, порушення інструкції з експлуатації верстатів чи апаратів, виконання робіт не професійним електриком. Внаслідок ураження електричним струмом у потерпілого відбувається різке скорочення м'язів та тканин, унаслідок чого відбувається травма м'язів, кісток, шкірного покриву. Найчастіше все закінчується летальним кінцем, оскільки на виробництвах великих потужностей використовується високі струми. Необхідно опрацювати з персоналом інструкції з експлуатації електрообладнання, а також надання першої допомоги постраждалому внаслідок удару струмом. Згідно з [15] небезпечніший для людини змінний струм, який може травмувати вже при 42 В, коли як постійний струм небезпечний тільки вище 500 В. Щоб вберегти працівника від цього фактору, необхідно перевіряти заземлення та цілісність силових кабелів верстатів перед кожною робочою зміною. Для колективного захисту всі силові розподільні коробки та автомати повинні знаходитись у недоступному для працівника місці, доступ до них повинен мати лише спеціалізований електрик. Будь-яке відключення верстатів виконується електриком із явним розривом. Також індивідуальним захистом є використання взуття з гумовою не струмопровідною підошвою та використання гумових рукавичок [14].

Наявність неіонізуючого випромінювання, у тому числі ультрафіолетового.

Цей чинник є шкідливим і небезпечним виробничим чинником. Джерелом виникнення ультрафіолету є зварювальний апарат, а точніше зварювальна дуга, яка випромінює при зварюванні короткохвильове випромінювання. Тому, воно діє на незахищені ділянки тіла (руки, обличчя, шия) і може викликати опіки. У малих дозах ультрафіолет не викликає негативних наслідків. А при частих і тривалих впливах може викликати розширення шкірних і підшкірних судин, злоякісні утворення, рак шкіри, при дії на очі може викликати помутніння зору, відшарування сітківки. До колективних засобів захисту відносять ширми,

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		64

вогнетривкі стіни. До індивідуальних засобів захисту відносять зварювальна роба, маска, краги [14].

Наявність підвищеного теплового випромінювання.

Даний фактор є шкідливим та небезпечним фактором, все залежить від часу його впливу. Вплив теплового випромінювання на людину обумовлено опіками різного ступеня важкості. Відповідно до [20] теплове випромінювання не повинно перевищувати 140 Вт/м^2 , за умови, що випромінювання піддається не більше 25% тіла працюючого персоналу з дотриманням всіх норм і технік безпеки. Так як у цеху буде встановлена ще й газова піч, і робота проводитиметься з гарячим металом, необхідно провести заходи щодо колективного захисту персоналу, для цього використовуємо ширми або стіни з негорючих матеріалів. Для індивідуального захисту потрібно використовувати форму сталевара, зварювальну робу, краги, маску, допоміжний слюсарний інструмент [15].

Бризи, окалина розпеченого металу.

Цей фактор належить до небезпечних виробничих факторів. Він виникає внаслідок дії зварювальної дуги на сам метал заготовки. Результатом впливу на шкіру людини є опіки різного ступеня важкості, а також до пожежа. До колективних засобів захисту відносять ширми та стінки з вогнетривкого матеріалу. До індивідуальних засобів відносять зварювальну робу, краги, каски [14].

Механічні пошкодження.

Цей фактор відноситься до небезпечних виробничих факторів. Він виникає в результаті впливу обертових частин верстату або апарату, падіння інструменту або деталі з висоти, частини апаратів, що рухаються, порушення техніки безпеки при роботі на верстатах, а також не акуратна робота з вантажопідйомними механізмами. Вплив даного фактора призводить до травм різного ступеня важкості, ударів, саден, переломів, що іноді є причиною смерті. Для запобігання механічним пошкодженням повинні бути розроблені інструкції з безпечної

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		65

експлуатації верстатів та механізмів. Кожен працівник повинен пройти інструктаж у повному обсязі та розписатися в журналі інструктажів. Кожен працівник повинен знати, як працювати на верстаті безпечно. До колективних засобів захисту відносяться кріпильні елементи, що запобігають падінню обладнання, захисні екрани на всіх механізмах, що обертаються, таблички із позначенням небезпечних вузлів обладнання. До індивідуальних засобів захисту відносяться верхній одяг, каски, черевики з металевим носком, ремені [15].

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		66

ВИСНОВКИ

В даній роботі бакалавра розроблено технологію виготовлення корпусу теплообмінника, що включає технологічний процес складання та зварювання обичайок корпусу, складання та зварювання фланців з корпусом теплообмінника, приварювання штуцерів та нерухомих опор. У відповідності з технологією виготовлення було підібрано основне зварювальне обладнання та оснастка.

У результаті розроблення технології зварювання корпусу теплообмінника було обґрунтовано вибір основних способів зварювання, зварювальних матеріалів, обладнання та технологічних режимів, які забезпечують отримання надійної, герметичної та міцної конструкції.

Для виготовлення поздовжніх і кільцевих стиків обичайок було обрано автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу, що забезпечує високу продуктивність процесу, стабільну якість швів, глибоке проплавлення та мінімальний вплив людського фактора. Для виконання складально-прихваточних операцій і приварювання окремих елементів конструкції застосовано напівавтоматичне зварювання в середовищі захисних газів.

У ході роботи визначено оптимальні режими зварювання з урахуванням товщини металу, типу з'єднання та властивостей сталі 16ГС. Для забезпечення необхідних механічних властивостей металу шва підібрано відповідні зварювальні матеріали - флюс АН-348А та зварювальний дріт Св-08А. Обрані матеріали забезпечують стабільний процес зварювання, високу міцність шва та зменшення ймовірності утворення тріщин і оксидних включень.

У якості основного обладнання прийнято зварювальний трактор ТС-35, який у комплекті з велосипедним візком ВТ-2Б забезпечує можливість автоматичного зварювання поздовжніх і кільцевих швів циліндричних виробів. Як джерела живлення використано зварювальні випрямлячі ВКСМ-1000 та

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		67

трансформатор ТДФ–1201, технічні характеристики яких відповідають вимогам обраних способів зварювання.

Під час розроблення технології особливу увагу приділено заходам боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями. Для цього запропоновано раціональну послідовність складання і зварювання, використання складально-зварювальних пристроїв, оптимальних режимів тепловкладення та, за необхідності, термічної обробки.

Також розроблено систему контролю якості зварних з'єднань із застосуванням ультразвукової дефектоскопії луна-імпульсним методом за допомогою дефектоскопа УД4-76. Це дозволяє своєчасно виявляти внутрішні дефекти та забезпечувати відповідність зварних швів вимогам нормативно-технічної документації.

У результаті виконаної роботи створено технологічний процес виготовлення корпусу теплообмінника, який забезпечує високу якість виробу, економічну ефективність виробництва, безпечність експлуатації та відповідність сучасним вимогам до зварних конструкцій, що працюють під тиском.

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		68

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Виробництво зварних конструкцій: Практикум (Частина 1) [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технології та інжиніринг у зварюванні» / К. О. Зворикін, В. О. Гаєвський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,59 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 114 с.
2. Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник / Г.О.Кривов, К.О.Зворикін. - К.: КВІЦ, 2012. - 896 с.
3. Проектування технологічних процесів зварювального виробництва: Практичні заняття [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технології та інжиніринг у зварюванні» / К. О. Зворикін, В. О. Гаєвський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,27 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 87 с.
4. Матвієнків О. М. Виробництво зварних конструкцій: лаб. практикум / О.М. Матвієнків, Р.Т. Біщак. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2024. - 60 с.
5. Матвієнків О.М. Виробництво зварних конструкцій: курсове проектування / О.М. Матвієнків, Р.Т. Біщак. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. - 24 с.
6. Біщак Р.Т. Виробництво зварних конструкцій: методичні вказівки для самостійної роботи / Р.Т. Біщак. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – 33 с.
Матвієнків О.М. Проектування технологічних процесів зварювального виробництва [Текст]: практикум / О. М. Матвієнків. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. – 58 с.
7. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 (EN ISO 9692-1:2013, IDT) Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, TIG - зварювання та променеве зварювання сталей. [Чинний від 2015-07-01].

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		69

Вид. офіц. Київ : ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2014. 15 с.

8. Зворикін, К. О. Виробництво зварних конструкцій. Модуль 2. Курсова робота: рекомендації до виконання [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ.

спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технології та інжиніринг у зварюванні» / К. О. Зворикін, В. О. Гаєвський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 66 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/51231>.

9. Хвалько О. Електрозварювання. - Львів, Видавництво "Світ", 2019. - 288 с.

Величко Г. Технологія зварювання. - Київ, Видавництво "Видавничий дім "Університетська книга", 2016. - 352 с.

10. Ігнатенко І. Зварювальні роботи: технологія і організація. - Харків, Видавництво "Основа", 2018. - 416 с.

11. Марчук В. Зварювання металоконструкцій. - Київ, Видавництво "Техніка", 2013. - 288 с.

12. Жуков О. Зварювання та контроль якості зварювання. - Київ, Видавництво "Логос", 2011. - 352 с.

13. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві [Текст]: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.

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

15. Охорона праці та цивільний захист: Курс лекцій для студентів зварювальних спеціалізацій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій: «Технології та інжиніринг у зварюванні», «Автоматизовані технологічні системи у зварюванні», «Споріднені технології зварювання та ресурсозбереження»/ О. Г. Левченко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,84 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 370 с.

					КРБ.ЗТ-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докum	Підпис	Дата		70

ДОДАТКИ

					КРБ.3Т-82.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докum	Підпис	Дата		71