

**КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА БАКАЛАВРА
КРБ.ЗТ - 55.00.00.000 ПЗ
Група ЗТ-21-1**

Іван Зима

2025

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

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

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

**Тема: «Розроблення технології складання
та зварювання змійовика первинного
пароперегрівача котла ТП-100»**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
КРБ.3Т-55.00.00.000 ПЗ**

Студент групи ЗТ-21-1 Зима І.О.
(шифр групи) (підпис) (розшифрування підпису)

Допускається до захисту

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

2025

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції.

2.2.1 Заготівельні операції.

2.2.2 Розробка технології складання та зварювання.

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями.

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку.

3 Конструкторський розділ.

3.1 Компонування складальних та зварювальних установок.

3.2 Розрахунок окремих елементів пристосувань.

3.3 Розробка плану цеху.

4 Безпека праці.

Висновки по роботі.

Список використаних джерел.

Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу:

Аркуш 1 - Креслення зварної конструкції;

Аркуш 2 - Схема технологічного процесу виготовлення виробу;

Аркуш 3 - Креслення складально-зварювального обладнання;

Аркуш 4 - Креслення складально-зварювальних пристосувань;

Аркуш 5 - План цеху зварювального виробництва.

6. Дата видачі завдання *18 березня 2025р*

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів	Примітка
<i>1. Вибір та ознайомлення з літературою для написання роботи</i>	<i>18.03.25р. ... 20.03.25р</i>	
<i>2 Ознайомлення з матеріалами, на базі яких виконується робота</i>	<i>21.03.25р. ... 24.03.25р</i>	
<i>3 Вивчення літературних джерел та написання першого розділу роботи</i>	<i>25.03.25р. ... 15.04.25р.</i>	
<i>4 Вивчення практичного матеріалу і написання наступних розділів роботи</i>	<i>16.04.25р. ... 11.05.25р.</i>	
<i>5 Виконання розрахунково-графічної частини, додатків та ілюстрацій до роботи</i>	<i>12.05.25р. ... 28.05.25р</i>	
<i>5 Ознайомлення керівника з чорновим варіантом роботи</i>	<i>29.05.25р. ... 30.05.25р</i>	
<i>6 Оформлення роботи</i>	<i>31.05.25р. ... 05.06.25р</i>	
<i>7 Представлення роботи на кафедрі</i>	<i>07.06.2025р.</i>	
<i>8 Направлення на рецензування</i>	<i>09.06.2025р</i>	

Студент: _____ Зима І.О.

(підпис)

(розшифрування підпису)

Керівник: _____ Матвієнків О.М.

(підпис)

(розшифрування підпису)

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Анотація

Пояснювальна записка: 79 сторінок, 15 рисунків, 17 таблиць, 5 додатків.

Об'єктом дипломної кваліфікаційної роботи є розроблення технологічного процесу виготовлення зварної конструкції – пакет первинного пароперегрівача котла ТП-100 та організація зварювального виробництва відповідно розробленого процесу.

В роботі проведено: аналіз зварного виробу, матеріалу виготовлення, вибір відповідних зварювальних матеріалів, вибрано способи зварювання, розраховані параметри режимів зварювання, вибрано основне та допоміжне зварювальне обладнання, розглянуті процеси зварювального та допоміжного виробництва, заходи з охорони праці при налагоджуванні даного зварювального виробництва. Вирішене завдання підвищення продуктивності праці та якості продукції існуючого виробництва, що повинно привести до зниженням затрат: людських, матеріальних та енергетичних. Розглянуті фактори, які можуть негативно впливати на здоров'я, життя працюючого персоналу при організації запроектованого зварювального виробництва, запропоновані заходи по усуненні чи зведенні до мінімуму впливу цих факторів.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Характеристика конструкції та оцінка її технологічності	9
1.2 Характеристика матеріалу конструкції та оцінка його зварюваності	11
1.3 Технічні умови на виготовлення	14
1.3.1 Вимоги до матеріалів конструкції	14
1.3.2 Вимоги до шорсткості	15
1.3.3 Вимоги до складання	15
1.3.4 Вимоги до зварних з'єднань та швів	16
1.3.5 Вимоги до якості виробу	17
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Вибір способів зварювання та зварювального обладнання	19
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання	19
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів	23
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання	25
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального обладнання	30
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення конструкції	37
2.2.1 Заготівельні операції	37
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання	42
2.2.3 Зварювальні напруження та деформації, способи їх усунення	47
2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку	50
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	53
3.1 Компонування складальних та зварювальних установок	53
3.2 Розрахунок окремих елементів пристосувань	55
3.3 Розроблення плану цеху	64

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ	69
ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75
Додатки	79

ВСТУП

Зварювання – є таким же технологічним процесом, як і механічна обробка металів, литво, кування, штампування. Великі технологічні можливості зварювання забезпечують його широке застосування в різноманітних галузях промисловості.

Своєму широкому застосуванню зварювання зобов'язане наступними перевагам:

- нижча вартість конструкцій у порівнянні з іншими з'єднаннями;
- отримання міцних з'єднань;
- легкість раціоналізації форми конструкцій;
- економія часу, матеріалів і трудових ресурсів;
- великі можливості застосування механізованих та автоматизованих способів зварювання покращують умови та продуктивність праці;
- можливість виконувати відновлення спрацьованих деталей, а виправляти дефекти ливарних виробів.

У зварювальне виробництво впроваджуються новітні досягнення науки і техніки, зростає механізація та автоматизація процесів зварювання, що підвищує ефективність виробництва зварних конструкцій та їх якість.

Обрана технологія виготовлення зварних конструкцій повинна забезпечити отримання необхідних технічних характеристик, можливість зниження металомісткості вироблених компонентів та їх високу технологічність.

Значна частина загальної трудомісткості будь-якого виробництва в тому числі і зварювального припадає на заготівельні, складальні, опоряджувальні та транспортні операції. Інтенсифікація складально-зварювального виробництва

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можлива лише за умови комплексної механізації і автоматизації всіх виробничих та допоміжних процесів.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика конструкції та оцінка її технологічності

В даній кваліфікаційній роботі розробляється технологічний процес виготовлення та повне технічне оснащення виробництва зварної конструкції – пакет первинного пароперегрівача котла ТП-100 [1].

Призначення пароперегрівників (ПП) – перегрів насиченої пари, яка поступає з парогенератора котла. Пароперегрівник являє собою сукупність сталевих змійовиків, всередині яких рухається пара, а ззовні вони контактують з гарячими (температура 700...900°C) димовими газами.

Пароперегрівник працює в надзвичайно важких умовах, та як, ззовні омивається гарячими газами, а з середини найгарячішим теплоносієм – перегрітою водяною парою. По призначенню ПП діляться на: первинні, пара в яких з початковим тиском; та проміжні, в яких перегрівается частково відпрацьована пара. Первинні ПП, як правило, встановлюються між топкою і конвекційною шахтою в горизонтальному газоході [2].

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики парового котла ТП-100

Параметр	Значення
Паропродуктивність, т/год (кг/с)	640 (178)
Тиск пари на виході, МПа	13,8
Температура перегрітої пари, °С:	570

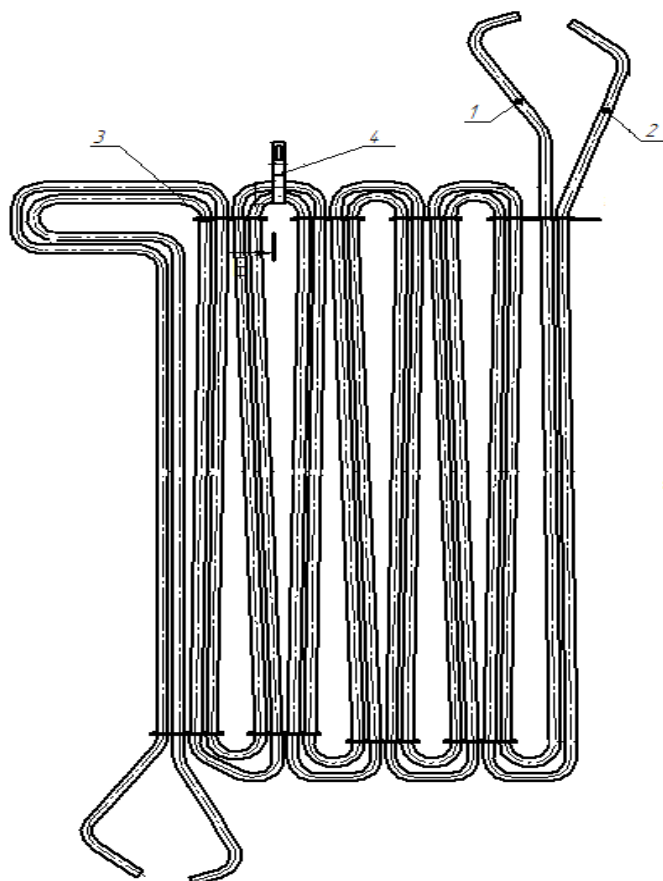
Отже первинний пароперегрівач котла ТП-100 працює в дуже важких умовах з внутрішнім тиском 13,8 МПа перегрітої пари до 570 °С та зовнішньою температурою робочих газів 750-780 °С.

Пакет первинного пароперегрівача котла ТП-100 складається з 2 змійовиків складної форми, які скріплені між собою за допомогою гребінок. Для підвішування первинного пароперегрівача застосовується підвіска (рис 1.1).

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Кожен змійовик виготовляється способом зварювання стиковим круговим зварним швом деталей: колін, поворотів, патрубків, котрі виготовляються з труби зовнішнього діаметра 38 мм з товщиною стінки 4 мм.

Між собою змійовики з'єднані за допомогою гребінок виготовлених з листового металу товщиною 6 мм, котрі попарно накладаються внапуск і зварені між собою кутовими зварними швами (рис. 1.2).



1 – Змійовик тип 1; 2 – Змійовик тип 2; 3 – Гребінка; 4 – Підвіска

Рисунок 1.1 – Пакет первинного пароперегрівача котла ТП-100

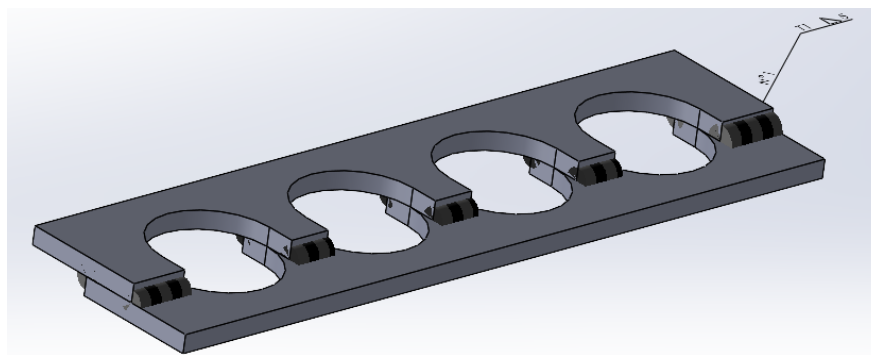


Рисунок 1.2 – Схема монтажу і зварювання гребінок для кріплення змійовиків

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Отже, провівши аналіз зварного виробу, робимо висновки:

- деталі виробу складаються методом зварювання однотипним зварним з'єднаннями, що дозволяє застосовувати автоматизовані методи зварювання;
- зварні шви є доступними з можливістю встановлення їх в положення зручне для зварювання;
- при збиранні є можливість поділити конструкцію на окремі вузли, які можуть бути складені й зварені на спеціальних робочих місцях із застосуванням високопродуктивного складального-зварювального оснащення;
- все вище перелічене знижує трудомісткість виготовлення конструкції і, відповідно технологічну собівартість її виробництва.

Отже, даний виріб є технологічним з можливістю застосуванням механізованого процесу зварювання [3].

1.2 Характеристика матеріалу конструкції та оцінка його зварюваності

Всі деталі пароперегрівача виготовляються зі сталі марки 12Х1МФ.

12Х1МФ – жароміцна низько легована сталь. Рекомендована температура застосування до 570-585 °С. Відноситься до низько хромистих сталей перлітного класу.

Ця сталь використовується для виготовлення труб пароперегрівників, трубопроводів та колекторних установок високого тиску; поковок деталей парових котлів і паропроводів; деталей газових турбін; для виготовлення деталей що працюючих при високих температурах 540-580 °С [4].

Стандарти:

Сортовий і фасонний прокат ТУ 14-1-1529-2003

Листи і смуги ТУ 14-105-549-92

Труби сталеві та з'єднувальні частини до них ТУ 1361-023-00212179-2005

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ТУ 14-3-460:2009/ ТУ 27.2-05757883-207:2009 Труби сталеві безшовні для парових котлів та трубопроводів. Технічні умови [5].

Ця сталь відзначається обмеженою зварюваністю. Часто зварка можлива лише при попередньому підігріві і наступній термообробці. Температура інтенсивного окалино утворення 600 °С [4].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад (%) сталі 12Х1МФ (ТУ 14-3-460:2009) [4].

С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	V
0,1-0,15	0,17-0,37	0,4-0,7	до 0,3	до 0,025	до 0,03	0,9-1,2	0,25-0,35	0,15-0,3

Таблиця 1.2 – Фізичні та механічні характеристики сталі 12Х1МФ [4].

Показник	Символ	Од.вим.	Значення
Питома вага	ρ	г/см ³	7,80
Границя короточасної міцності	σ_B	МПа	480
Границя пропорційності (плинності)	σ_T	МПа	260
Відносне видовження	δ	%	20

Відповідно до діючого стандарту термінологій, зварюваність – властивість металу (поєднання металів) утворювати при встановленій технології зварювання з'єднання, які відповідають вимогам до конструкції виробу та його експлуатації [6].

Головні показники зварюваності - можливість та умови отримання експлуатаційно надійних зварних з'єднань (запобігання виникнення гарячих і холодних тріщин, при досяганні заданих фізичних, механічних властивостей або хімічного складу). Істотний вплив на технологічні властивості і зварюваність сталі надають шкідливі домішки сірки і фосфору.

Зварюваність для матеріалу 12Х1МФ перевіряємо за схильністю металу шва до виникнення холодних та гарячих тріщин при максимально можливому вмісті легуючих домішок [7,8].

Схильність металу шва до утворення холодних тріщин перевіримо методом еквівалентного вуглецю за формулою:

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{M_n}{6} + \frac{S_i}{24} + \frac{N_i}{40} + \frac{C_r}{5} + \frac{M_o}{4} + \frac{V}{4} + \frac{C_u}{13} + \frac{P}{2} \leq 0,4\% \quad (1.1)$$

$$C_{\text{екв}} = 0,15 + \frac{0,7}{6} + \frac{0,37}{24} + \frac{0,3}{40} + \frac{1,2}{5} + \frac{0,35}{4} + \frac{0,3}{4} + \frac{0,03}{2} = 0,71\% > 0,4\%$$

Згідно розрахунку, як бачимо, матеріал має схильність при зварюванні утворення холодних тріщин [7].

У випадках, коли існує така небезпека, необхідне зниження концентрації дифузного водню в металі шва для попередження виникнення гартівних структур. Це можна досягнути попереднім підігрівом металу. Сеферіаном було запропоновано методику розрахунку температури попереднього підігрівання з метою попередження утворення холодних тріщин для зварних з'єднань вуглецевих та низьколегованих сталей: [7]

$$T_n = 350 \cdot \sqrt{C_{\text{екв}} - 0.25} \quad (1.2)$$

де поправка на товщину металу $\delta=4\text{мм}$

$$C_{e\Delta} := 0.005 \cdot \delta \cdot C_e = 0.01 \quad (1.3)$$

Загальний вуглецевий еквівалент:

$$C_{\text{екв}} := C_e + C_{e\Delta} = 0.72 \quad (1.4)$$

Температура попереднього підігріву

$$T_n := 350 \cdot \sqrt{C_{\text{екв}} - 0.25} = 240 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При зварюванні сталі 12Х1МФ даної товщини, температура попереднього підігрівання (для запобігання утворення холодних тріщин) складає 240 °С.

Перевірка схильності металу шва до виникнення гарячих тріщин виконується для найбільш несприятливих умов за формулою:

$$HCS = \frac{C \cdot (S + P + \frac{S_i}{25} + \frac{N_i}{100}) \cdot 10^3}{3 \cdot M_n + C_r + M_o + V} \leq 4 \quad (1.5)$$

$$HCS := \frac{0.15 \cdot \left(0.025 + 0.03 + \frac{0.37}{25} + \frac{0.3}{100} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 0.7 + 1.2 + 0.35 + 0.3} = 2.76 \quad 2.76 \leq 4$$

Умова виконується - сталь не схильна до утворення гарячих тріщин [7].

Таким чином проведено перевірку, яка підтверджує обмежені зварювальні властивості сталі 12Х1МФ. З метою отримання експлуатаційно

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надійних зварних з'єднань рекомендується попередній підігрів зварювальних деталей.

1.3 Технічні умови на виготовлення

Основними технічними вимогами при виготовленні первинного пароперегрівника є дотримання розмірів деталей в межах допусків вказаних на кресленнях. До конструкції даного типу ставляться вимоги жаростійкості, корозійної стійкості при високих температурах, витримування заданого внутрішнього надлишкового тиску, точності деталей і технологічності зварних з'єднань.

Виконання зварних швів при збиранні виробу необхідно проводити відповідно до технології, яка забезпечить високу якість зварювання при мінімальних затратах ресурсів та часу. Відповідно до ДСТУ EN 1708-1:2015 «Зварювання. Зварні з'єднання сталевих елементів. Зварні з'єднання конструкційних елементів, що працюють під тиском» шви зварних з'єднань підлягають очищенню від шлаку [9].

Усі шви контролювати візуально-вимірювальним методом. Після зварювання провести випробування на герметичність, яке має відповідати ДСТУ ДСТУ EN 1779:2015. Виявлені дефекти підлягають виправленню повторним зварюванням після вирубки дефектної ділянки. Виправлення дефектів робити не більше двох разів [10].

Грунтування та фарбування зварної конструкції не проводиться.

1.3.1 Вимоги до матеріалів конструкції

Якість та марки матеріалів, що застосовуються при виготовленні конструкції, повинні відповідати вимогам відповідних стандартів та засвідчуватися сертифікатами або паспортами заводів-постачальників [11].

Беручи до уваги, що ширина гребінок 42 мм, а ширина стандартного штабового прокату 40 мм, 45 мм, та беручи до уваги невелику кількість

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

гребінок в одній конструкції, - оптимальним способом їх виготовлення буде плазмове вирізання з листового металу. Матеріал для виготовлення листовий прокат сталі 12Х1МФ товщиною 6 мм згідно ДСТУ 8540:2015 «Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент». Контроль якості поверхні, розмірів та вимоги до кромки прокату повинні відповідати ДСТУ 8540:2015 [12].

Плазмове різання металів товщиною 1-150 мм регламентується міжнародним стандартом, який діючий в Україні - ДСТУ EN ISO 9013:2019 Газове різання. Класифікація. Вимоги до геометричних розмірів та якості (EN ISO 9013:2017, IDT; ISO 9013:2017, IDT) [13].

Зважаючи, що всі деталі змійовиків пароперегрівача повинні виконуватись з безшовної труби, оптимальним буде їх виготовлення з трубного прокату згідно ДСТУ 8939:2019 «Труби сталеві безшовні холоднодеформовані. Технічні умови» [14].

Згідно завдання із сортаменту вибираємо: $D=38$ мм, $\delta=4$ мм, $d=30$ мм, вага погонного метра 3,354 кг/м. Матеріал виготовлення - сталь 12Х1МФ.

1.3.2 Вимоги до шорсткості

Шорсткість поверхонь регламентується ДСТУ 2413-94 «Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення» [15].

Завданням на розробку технології виготовлення пароперегрівача шорсткість поверхонь виробу не встановлена.

Вибір шорсткості поверхонь конструкції проведемо по виду обробки при формоутворенні. Задаємо шорсткість виробу $\nabla(\checkmark)$, що означає – створення поверхні без видалення поверхневого шару матеріалу (литво, кування, штампування тощо), або поверхні за таким позначенням не оброблюється за винятком тих, на які шорсткість встановлюється окремо.

1.3.3 Вимоги до складання

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Складанням зварного виробу називають процес послідовного з'єднання і зварювання деталей (вузлів) між собою в послідовності вказаній у технологічних картах.

Складання повинне забезпечити встановлення деталей згідно кресленника, а також найбільш сприятливі умови для зварювання.

Деталі, які поступають на складально-зварювальні операції не повинні мати бруду, деформацій, корозійних включень.

Складання деталей проводиться у чітко спланованій послідовності з відповідністю до конструкторської документації. Складання має виконуватись без утворення будь-якого роду деформацій. Складально-зварювальне оснащення повинно періодично перевірятися на відповідність виконання розмірів, які задані в кресленнях.

Найбільш зручним способом виконання складально-зварювальних операцій є спосіб складання і зварювання конструкцій з попередньо зварених вузлів. При такому виконанні робіт простіше автоматизувати процес зварювання, що покращить якість виконання зварних робіт та зменшить час потрібний на виготовлення конструкції [3].

Вимогою до складання заданого зварного виробу – мінімальні зміщення кромки кругових зварних швів при зварюванні змійовиків.

1.3.4 Вимоги до зварних з'єднань та швів

До зварних з'єднань та швів ставляться вимоги згідно державних стандартів та технічної документації. Для даного виробу ставляться такі вимоги:

- усі зварні шви мають бути рівноміцними;
- механічні властивості зварного з'єднання повинні не нижче нижньої межі механічних властивостей основного металу.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зварні шви не повинні містити дефектів. Ширина та висота випуклості катетів, а також форма поверхні шва повинні відповідати державним стандартам.

На зовнішній вигляд шви повинні мати плавні переходи (без напливів) на основний метал, гладку чи трішки лускату поверхню по всіх довжині. Гребінці стикових швів висотою більше 1 мм мають згладжуватись.

Шви змійовиків пароперегрівача повинні бути герметичними, основний метал повинен бути проплавленим, не повинно бути підрізів, непроварів, пор, напливів, кратерів та інших дефектів [3].

Розміщення зварних швів повинне забезпечувати:

- а) виконання зварних з'єднань з дотриманням існуючих вимог;
- б) розміщення нагрівальних пристроїв при застосуванні місцевої термічної обробки;
- в) доступність контролю якості зварних з'єднань;
- г) можливість ремонтів зварних з'єднань з наступним контролем [16].

Розміри прихваток повинні бути мінімальні і забезпечувати їхню сплавку при накладенні основних швів перетину. Вони мають виконуватись зварювальними матеріалами такими ж, які застосовуються для основних швів. Незадовільні прихвачування мають видалятися і за необхідності виконуватись повторно [3,16].

Технологія зварювання повинна детально розроблятися і передбачати виконання робіт за технологією при якій внутрішні напруження у зварених з'єднаннях будуть як можна меншими. Висока якість зварних з'єднань досягається вибором оптимальних типів, розмірів зварених швів, методів та прийомів зварювання.

1.3.5 Вимоги до якості виробу

Для зварних з'єднань показниками якості є: міцність, герметичність, відсутність дефектів, число виправлень та ін.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Насамперед висока якість з'єднань залежить від відповідності технології заданому рівню та дотримання технологічної дисципліни. Виявлення дефектів є сигналом не тільки до відбракування, але і для швидкого коригування технології.

Геометричні розміри деталей, та їх елементів при виготовленні повинні дотримуватись із заданою точністю. При складанні не дозволяється припасування кромки, що викликатиме додаткові напруження в металі [16].

Дефекти зварних з'єднань описуються ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 «Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 1. Зварювання плавленням» [17].

Вибраний спосіб та режим зварювання повинні забезпечувати механічні властивості зварних з'єднань, які встановлених нормативно-технічною документацією.

Для конструкції первинного пароперегрівача вимоги наступні:

- усі зварні шви повинні бути рівномірними,
- механічні властивості зварних з'єднань – не нижчі нижньої межі механічних властивостей основного металу.

Зварювання виробу та його елементів повинне виконуватись відповідно до вимог технічних умов виготовлення обладнання, що працює під тиском, та згідно затверджених технологічних, виробничих інструкцій [16, 18].

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способів зварювання та зварювального обладнання

Вибір способу зварювання для конкретного випадку проводиться з врахуванням багатьох факторів, головні з яких:

- властивості зварювального металу;
- товщина матеріалу, що зварюється;
- розташування швів у просторі, габарити виробу;
- економічна ефективність.

Властивості матеріалу часто мають вирішальне значення при виборі способу зварювання, можуть обмежувати можливі способи. Так само обмежують ряд можливих способів товщини матеріалу, що зварюється та габарити конструкції. Проте в більшості випадків є можливим використання декількох способів зварювання при виготовленні конструкції, причому кожен з них забезпечить необхідні вимоги до готової зварної конструкції. В такому разі вибір того або іншого способу зварювання повинен обґрунтовуватися його економічною ефективністю. Також зазначимо, що оптимальним при виготовленні зварної конструкції буде застосування найменшої кількості способів зварювання [3].

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Беручи до уваги малосерійний тип виробництва зварного виробу та велику кількість однотипних зварних швів, при виготовленні виробу потрібно звернути увагу на автоматизацію зварного процесу, що збільшить продуктивність та зменшить час на виробництво конструкції.

Вибір способу зварювання залежить від цілого ряду чинників. Проведемо аналіз (табл. 2.1) для вибору найбільш раціонального способу зварювання.

Таблиця 2.1 - Вибір способів зварювання для сталі 12Х1МФ

Фактори	Способи	РДЗ	УП	І П	АФ	Ш	Г	ІН	П	ЭЛ	ОІ
Матеріал 12Х1МФ		+	++	++	+	+	-	(+)	(+)	(+)	(+)
Товщина -4 мм, 6мм		+	++	++	++	-	(+)	-	-	-	(+)
Положення шва Нижнє, вертикальне		++	++	++	++	-	-	-	(+)	(+)	(+)
Тип виробництва малосерійне		+	++	++	++	-	-	-	-	-	-

Умовні позначення:

« - » – не рекомендується;

«(+)» – рекомендується обмежено;

« + » – рекомендується

«+ +» – рекомендується переважно

РДЗ – ручне дугове зварювання;

УП – зварювання у вуглекислому газі;

І П – зварювання плавким електродом в інертних газах;

АФ – автоматичне зварювання під флюсом;

Ш – шлакове зварювання;

Г – газове зварювання;

ІН – зварювання не плавким електродом в інертних газах;

П – плазмове зварювання;

ЭЛ – електронно-променеве зварювання

ОІ – орбітальне зварювання в інертних газах

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дамо коротку характеристику способам зварювання, які можуть бути рекомендованими для виготовлення пароперегрівача.

Ручне дугове зварювання електродами з покриттям і надалі залишається одним з найбільш поширених способів при виготовленні зварних конструкцій. Це пояснюється простотою і надійністю використовуваного обладнання, можливістю виконання швів в різних просторових положеннях та в місцях, які не доступні для механізованих способів зварювання. Якість ручного дугового зварювання напряму залежить від правильності вибору параметрів режиму зварювання, складу і якості зварювальних матеріалів, стану поверхонь, які зварюються, якості підготовки та складання крайок під зварювання.

Істотним недоліком всіх способів ручного зварювання, є невелика продуктивність та залежність якості виконаних зварних швів від кваліфікації та навичок зварника.

Зварювання плавким електродом в активних захисних газах (вуглекислий газ, азот, водень і ін.) характеризується високою продуктивністю та достатньо низькою вартістю, внаслідок чого застосовується для зварювання мало вуглецевих, низьколегованих та ряду високолегованих сталей. З недоліків цього способу зварювання є велике розбризкування, менша глибина проплавлення і гірша якість шва в порівнянні зі зварюванням в інертних газах.

Не зважаючи на переваги автоматичного зварювання під флюсом, а саме хороший захист дуги від навколишнього середовища, велика продуктивність способу та достатньо велика глибина проплавлення, він не підходить для даного виробу, тому що флюс не буде триматись на стику, а використання утримуючих засобів буде гальмувати виробництво.

Зварювання плавким електродом в інертних газах має такі переваги: велика продуктивність, гарний захист зварювальної дуги, інертні гази не вступають у реакцію з основним металом, достатня глибина проплавлення основного металу. Недоліками є необхідність захисту очей зварника від

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випромінювання, встановлення системи вентиляції для уникнення загазовування приміщення, та виключення протягів на місці зварювання [19].

При виборі способу зварювання, враховуючи велику кількість однотипних кругових зварних швів, потрібні високопродуктивні способи зварювання. Тому, для зварювання вузлів змійовиків, котрі виготовляються з трубних деталей діаметром 38 мм з товщиною стінки 4 мм пропонується застосувати орбітальне зварювання.

Орбітальне зварювання - особливий спосіб зварювання, при якому дуга механічно повертається на 360° навколо статичної заготовки (труба тощо). Звідси і назва зварювання – зварювальна головка, рухаючись, огинає трубу по орбіті. Усі роботи виконуються в автоматичному режимі, зварювальник тільки встановлює налаштування. Додатково в зварювальну зону подається присадний дріт і захисний газ, також в автоматичному режимі. Цей метод нагадує зварювання напівавтоматом, тільки зварювальник не грає головну роль в роботі, і пальник (зварювальна головка) рухається по колу (орбіті) автоматично.

Устаткування для орбітального зварювання дозволяє працювати з високою продуктивністю, особливо за умови зварювання трубних деталей одного діаметру. Цей спосіб забезпечує дуже високу якість зварних швів, так як зведений до мінімуму людський фактор - задані параметри зварювання дотримуються в автоматичному режимі.

При зварюванні підвіски, гребінок виробу пропонується використання напівавтоматичного способу в середовищі інертного газу з використанням промислового MIG/MAG зварювального апарату.

Для обидвох запропонованих способів в якості інертного газу вибираємо аргон (Ar). Застосування інертних газів суттєво збільшує стабільність горіння дуги і значно розширюють технологічні можливості дуги.

Переваги автоматичного (напівавтоматичного) зварювання в середовищі захисних газів:

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- достатньо висока автоматизація процесу,
- висока продуктивність праці,
- малі економічні затрати на виробництво,
- хороша якість зварних швів
- можливість виконання швів у різних просторових положеннях
- можливість зварювати метали різної товщини (від 0,2 до 20 мм).

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

На механічні та фізико-хімічні властивості металу зварного шва істотно впливає хімічний склад металу. Тому для досягнення вимог надійності конструкції при подальшій її експлуатації, важливим є вірний вибір зварювальних матеріалів. Вибираючи зварювальні матеріали слід виходити з наступних критеріїв:

- можливість отримання щільних швів без каверн, пор;
- можливість отримання шва, метал якого буде мати високу технологічну міцність, не схильний до утворення гарячих тріщин;
- можливість отримання шва, що має необхідну експлуатаційну міцність;
- низька токсичність;
- економічна ефективність [20].

Заданий виріб виготовляється із низьколегованої спеціальної сталі, тому при виборі зварювальних матеріалів обов'язково необхідно враховувати вимогу – отримання металу шва зі спеціальними властивостями: корозійна стійкість, жароміцність.

При зварюванні в інертних газах - мінімальний вигар легуючих елементів, що дуже важливо при зварюванні легованих сталей. При зварюванні у вуглекислоті (CO₂) метал розбризкується набагато сильніше, а це погіршує антикорозійні властивості сталі .

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Часто застосовується суміш інертних газів, наприклад (Ar+He). Суміш газів використовується з метою збільшити глибину проплавлення та зменшити зону термічного впливу (ЗТВ). ЗТВ є ділянкою основного металу розташованою біля шва зварного з'єднання, властивості і структура якої змінилися від нагрівання під час зварювання. Додавання гелію до аргону поліпшує теплопровідність та тепловміст атмосфери зварювальної дуги, що забезпечує стискання дуги, зменшується ЗТВ, поліпшується теплопередача у зварювальної дуги. Все це дозволяє досягнути більш якісного провару [19, 20].

Відповідно до ДСТУ EN ISO 14175:2014 для покращення характеристик зварних з'єднань обираємо газову суміш 95% Ar + 5% He [21].

Дріт для зварювання легованих сталей є спеціалізованим зварювальним матеріалом, який має бути близький за хімічним складом до основного металу і який має містити меншу кількість вуглецю. Легований зварювальний дрід виготовляється з корозійних, жаростійких і жароміцних сталей відповідно до ДСТУ EN ISO 14343:2019 «Зварювальні матеріали. Дроти та стрічки електродні, дроти та прутки для дугового зварювання нержавіжких і жароміцних сталей. Класифікація (EN ISO 14343:2017, IDT; ISO 14343:2017, IDT)». Зварювальні шви, які виконані з використанням таких матеріалів характеризуються високою стійкістю до дії підвищених температур, а також високою корозійною стійкістю [22].

Підвищення корозійної стійкості швів досягається підбором електродного дроту з дещо вищим вмістом хрому, ніж в основному металі [23].

Характеристики зварювальних дротів, які підходять для зварювання легованих жароміцних сталей наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Хімічний склад електродних дротів (%) [20].

Марка дроту	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo
Св-08ХМФА	0,06-0,1	0,12-0,3	0,35 - 0,6	0,3	до 0,025	до 0,025	0,93 – 1,2	0,5-0,7
Св-08ХМФТ	0,07-0,12	0,35	0,4 - 0,7	0,68-0,9	до 0,025	до 0,025	1,4 – 1,8	0,4-0,6
Св-08ХГСМА	0,06-0,1	0,45-0,7	1,15 – 1,4	0,3	до 0,025	до 0,025	0,85 – 1,15	0,4-0,6

Св-08ХГСМФА	0,06-0,1	0,45-0,7	1,2 – 1,5	0,3	до 0,025	до 0,025	0,95 – 1,25	0,5-0,7
-------------	----------	----------	-----------	-----	----------	----------	-------------	---------

З точки зору економічної доцільності вибираємо зварювальний дріт Св-08ХМФА, для якого характерні відповідно-необхідні вмісти вуглецю та хрому при мінімальних значеннях марганцю, нікелю і молібдену. Даний зварювальний дріт придатний для зварювання у всіх просторових положення, а наплавлений метал є добре розкисленим і характеризується високою міцністю та пластичністю.

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Режим зварювання – це сукупність параметрів і характеристик процесу зварювання, які забезпечують отримання зварних швів необхідної форми, розмірів та заданої якості.

При зварюванні легованих сталей потрібно використовувати зварювальний режим, який забезпечить невеликий нагрів металу. Це пояснюється більшим коефіцієнтом лінійного розширення при нагріванні і зниженим в 1,5 рази коефіцієнтом теплопровідності у порівнянні з низьковуглецевими сталями [19, 20].

Основні параметри режиму зварювання в середовищі захисного газу:

1. Діаметр електродного дроту, $d_{эл}$, мм.
2. Сила зварювального струму, I_z , А.
3. Напруга на дузі, U_d , В.
4. Швидкість подачі зварювального дроту, $V_{пд}$, м/год.
5. Швидкість зварювання, $V_{зв}$, м/год.
6. Витрата захисного газу, q_r .

Додаткові параметрами:

7. Рід струму.
8. Полярність постійного струму.

Підготовку кромek деталей під зварювання потрібно проводити згідно діючого ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 «Зварювання та споріднені процеси.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

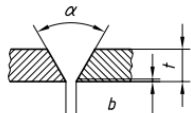
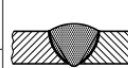
Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, ТІГ - зварювання та променеве зварювання сталей» [24].

Згідно ДСТУ ISO 4063:2014 «Зварювання та споріднені процеси. Перелік й умовні позначки процесів» код процесу зварювання дуговим плавким електродом в захисному газі – 13 [25].

Товщина стінок зварюваних деталей - 4 мм.

Таблиця 2.3 – Підготовка кромки стикового одностороннього зварного

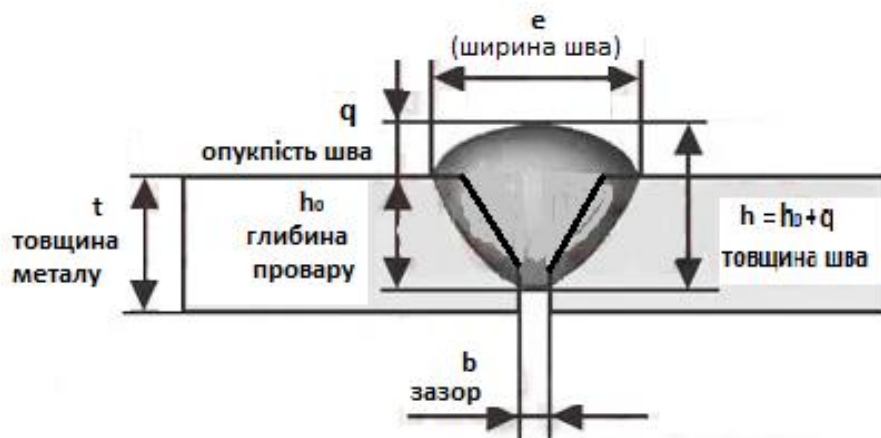
Table 1 — Joint preparations for butt welds, welded from one side

Ref. No.	Material thickness t mm	Type of preparation	Symbol (in accordance with ISO 2553[1])	Cross-section	Dimensions				Recommended welding process (reference No. in accordance with ISO 4063[2])	Weld illustration	Remarks
					Angle ^a α, β	Gap ^b b mm	Thickness of root face c mm	Depth of preparation h mm			
1.3	$3 < t \leq 10$	Single-V preparation	V		$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	≤ 4	≤ 2	—	3 111 13 141		Where applicable with backing strip
	$6^\circ < \alpha \leq 8^\circ$				—	52 ^d					

ISO 9692-1:2013(E)

з'єднання [22].

Приймаємо: $t=4$ мм, $\alpha=60^\circ$, $b=0$, $c=1$ мм. 2 фаски $3 \times 30^\circ$.



Розміри стикового зварного шва показані на рис. 2.1.

Рисунок 2.1-Загальний вигляд стикового зварного з'єднання

Розрахунок шва стикового зварного з'єднання:

$$\text{Глибина проплавлення: } h_0 = t - 0.5 b = 4 \text{ мм} \quad (2.1)$$

$$\text{Ширина шва: } e = 2 \cdot a \cdot \text{tg}(\alpha/2) + 2q \quad (2.2)$$

де $a = 3$ мм (висота фаски), $\alpha/2 = 30^\circ$ (кут фаски)

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

q – захід посилення (опуклості) на тіло металу (рекомендується 1-1,5 мм).

Тоді ширина шва $e = 2 \cdot 3 \cdot \text{tg } 45^\circ + 2 \cdot 1 = 6 \text{ мм}$.

Визначаємо площу наплавленого металу шва з опуклістю (висотою посилення) за формулою:

$$F_n = F_1 + 2 \cdot F_2 \quad (2.3)$$

$$\text{де площа посилення шва } F_1 = 0,75 e \cdot q = 0,75 \cdot 6 \cdot 1 = 4,5 \text{ мм}^2 \quad (2.4)$$

площа проплавлення (трикутника)

$$F_2 = 0,5 \cdot h_0^2 \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 0,5 \cdot 16 \cdot 1 = 4,6 \text{ мм}^2 \quad (2.5)$$

Тоді площа наплавлення $F_n = 4,5 + 2 \cdot 4,6 = 13,7 \text{ мм}^2$

Table 3 — Joint preparations for fillet welds, welded from one side

Ref. No.	Material thickness t mm	Type of preparation	Symbol (in accordance with ISO 2553(I))	Cross-section	Dimensions		Recommended welding process ^a (reference No. in accordance with ISO 4063(2))	Weld illustration
					Angle α, β	Gap b mm		
3.1.1	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Square preparation			$70^\circ \leq \alpha < 100^\circ$	≤ 2	3 111 13 141	

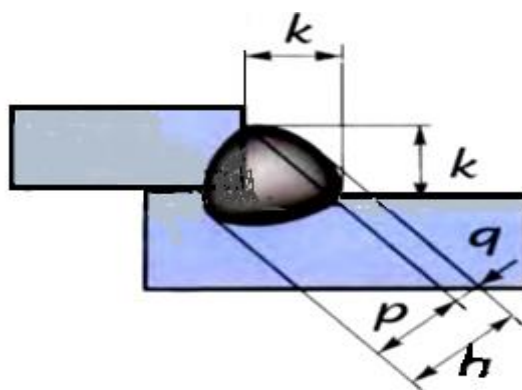
ISO 9692-1:2013(E)

Таблиця 2.4 – Підготовка кромки кутового зварного з'єднання [22].

Приймаємо: $t=6 \text{ мм}$, $\alpha=90^\circ$ $b=0$. Без підготовки кромки.

Катет кутового шва зварюваного металу товщиною 6 мм з границею плинності $290 \text{ МПа} \leq \sigma_t \leq 390 \text{ МПа}$ при механізованому зварюванні приймається $k=4 \text{ мм}$.

Загальний вигляд кутового зварного з'єднання наведений на рисунку 2.2.



q - підсилення шва; k - катет кутового шва;

h - товщина кутового шва; p - розрахункова висота кутового шва;

Рисунок 2.2 - Загальний вигляд кутового зварного з'єднання внапустку

Розрахунок шва кутового зварного з'єднання:

Визначаємо площу наплавленого металу шва з опуклістю (висотою посилення) за формулою:

$$F_n = \frac{k^2}{2} + 1.05k \cdot q \quad (2.6)$$

Приймаючи висоту посилення $q = 1$ мм;

$$F_n = \frac{4^2}{2} + 1.05 \cdot 4 \cdot 1 = 12.2 \text{ мм}^2$$

Визначаємо висоту наплавленого металу за формулою

$$a = \sqrt{F_n}, \quad (2.7)$$

$$a = \sqrt{12.2} = 3.5 \text{ мм.}$$

Визначаємо ширину шва b за формулою

$$b = \sqrt{2k^2}, \quad (2.8)$$

$$b = \sqrt{2 \cdot 16} = 5.6 \text{ мм.}$$

Визначаємо загальну висоту шва a із формули

$$\psi_m = \frac{b}{h}, \quad (2.9)$$

звідки

$$h = \frac{b}{\psi_m} \quad (2.10)$$

Прийmemo $\psi_m = 0.9$, отже:

$$h = \frac{5.6}{0.9} = 6.2 \text{ мм}$$

Визначаємо глибину проплавлення h_0 за формулою

$$h_0 = h - a, \quad (2.11)$$

$$h_0 = 6.2 - 3.5 = 2.7 \text{ мм}$$

Розрахунок режиму зварювання [26, 27]:

При налаштуванні апарату орбітального ТІГ зварювання задається сила зварювального струму, напруга дуги, швидкість подання присадного дроту, швидкість руху електроду і кут його нахилу, кількість використовуваного газу, діаметр і товщина стінок труби [23].

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведемо розрахунки параметрів режиму зварювання для стикового кругового з'єднання напівавтоматичного зварювання вузлів пароперегрівача виготовлених з труби 38x4 мм.

При зварюванні металів товщиною 4 мм рекомендується використовувати зварювальний дріт діаметром 1,2 – 1,6 мм. Вибираємо дріт діаметром $d_{ел} = 1.6$ мм.

Розраховуємо зварювальний струм $I_{зв}$ за формулою

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_{кл}^2}{4} \cdot j \quad (2.12)$$

де j – допустима щільність струму в електродному дроті (для $d_{ел} = 1.6$ мм $j = 90-160$ А/мм²), приймаємо $j = 110$ А/мм²

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} \cdot 110 = 221 \text{ А} \approx 220 \text{ А}$$

Напруга дуги (U_D) визначається за формулою:

$$U_D = 15 + \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot I_{зв}}{\sqrt{d_{ел}}} \quad (2.13)$$

$$U_D = 15 + \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 220}{\sqrt{1,6}} = 28,9 \text{ В} \approx 29 \text{ В}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{пе} = \frac{4 \cdot a_p \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d_{ел}^2 \cdot \rho} \quad (2.14)$$

де a_p - коефіцієнт розплавлення,

ρ - густина дроту, (для сталі $\rho = 7.8 \times 10^3$ кг/м³),

значення a_p розраховується формулою

$$a_p = 3 + 0,08 \frac{I_{зв}}{d_{ел}} \quad (2.15)$$

$$a_p = 3 + 0,08 \frac{220}{1,6} = 14 \frac{\text{г}}{\text{А}}$$

$$\text{Тоді } V_{пе} = \frac{4 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 220}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-6} \cdot 7,8 \cdot 10^3} = 196 \text{ м/год}$$

Визначаємо швидкість зварювання за формулою

$$V_{зв} = \frac{\pi \cdot d_{ел}^2 \cdot V_{пе}}{4 \cdot F_n} \quad (2.16)$$

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-6} \cdot 196}{4 \cdot 13,7 \cdot 10^{-6}} = 29 \text{ м/год}$$

Виліт електродного дроту

$$l_{ел} = 10d_{ел} \pm 2d_{ел} = 16 \pm 3.2 \text{ мм}$$

Приймаємо $l_{ел} = 15 \text{ мм}$

Розраховуємо витрати захисного газу за формулою

$$q_{зг} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot I_{зв}^{0,75} \quad (2.17)$$

$$q_{зг} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 220^{0,75} = 0,19 \text{ л/с} = 11,4 \text{ л/хв}$$

Розраховані параметри та режими зварювання вузлів змійовика пароперегрівача способом напівавтоматичного зварювання в середовищі інертного газу занесено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри та режими напівавтоматичного зварювання вузлів змійовика пароперегрівача в середовищі інертних газів (95%Ar + 5% He)

Параметр	Опис, значення		
Спосіб зварювання	Напівавтоматичний в середовищі захисних газів		
Середовище	Суміш інертних газів 95%Ar + 5% He		
Зварювальний дріт	Електродний дріт Св-08ХМФА d = 1.6 мм		
Параметр	Позначення	Од. виміру	Значення
Сила зварювального струму	$I_{зв}$	А	220
Напруга на дузі	$U_{д}$	В	29
Діаметр електродного дроту	$d_{ел}$	мм	1,6
Виліт електрода	$l_{ел}$	мм	15
Швидкість зварювання	$V_{зв}$	м/год	29
Швидкість подачі електродного дроту	$V_{пе}$	м/год	196
Розхід захисного газу	$q_{зг}$	л/хв	11,4

Рекомендується виконати зварювання зразків на визначеному режимі. Зварені зразки розрізати та виготовити макрошліфи. По шліфах провести оцінку якості та заміри параметрів зварного шва.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального обладнання ОСНОВНЕ ЗВАРЮВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ.

Апарати для зварювання мають забезпечувати як необхідний режим зварювання, так і технологічні зручності. Вони вибираються не тільки за своїми техніко-економічними параметрами, але і за конструкційними особливостями..

Сучасні зварювальні автомати та напівавтомати, як правило, повністю укомплектовані заводом виготовлювачем, тому необхідність вибору джерела живлення для такого обладнання відпадає.

При орбітальному зварюванні труб малого діаметра застосовують закриті головки для орбітального зварювання. Труба охоплюється з усіх боків і зварювання, по суті, проводиться в закритому просторі, в камері, заповненій інертним газом. Такі головки самі надійні, вони зварюють 100% герметичний шов, який не містить оксидів і не схильний до корозії. Такі головки, як правило, робляться знімними.

Для зварювання деталей змійовиків пароперегрівача вибрано закриту голову орбітального зварювання ORBIWELD 38S, виробника Orbitalum Tools GmbH, Німеччина (рис 2.3).



Рисунок 2.3 - Закрита голова орбітального зварювання ORBIWELD 38S

Таблиця 2.6 – Основні характеристики головки ORBIWELD 38S [28].

Параметр	Значення, опис
Діаметр електрода	1.6 / 2.4 мм

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Зовнішній діаметр зварювальної труби (min-max)	3 - 38.1 мм
Ширина головки	40 мм
Маса (зі згортком рукавів)	6.9 кг
Рукоять дюралева	з вбудованою панеллю управління
Комплект рукавів до джерела струму	Високогнучкий з компенсатором натягу довжиною 7.5 м

Інтуїтивне управління з панелі на дозволяє легко управляти зварювальним процесом.

Відкидна кришка забезпечує легку перевірку і налаштування положення електрода перед зварюванням, чим забезпечує точність і якість зварного шва.

В якості джерела струму вибрано ORBIMAT 300 CA - компактне джерело струму механізованого орбітального WIG зварювання. Виробник Orbitalum Tools GmbH, Німеччина (рис 2.4).



Рисунок 2.4 – Джерело струму для орбітального зварювання
ORBIMAT 300 CA

Таблиця 2.7 – Характеристики джерела струму ORBIMAT 300 CA [28].

Параметр	Значення
Напруга підключення	400 - 480 В, 50/60 Гц, 3 фази
Діапазон регулювання струму	5 - 300 А
Тривалість включення	40% при 300 А 60% при 260 А 100% при 220 А
Маса	11 кг

Габарити (ДхШхВ)

540 x 400 x 440 мм

Перевагами джерела є: просте і зручне управління через меню багатофункціонального дисплея, попередньо встановлена операційна система RTOS при можливих відключеннях зберігає налаштування, системна пам'ять розрахована більш 5000 програм зварювання.

Програмування автоматичне – вводяться: діаметр труби, товщина стінки, матеріал і зварювальний газ. Ця система має спеціальні функції "Permanent-Gas" для регулювання подачі зварювального газу і "Flow Force" яка зменшує час подачі газу до початку та після припинення зварювання.

Компоненти розпізнаються автоматично (типи зварювальних головок, аналізатор кисню). Має вбудований поворотний 10,5" монітор і системний принтер, можливість підключення зовнішнього принтера чи монітора [28].

При збиранні пакету первинного пароперегрівача для зварювання кріпильних деталей (гребінки, підвіска) з врахуванням потрібних параметрів режиму зварювання вибрано напівавтомат Jasic MIG-350P (N316).

Jasic MIG-350P (N316) – промисловий інвертор постійного струму напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів із використанням дроту суцільного перетину (MIG/MAG), або ручного дугового зварювання



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ

Арк.

34

покритим електродом (ММА) (рис 2.5).

Рисунок 2.5 - Загальний вигляд напівавтомату Jasic MIG-350P (N316)

Особливістю цього апарату є наявність режиму імпульсного напівавтоматичного зварювання MIG/MAG Pulse. У такому режимі - мінімум розбризкування, здійснюється контроль ступеню проплавлення і керований крапельний перенос. При зварюванні нержавіжних сталей, нікелю та подібних сплавів важливо врахувати реагування цих матеріалів до надлишку внесеного тепла. При імпульсному режимі зварювання кількість внесеного тепла буде нижчою, значить менша імовірність виникнення деформації. Ще є додатковий режим подвійного імпульсу MIG/MAG Double Pulse (Twin Pulse), при котрому внесення теплоти ще менше.

При налаштуванні апарату програмуються параметри зварювання, після чого не потребується втручання зварника. Синергетичним керуванням забезпечується підбір потрібного режиму в залежності від типу шва, діаметру дроту, виду захисного газу. Надалі апарат буде автоматично підтримувати задані параметри, що полегшить роботу зварника. Апарат має зручну сенсорну панель керування з двома дисплеями індикації зварювальних параметрів. Можна користуватись як попередньо встановленими, так і користувацькими налаштуваннями.

При перевантаженнях по струму чи напрузі, та виникненні інших несправностей на дисплей виводиться сигнал.

Технічні характеристики вибраного зварювального напівавтомату забезпечують розрахований режим зварювання.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики Jasic MIG-350P (N316) [29].

Параметр	Значення
Тип зварювального струму	DC
Додаткові режими	3 пульсацією
Діапазон робочої напруги	17 - 31.5 В
Напруга мережі живлення	380 В ± 15% (3 фази)
Зварювальний струм MIG/MAG (min)	60

Зварювальний струм MIG/MAG (max)	350
ПВ (40 °С)	60 %
Зварювальний струм (ПВ 100%)	275 (MMA) / 271 (MIG) А
Споживана потужність (повна)	14 кВА
Напруга холостого ходу	65 В
Швидкість подачі дроту	1-18 м/хв.
Пристрій подачі	в окремому корпусі
Кількість роликів	4
Діаметр зварювального дроту	0.8 / 0.9 / 1.0 / 1.2 / 1.6 мм
Коефіцієнт потужності (cos φ)	0.85
ККД	85 %
Клас ізоляції	F
Ступінь захисту	IP21S
Габаритні розміри (Д х Ш х В)	780 x 380 x 610 мм
Вага	130 кг

ДОПОМІЖНЕ ЗВАРЮВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ.

Для технологічного та більш продуктивного виготовлення виробу потрібно застосовувати пристосування, які мають полегшувати весь процес складання та зварювання. Ці пристосування повинні бути надійними, простими у використанні та забезпечувати виконання певних робіт.

Призначення складально - зварювальної оснастки:

- 1) дотримання із заданою точністю розмірів, геометрії взаємного розміщення деталей чи вузлів зварних конструкцій;
- 2) зменшення тривалості виробничого циклу;
- 3) підняття продуктивності праці;
- 4) зниження трудомісткості робіт;
- 5) зменшення вартості зварних конструкцій;
- 6) розширення можливостей зварювального виробництва;
- 7) забезпечення належної якості зварних виробів;

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

8) ріст рівня комплексної механізації та автоматизації зварювального виробництва.

Технологічний процес складання-зварювання включає як складальні операції, так і саме зварювання окремих деталей, вузлів та виробу в цілому.

Складально–зварювальна оснастка повинна забезпечити:

- встановлення деталей у вузлі без додаткових підганяльних операцій;
- точність складання згідно установлених креслеником допусків;
- вільний доступ до місць прихоплень та зварювання;
- вигідну послідовність виконання зварних швів;
- надійне закріплення зварювальної конструкції;
- можливість виконання зварювання у нижньому положенні;
- швидке відведення тепла від місць інтенсивного нагріву;
- захист базових та установочних елементів, силових елементів, корпусу, оснастки від зварювальних бризок;
- необхідну міцність та жорсткість елементів оснастки;
- виключення імовірності заклинювання затискних механізмів від дії зварювальних деформацій;
- вільне знімання складеного чи звареного виробу;
- можливість проведення ремонтів, замін деталей пристрою;
- безпечну експлуатацію;
- використання типових та стандартних деталей, вузлів і механізмів, що знизить та часу виготовлення виробу та його собівартість [30].

Для виготовлення даного зварного виробу, зважаючи що вузли та деталі змійовиків пароперегрівача розташовані в одній площині, запропоновано застосування типових зварювальних столів та спеціального поворотного зварювального кондуктора для складання-зварювання змійовиків пароперегрівача.

Для закріплення вузлів на кондукторі в умовах малосерійного виробництва розроблено і запропоновано використання пересувних знімних

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гвинтових затискачів та знімних гвинтових струбцин-притискачів.

Затискачі прості у використанні, виготовляються із стандартного профільного сортаменту (штаби, кутники) та стандартних кріпильних елементів.

Поворотний складально-зварювальний кондуктор та затискачі розроблялись та моделювались в середовищі Solidworks [31, 32], (див. Розділ 3).

Кресленики поворотного зварювального кондуктора та затискачів наведені в Додатках В, Г.

Також при складанні зварюванні буде застосовуватись інший інструмент та інвентар (молотки, щітки, засоби захисту, тощо), що допоможуть захистити зварника від небезпечних впливів, підготувати деталі та забезпечити якісні та надійні зварювальні шви.

2.2 Технологічний процес виготовлення зварної конструкції

Після визначення способу та режиму зварювання, вибору зварювальних матеріалів, основного зварювального обладнання та пристосувань необхідно розробити чітку технологію виготовлення зварного виробу, яка включатиме заготівельні, підготовчі, складально-зварювальні операції та контроль якості.

2.2.1 Заготівельні операції

До заготівельних операцій у зварювальному виробництві відносять ті операції, в результаті яких отримують заготовки (деталі) для складання виробу:

- правлення;
- розмічування;

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- різання;
- механічна обробка (фрезування, свердління, розточування і т.п.)
- очищення;

Деталі змійовиків пароперегрівача, що виготовлюються із трубного прокату та кріпильні елементи - з листового прокату, повинні відповідати вимогам відповідних стандартів та технічних умов і засвідчуватися сертифікатами чи паспортами заводів-постачальників.

Для розмічування доцільним буде використання шаблонів.

Виготовлення деталей із трубного прокату (коліна, повороти) рекомендується з використанням трубозгинальний верстату, наприклад STILER JTB 50. Це верстат для згинання сталевих, нержавіючих, мідних, алюмінієвих та латунних труб діаметрами 25, 32, 38, 48 мм.

Верстат може керуватися вручну або автоматично. Завдяки високій потужності згинальний верстат може виконувати згинання труб діаметром до 51 мм при товщині стінки 5 мм. Максимальний кут вигину 180 °. Всі ці параметри цілком підходять для виготовлення деталей змійовиків первинного пароперегрівача котла ТП-100 (рис. 2.6) [33].



Рисунок 2.6 – Трубозгинальний верстат STILER JTB 50

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики STILER JTB 50 [33].

Параметр	Значення
Електроживлення	400 В

Потужність двигуна	2,2 кВт
Потужність двигуна гідронасоосу	1,1 кВт
Кут вигину	180°
Вага:	550 кг
Розміри	1450 x 690 x 1170 мм

Механічне оброблення, а саме нарізка трубних заготовок деталей змійовика та виконання на них фасок для підготовки під зварювання при малосерійному виробництві можна виконувати використовуючи труборіз Exact 220e system та ручний фаскознімач для труб АОТАІ ІSУ-80Т (рис. 2.7,



2.8).

Рисунок 2.7 – Труборіз Exact 220E для різання металевих труб

Таблиця 2.10 – Основні параметри труборіза Exact 220e system [34].

Параметр	Значення
Електроживлення	230В/50Гц
Потужність двигуна	1,1 кВт
Швидкість обертання	1600 — 3500об/хв
Діапазон різання	15 – 220мм
Макс.товщина стінок труби	8мм для сталі, 14мм для пластику
Діаметр диска	140мм

Труборіз EXACT 220E System призначений для високоякісного різання труб зі сталі та композитних матеріалів, діаметром від 15 до 220 мм. Надійна

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкція дозволяє використовувати його як в цеху, так і на будівництві. Виконання робіт цим труборізом є простим, легким, безпечним та зручним. Точність різки - висока. Може різати труби з вуглецевих сталей, чавунів, нержавіючої сталі, міді, алюмінію, кислототривкої сталі, багат шарові труби та всі види пластику [34].



Рисунок 2.8 – Ручний фаскознімач для труб АОТАІ ISY-80Т

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики АОТАІ ISY-80Т [35].

Параметр	Значення
Електроживлення	230В/50Гц
Робочий діапазон (внутрішній діаметр)	28-76 мм
Товщина стінок	до 15 мм
Швидкість обертання	53 об/хв
Маса	11 кг

Машина для обробки торців труб, фланців та посудин всіх типів із більшості металів (вуглецевої, нержавкої, легованої сталі та ін.). Підходить для операцій зняття фасок з труб, розточування, торцювання. Широко застосовується в галузі нафтогазовидобутку де необхідно обробляти високоміцні труби з великою товщиною стінки [35].

Для виготовлення кріпильних деталей – гребінок та підвісок способом плазмового вирізання з листового прокату пропонується застосувати верстат в



верстат плазмового різання Tesla Weld CNC-CUT DP з ЧПК (рис. 2.9).

Рисунок 2.9 – Верстат плазмового різання Tesla Weld CNC-CUT DP

Таблиця 2.12 – Технічні характеристики Tesla Weld CNC-CUT DP [36].

Параметр	Значення
Програма керування	SheetCam
Формат креслень	DXF
Розмір робочого поля	1500 x 3000 мм
Точність повторного позиціонування	± 0.15 мм
Швидкість різання	0 – 6000 мм/хв
Швидкість пересування	0 – 15000 мм/хв
Вертикальний хід переміщення плазмотрона	150 мм
Робочий газ	стиснене повітря
Маса	500 кг

Цей верстат плазмового різання призначений для різання листових матеріалів за будь-яким заданим контуром. Він забезпечить якісне виготовлення як простих, так і конструктивно складних деталей. Верстат оснащений стійкою ЧПУ, комплектується апаратом плазмового різання бренду Tesla Weld або Hypertherm.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Верстат оснащений потужною системою аспірації, яка забезпечує повне видалення диму із зони різання. Пристрій оснащений ящиками для вилучення дрібних виробів, що забезпечує прискорення видалення виробів із робочої зони, тим самим збільшуючи продуктивність [36].

Очищення поверхні металу складається з наступних операцій: видалення мастил та забруднень; видалення окисних плівок; промивання; просушування.

Видаляють мастило, фарбу металевими дротяними щітками. Обезжирення рекомендується проводити розчинниками з використанням розпилювача. Окисні плівки, за потреби, видаляти хімічними методами. Перед складанням заготовки ретельно промивають і просушують.

Підіймально - транспортне обладнання можна поділити на дві основні групи : вантажопідіймальне та транспортувальне.

Підіймальне обладнання використовується на заготівельній ділянці цеху зварювання для розвантаження трубного та листового прокату, на складально-зварювальній ділянці для переміщення (перевертання, переустановки) вузлів та на складі готової продукції для завантаження палет (контейнерів) з готовими виробами. Оптимальним для такого зварювального виробництва буде використання кран-балки опорної електричної вантажопідйомністю 5 тон, яка має можливість переміщатися вздовж всього цеху.

Для здійснення міжцехових (міждільничих) перевезень трубного прокату від заготівельного цеху до цеху механічної обробки та від зварювальної ділянки до складу продукції доцільним буде використання електрокара з боковим завантаженням.

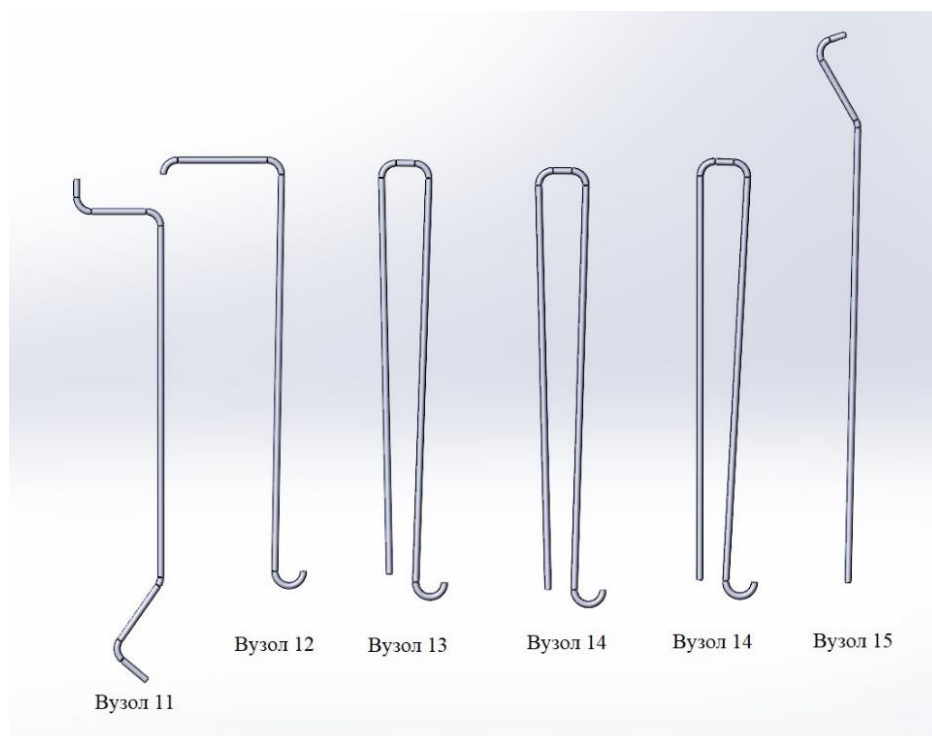
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

Технологічний процес складання-зварювання є основним процесом виготовлення пакету первинного пароперегрівача котла ТП-100. Складально-зварювальні операції є самими важливими при виготовленні зварних виробів та конструкцій, так як в подальшому будуть впливати на їх працездатність.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведеним аналізом конструкції в розділі 1 встановлено що виріб є технологічним з можливістю застосування механізованого процесу зварювання. Оптимальною є вузлова схема збирання-зварювання виробу, при якій з деталей попередньо збираються вузли, а з вузлів – виріб.

Вузли зміювиків пароперегрівача збираються з деталей, попередньо виготовлених з трубного прокату: патрубки, коліна, повороти. Розбивка зміювика на вузли проведена так, щоб був доступ орбітальної головки при



зварюванні вузлів у складальну одиницю (рис. 2.10).

Рисунок 2.10 – Вузли для збірки зміювика 1 (зовнішнього)

Перед складанням обов'язково візуально перевіряється відповідність деталей та вузлів згідно креслення. При складанні виробу потрібно забезпечити точне взаємне розміщення деталей, передбачене конструкцією виробу. Для позиціювання в просторі під час складання використовуємо поворотний зварювальний кондуктор, що дасть змогу зафіксувати та утримувати деталі під час складання-зварювання.

При зварюванні деталей у вузли вибраним орбітальним способом зварювання із застосуванням закритої зварювальної головки додатково

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

забезпечується позиціонування та фіксація зварювальних деталей самою зварювальною головою.

Такі засоби технологічного оснащення забезпечують:

- встановлення деталей у без підгоночних операцій;
- точність складання згідно установлених кресленням допусків;
- вільний доступ до швів та місць прихвачувань;
- надійне закріплення деталей чи вузлів притискачами;
- можливість зварювання в нижньому положенні;
- швидке відведення тепла від місць інтенсивного нагрівання;

Порядок складання складальної одиниці Змійовик 1 на кондукторі:

Перший етап – це складання-зварювання вузлів з деталей: патрубки, коліна, повороти.

Другий етап - встановлення на стіл кондуктора та складання заздалегідь виготовлених вузлів змійовика. Деталі базуються по плоскій поверхні стола кондуктора та по упорах. Першим встановлюється, базується та закріплюється на столі кондуктора базовий вузол 11. Потім послідовно встановлюються, базуються та закріплюються вузли 12, 13, 14 (2 шт.) та 15. Таким чином забезпечується потрібне взаємне розташування деталей, а значить і точність складання зварної конструкції відповідно вимогам документації і технічних умов на складання.

Наступним етапом є зварювання складальної одиниці з вузлів, після чого змійовик транспортується на дільницю випробування та контролю на герметичність.

Аналогічним способом проводиться складання-зварювання змійовика 2 (внутрішнього) із попередньо зварених вузлів 21, 22, 23, 24 (2 шт), 25.

Рекомендується проводити операції складання-зварювання Змійовика 1 та Змійовика 2 паралельно на окремих постах зварювання №1 та №2.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Заключний етап. З дільниці випробовування та контролю складальні одиниці 1 та 2 поступають на зварювальний пост №3 де проходить процес складання-зварювання конструкції у готовий виріб.

Перед початком зварювання встановлюємо параметри необхідного режиму зварювання, регулюємо витрату захисного газу.

Всі роботи складання-зварювання описується картою технологічного процесу, яка є обов'язковою до виконання.

***Карта технологічного процесу складання-зварювання пакету
первинного пароперегрівача котла ТП-100:***

A005 - Транспортувати деталі виробу на перший пост орбітального зварювання у відповідності до комплектувальної карти (специфікації).

A010 - Підготувати деталі до зварювання. Зачистити деталі до чистого металу.

A015 - Виконати програмування системи орбітального зварювання введенням діаметра труби – 38 мм, товщини стінки – 4 мм, матеріал - 12Х1МФ, зварювальний газ – Ar та функції "Permanent-Gas" для регулювання подачі зварювального газу і "Flow Force" з метою зменшення часу витікання газу до початку і після припинення зварювання.

A020 – Провести складання-зварювання вузла 11 орбітальним способом. Базування деталей проводити по площині стола кондуктора та плашками зварювальної головки. Закріплення деталей – затискачами.

A025 – Провести складання-зварювання вузла 12 орбітальним способом. Базування деталей проводити по площині стола кондуктора та плашками зварювальної головки. Закріплення деталей – затискачами.

A030 – Провести складання-зварювання вузла 13 орбітальним способом. Базування деталей проводити по площині стола кондуктора та плашками зварювальної головки. Закріплення деталей – затискачами.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

A035 – Провести складання-зварювання вузлів 14 в кількості -2шт. орбітальним способом. Базування деталей проводити по площині стола кондуктора та плашками зварювальної головки. Закріплення–затискачами.

A040 – Провести складання-зварювання вузла 15 орбітальним способом. Базування деталей проводити по площині стола кондуктора та плашками зварювальної головки. Закріплення–затискачами.

A045 – Встановити на стіл кондуктора вузол 11, базування якого провести по упорах та зафіксувати затискачами.

A050 – Встановити на стіл кондуктора вузол 12, базування якого провести по вузлу 11, по упорах та зафіксувати затискачами.

A055 – Встановити на стіл кондуктора вузол 13, базування якого провести по вузлу 12, по упорах та зафіксувати затискачами.

A060 – Встановити на стіл кондуктора вузол 14, базування якого провести по вузлу 13, по упорах та зафіксувати затискачами.

A075 – Встановити на стіл кондуктора вузол 14, базування якого провести по вузлу 14, по упорах та зафіксувати затискачами.

A080 – Встановити на стіл кондуктора вузол 15, базування якого провести по вузлу 14, по упорах та зафіксувати затискачами.

A085 - Виконати кругові стикові зварні шви шириною 6 мм напівавтоматичним орбітальним дуговим зварюванням в середовищі інертних газів.

A090– Звільнити зварену складальну одиницю №1 «Зміювик 1», провести зачищення швів, видалення металевих бризок, шлаку, окалини.

A095 - Здійснити візуальний огляд Зміювика 1, перевірити наявність зовнішніх дефектів (пор, непроварів, тріщин), деформацій вузлів.

A100 – Передати складальну одиницю №1 на дільницю контролю для проведення ультразвукової дефектоскопії та випробовування тиском.

A105 – Повторити операції A020 – A100 для складання-зварювання вузлів 21, 22, 23, 24 (2 шт), 25 та складальної одиниці №2 «Зміювик 2».

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

A110 – Передати складальні одиниці №1 та №2 з ділянки контролю та випробовування на третій пост зварювання.

A115 – Встановити на столі кондуктора складальні одиниці Змійовик 1 та Змійовик 2. Взаємне розташування згідно кресленика, базування по упорах.

A120 – Розмістити під встановленими змійовиками у вертикальному положенні гребінки в кількості - 8шт згідно кресленика.

A125 – Розмістити гребінки - 8 шт. над встановленими змійовиками у вертикальному положенні внапустку з нижніми гребінками згідно кресленика.

A130 – Зафіксувати гребінки розміщені внапустку між собою струбцинами-затискачами.

A135 – Розмістити підвіску пароперегрівача згідно кресленика, стиснути і зафіксувати грані підвіски струбциною.

A140 – Провести зварювання гребінок між собою та граней підвіски кутовим зварним швом катетом 4 мм напівавтоматичним дуговим зварюванням в середовищі інертних газів зварювальним дротом $d=1,6$ мм. Режим зварювання: струм – постійний, полярність – зворотна, напруга дуги 29 В, зварювальний струм 220 А, виліт електроду 15 мм, швидкість зварювання 29 м/год, швидкість подачі електродного дроту 196 м/год, витрата захисного газу 11,4 л/хв.

A145 - Звільнити зварену конструкцію первинного пароперегрівача, провести зачищення швів, видалення металевих бризок, шлаку, окалини. A150 - Здійснити візуальний огляд готового зварного виробу, перевірити наявність зовнішніх дефектів, деформацій.

A155 - Передати готовий виріб на склад готової продукції.

Технологічний процес є основою будь-якого виробництва. Він включає в себе послідовну зміну форми, розмірів, зовнішнього вигляду, властивостей предмета виробництва та їх контроль.

Технологічний процес складально-зварювального виробництва виготовлення пакету первинного пароперегрівача наведений у Додатку Г.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.3 Зварювальні напруження та деформації, способи їх усунення

При зварюванні металевих конструкцій часто утворюються зварювальні напруження та деформації. Особливо це стосується зварювання плавленням. Зварювальні напруження та деформації виникають в результаті нерівномірного нагрівання металу та його структурних перетворень. Такі напруження та деформації в кінцевому результаті призводять до браку продукції та погіршують експлуатаційні показники зварювальних конструкцій. Впровадження різних методів усунення чи зменшення зварювальних деформацій та напружень є вкрай необхідним для зварювального виробництва.

Якість зварних швів регламентується ДСТУ EN ISO 5817:2022 «Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT; ISO 5817:2014, IDT)» [37].

Методи боротьби із зварювальними напруженнями поділяються на методи попередження та методи усунення.

Є три основні способи зниження рівня та усунення зварювальних напружень та деформацій форми конструкцій :

- зменшення обсягу металу, який буде піддаватись пластичному деформуванню при його нагріванні;
- створення додаткових деформацій з протилежним знаком в зонах термічних пластичних деформацій від нагрівання (виконують при охолодженні або після нього);
- компенсація деформацій за рахунок симетричного розміщення швів.

Способи попередження виникнення зварювальних напружень:

- регулювання часу та температури нагріву металу при зварюванні;
- активне навантаження зварюваних вузлів, елементів конструкції перед та під час зварювання;
- комплексна деформація;

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зварювання із забезпеченням додаткового тепловідведення;
- зварювання із використанням концентрованих джерел нагрівання;
- раціональна конструкція зварних вузлів;
- закріплення деталей, елементів у пристосуваннях із створенням попередніх пластичних деформацій з протилежним до зварювальних знакам;
- використання вірної послідовності складання та зварювання.

Методи усунення зварювальних напружень та деформацій:

- а) механічний вплив зовнішніми силами на зварне з'єднання;
- б) термічний вплив на зварне з'єднання.

Поєднання методів зменшення зварювальних напружень та деформацій дає можливість понизити їх до допустимих рівнів при мінімальному зростанні собівартості виготовлення зварних виробів та конструкцій.

Зниження зварювальних напружень і усунення залишкових деформацій в конструкціях після зварювання є трудомісткою операцією, інколи важко здійсненою. Тому ще при проектуванні слід передбачити заходи по попередженню виникнення та (або) зменшенню залишкових деформацій та напружень [38, 39].

Стосовно до зварювальних з'єднань деталей та вузлів зміювиків первинного пароперегрівача котла ТП-100, які призначені до довгострокової експлуатації в складних умовах термічного навантаження, а також можливого вібраційного, надлишкові зварювальні напруження та деформації можуть привести до зниження надійності і довговічності експлуатації котла.

Зварювання вузлів з деталей та зміювиків за обраним орбітальним способом виконується з використанням закритої зварювальної головки. Зварювання проводиться в автоматичному режимі з оптимальними параметрами в закритому просторі, в камері, заповненій інертним газом, що уповільнює процес охолодження, а отже зменшує залишкові напруження та деформації.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При напівавтоматичному способі з метою зменшення залишкових напружень запропоновано використання зварювального напівавтомата MIG-350P (N316) в режимі імпульсного (MIG/MAG Pulse) напівавтоматичного зварювання, що забезпечить мінімум надлишку тепла під час зварювання, а отже, зменшить надлишкові зварювальні напруження.

Складання, прихоплення та зварювання виконувати в пристосуваннях, які забезпечать фіксацію елементів, що сприятиме збільшенню жорсткості вузлів і зменшенню тимчасових та залишкових деформацій і напружень. Тобто весь процес складання-зварювання зміювиків пароперегрівача виконувати на поворотному кондукторі з обов'язковим закріпленням деталей затискачами.

З метою запобігання утворення холодних тріщин та для одержання пластичного металу шва при напівавтоматичному способі зварюванні потрібно застосовувати попередній підігрів, а також повільне охолодження зварного шва.

За методикою Сеферіан в розділі 1 даної кваліфікаційної роботи була розрахована температура попереднього підігріву. Для сталі 12Х1МФ товщиною 4 мм температура попереднього підігрівання при зварюванні (для запобігання утворення холодних тріщин) складає 240 °С [7].

Так як конструкція габаритна, то підігрів пропонується виконувати газовим пальником і паяльною лампою. Температуру підігріву можна визначати за допомогою термофарби, яку попередньо наносять на метал недалеко від шва.

Використання вказаних заходів дозволить забезпечити точність та відповідність виготовлення пакету первинного пароперегрівача згідно з кресленням та технічним завданням.

Вимірювання напружень, деформацій та переміщень виконуються різними методами за допомогою засобів вимірювань лінійних розмірів та кутів (лінійки, штангенциркулі, а для більш точних - мікрометри, тощо) [39].

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Слід зауважити, що такі вимірювання проводяться після розділення деталі чи виробу на частини. Це є руйнівними методами дослідження. Та зважаючи на значні термічні навантаження пароперегрівача при його експлуатації доцільним буде провести такі руйнівні дослідження для дослідного взірця та внести необхідні корективи у технологічний процес, що буде гарантією якості виробу.

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку

Важливим для майбутньої безпечної експлуатації котлів є контроль якості при їх виготовленні, монтажі, ремонті чи реконструкції.

Складові контролю якості зварних з'єднань:

- 1) перевірка кваліфікації персоналу (атестація);
- 2) перевірка обладнання, інструментів, приладів;
- 3) проведення моніторингу якості матеріалів виробу зварювальних та допоміжних матеріалів;
- 4) постійний оперативний контроль зварювальної технології;
- 5) контроль якості зварних з'єднань неруйнівними методами;
- 6) руйнівний вибірковий контроль якості з'єднань;
- 7) контролювання виправлених дефектів.

Проведенню гідравлічних випробувань підлягають:

- всі трубні, зварні, фасонні, відлиті та інші елементи та арматура, якщо не проводились гідравлічні випробування за місцем їх виготовлення;
- котли та їх елементи у зібраному стані;
- котли, перегрівачі, економайзери після їх виготовлення, монтажу, ремонту або реконструкції.

З огляду на те, що до пакету первинного пароперегрівача пред'являються особливі вимоги по міцності та герметичності швів, основними методами контролю обрано ультразвуковий контроль та контроль герметичності розрахунковим надлишковим тиском.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Проведення ультразвукової дефектоскопії елементів конструкції пароперегрівача не потребує великих матеріальних витрат, особливо з врахуванням можливості її автоматизування.

Для виявлення дефектів пропонується застосовувати сучасний професійний ультразвуковий дефектоскоп УД3701, який оснащений передовими електронними компонентами, має сенсорний дисплей та багато функцій для проведення якісного неруйнівного контролю (рис. 2.11).

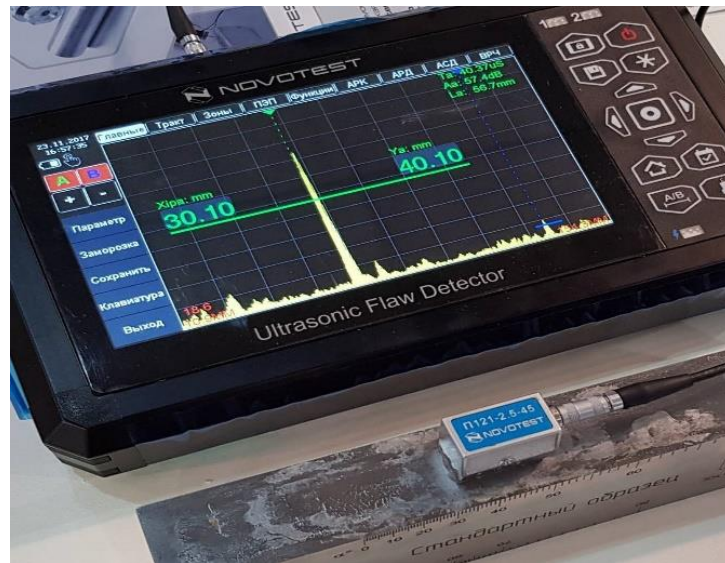


Рисунок 2.11 – Ультразвуковий дефектоскоп УД3701

Технічні можливості дефектоскопу:

- контроль зварних з'єднань, ЗТВ та основного металу;
- пошук тріщин, розшарувань, корозії та інших дефектів;
- оцінка параметрів дефектів з визначенням координат та типу порушень, неоднорідності матеріалу у виробках з металів, композитних матеріалів;
- вимірювання товщини.

Працює дефектоскоп на високих частотах до 10 МГц, що дозволяє виявляти достатньо дрібні дефекти. Автоматична сигналізація дефектів (АСД) дає змогу застосування для автоматичного контролю [40].

Згідно ДНАОП 0.00-1.08-94. “Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів” гідравлічному випробуванню підлягають всі котли, пароперегрівачі, економайзери і їх елементи після виготовлення. Якщо

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

їх випробування окремо від котла є неможливим то допускається проведення гідравлічних випробувань окремих складальних елементів разом із котлом,

Значення пробного тиску $P_{пр}$ при гідравлічному випробуванні для котлів, пароперегрівачів, економайзерів, а також трубопроводів котла приймаються:

- при робочому тиску понад 0,5 МПа —125% робочого тиску,
- але не менше величини робочого тиску + 0,3 МПа.

Гідравлічні випробування виконують водою 5 - 40 °С. Час підйому тиску до пробного і час витримки під тиском - не менше 10 хвилин. Після зняття тиску проводиться огляд всіх зварних, клепаних, вальцьованих та роз'ємних з'єднань. За відсутності видимих залишкових деформацій, тріщин чи ознак розривів, протікань у з'єднаннях і основному металі вважають, що об'єкт пройшов випробування.

При заповненні пароперегрівача водою повітря має вилучатись із внутрішнього простору. Тиск до досягнення пробного потрібно піднімати плавно. Завершивши гідравлічне випробування - забезпечити видалення води.

Гідравлічні випробування котлів та його елементів завжди проводити після термообробки, всіх видів контролю і виправлення виявлених дефектів.

Дефекти зварних з'єднань виправляються таким чином:

1. якщо дефект виявлений біля поверхні металу, то таку ділянку видаляють і знову заварюють;
2. якщо дефект виявлений у глибині, або дефектів багато то в такому випадку видаляють весь зварний шов і повторно проводять зварювання, із змінами у режимі чи технології зварювання.

Недопустимі виявлені дефекти обов'язково мають бути усунені з контролем виправлених ділянок. Допускається виправлення дефектів на одній ділянці зварного з'єднання не більше трьох разів. Не вважаються повторно виправленими з'єднання, котрі розрізаються по зварному шві з видаленням металу шва і ЗТВ. При вирізання дефектного трубного зварного з'єднання з

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступним вварюванням вставки відрізком труби, два нові зварні з'єднання не вважають виправленими [16].

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Компонування складальних та зварювальних установок

Для організації зварювального виробництва потрібне забезпечення відповідним технологічним обладнанням. Складально-зварювальне виробництво має два види обладнання:

- 1) електротехнічне - основне виробниче зварювальне обладнання;
- 2) механічне - допоміжне зварювальне обладнання.

Електротехнічне обладнання виготовляється серійно і в умовах підприємства не потрібно його проектувати та виготовляти. Механічне обладнання у багатьох випадках серійно не виготовляється. Тому в умовах виробництва його проектування та виготовлення відбувається за окремими замовленнями.

Складальне обладнання призначено для встановлення та закріплення в ньому окремих деталей чи вузлів конструкції, яка зварюється, з заданою точністю.

Конструкція складального обладнання залежить від:

- а) форми і розмірів конструкції, що зварюється;
- б) технології зварювання;

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

в) вимог, які пред'явлені до конструкції, що зварюється;

г) виду й масштабу виробництва [41].

Електротехнічне обладнання при організації зварювального виробництва пакету первинного пароперегрівача котла це:

- головка орбітального зварювання закритого типу,
- джерело струму орбітального зварювання,
- зварювальний інвертор напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів,
- труборіз для різання металевих труб,
- фаскознімач трубний,
- трубозгинальний верстат,
- верстат плазмового різання,
- кран-балка опорна електрична 5т,
- ультразвуковий дефектоскоп,
- модуль гідравлічного опресування обладнання електричний.

Механічне обладнання, що застосовується в запроектованому зварювальному виробництві:

- столи-стенди для зварювальних робіт;
- поворотний зварювальний кондуктор;
- упори, струбцини,
- затискачі для фіксування вузлів, деталей при складанні-зварюванні;
- електрокар з боковим завантаженням для переміщення трубного та листового прокату;
- візки для переміщення деталей та вузлів виробу;
- газовий пальник, паяльна лампа для попереднього підігріву при зварюванні;
- засоби охорони праці та техніки безпеки;
- інструмент; виробничий інвентар, тощо.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш ефективний метод проектування універсальних складальних, зварювальних чи складально-зварювальних установок – метод агрегування, тобто компонування електротехнічного і механічного зварювального обладнання.

При зварюванні деталей у вузли на постах №1 і №2 обрано:

- ✓ електротехнічне (основне) зварювальне обладнання: головка орбітального зварювання закритого типу, джерело струму орбітального зварювання;
- ✓ - механічне (допоміжне) обладнання - складально-зварювальний поворотний кондуктор, затискачі, необхідний інструмент та інвентар.

При збиранні-зварюванні складальних одиниць у виріб на посту №3 пропонується до використання:

- електротехнічне зварювальне обладнання: зварювальний інвертор напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів;
- механічне обладнання: зварювальний стіл-стенд; струбцини, затискачі, необхідний інструмент та інвентар.

3.2 Розрахунок окремих елементів пристосувань

Збирання-зварювання складальних одиниць у виріб на посту №3 є достатньо нескладними. Тому для складання-зварювання достатнім є застосування простого типового стола-стенду та стандартних універсальних гвинтових затискачів.

Найбільш складним при виготовленні пакету первинного пароперегрівача є процес складання-зварювання складальних одиниць (Змійовик 1, Змійовик 2) із попередньо виготовлених вузлів. Збирання-зварювання кожного змійовика проводиться із 6 вузлів (рис.2.13). Всі вузли перед зварюванням необхідно чітко позиціювати згідно кресленника та з мінімальними зміщеннями кромки

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

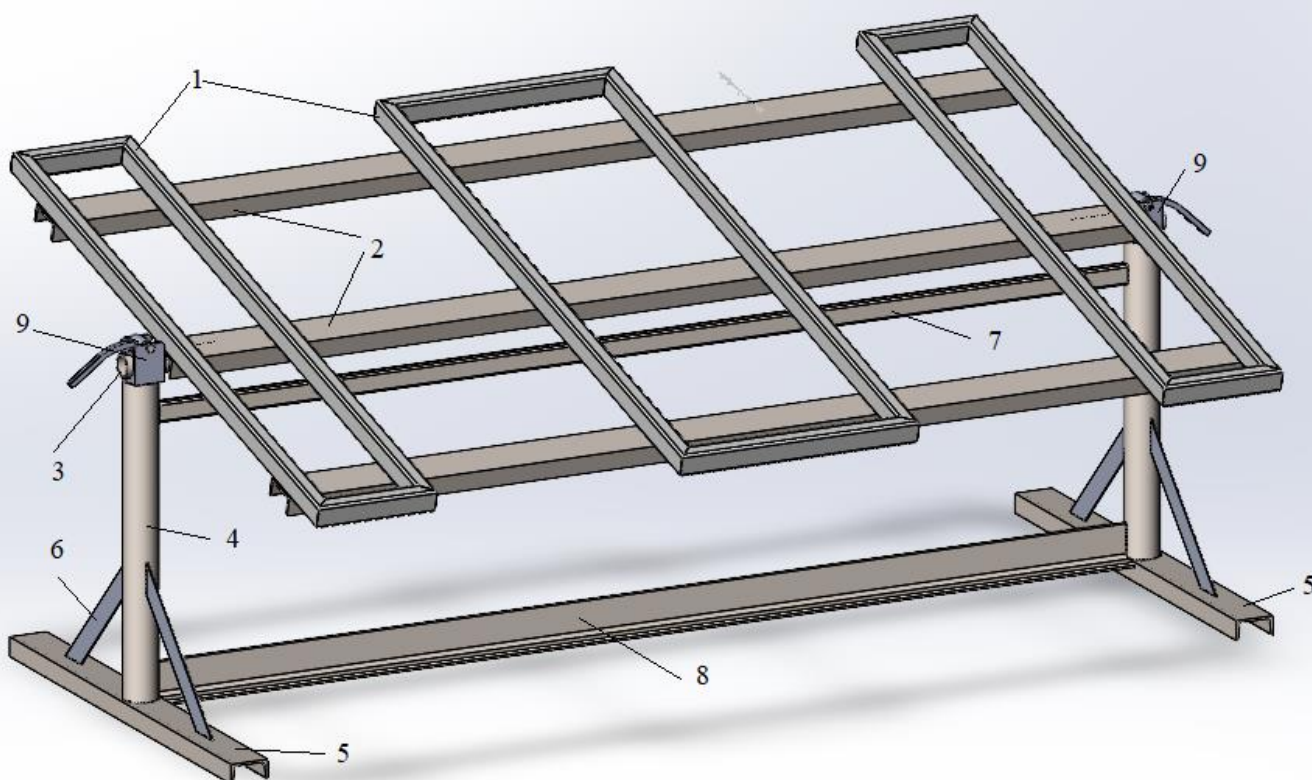
стикових зварних швів та забезпечити найбільш сприятливі умови для зварювання.

Вибір чи розрахунки механічного допоміжного обладнання повинні бути проведені на основі побудови відповідної розрахункової схеми та з врахуванням маси й габаритів виробу, моментів на осях обертання.

Кожен із двох змійовиків та й зібраний пакет пароперегрівача має зовнішні габаритні розміри 3,92 x 2,12 м. Для виготовлення деталей (елементів) Змійовика1 використовується 26,87 м труби 38 x 4 мм. Для виготовлення деталей (елементів) Змійовика2 використовується 26,84 м труби 38 x 4 мм. Знаючи масу погонного метра труби 3.354 кг/м розрахункова маса Змійовика1 складе – 90,1кг,

Змійовика2 – 90кг. Розрахункова маса 16 гребінок та підвіски складає – 7,2 кг. Розрахункова маса всієї зварної конструкції – 187,3 кг, а з врахуванням зварних швів – 190 кг.

В даній роботі з використанням програми SolidWorks розроблено спеціальний поворотний кондуктор для проведення складально-зварювальних робіт при виготовленні змійовиків пароперегрівача (рис. 3.1).



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ

Арк.

58

1 – складальний стіл, 2 – основа стола, 3 – поворотні осі, 4 – стійки,
 5 – опори кондуктора, 6 – косинки, 7 – поперечина верхня,
 8 – поперечина нижня, 9-поворотно-гальмові пристрої

Рисунок 3.1 – Поворотний збирально-зварювальний кондуктор.

Особливістю цього кондуктора в тому, що він розроблений саме для складання-зварювання змійовиків пароперегрівача котла ТП-100 з можливістю встановлення вузлів у зручне положення для зварювання та легкою оперативною зміною цього положення з швидкою фіксацією поворотно-гальмовим механізмом.

Каркаси для подібних пристроїв фактично є багатократно статично невизначеними системами, виконати їх розрахунок є складним, може бути нереальним, тому часто використовують наближені методи розрахунку. Основне правило - жорсткість базової конструкції складального стенда або кондуктора обов'язково повинна бути більшою від жорсткості зварюваного виробу. В інакшому випадку при зварювання за рахунок теплових деформацій буде деформуватись і виріб і сам кондуктор, який повинен відповідати за геометрію виробу, отже, виріб буде бракованим (з залишковими деформаціями) [30].

Запропоновано виготовлення поворотного складально-зварювального кондуктора із стандартного сортаменту конструкційної сталі Ст3 (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Специфікація стандартного сортаменту Ст3 для виготовлення поворотного складально-зварювального кондуктора.

№	Назва деталі	Сортамент	К-ть, м	Маса, кг
1	Збиральний стіл	Труба профільна 40x60x3,2	12,4	54,4
2	Основа стола	Швелер СН 80 x 8	7,8	55,0
3	Поворотні осі	Труба 60,3x5	0,5	3,4
4	Стійки кондуктора	Труба 88,9x5	1,64	17,2
5	Опори кондуктора	Швелер СН 100 x 10	2,8	24,1
6	Косинки	Штаба 60 x 4	2,0	3,8

7	Поперечина верхня	Труба профільна 30x50x2,8	2,61	8,0
8	Поперечина нижня	Тавр Т 100 x 100	2,61	42,8

При зварюванні конструкцій у пристроях сила закріплення заготовок чи вузлів може бути достатньою щоби забезпечити їх фіксацію без зміщень від заданого положення при базуванні. Силу закріплення можна визначити з умови рівноваги силових факторів, які діють на вузли чи деталі.

У поворотних пристроях зварювані вузли повинні фіксуватись силою закріплення, яка унеможливить їх зсув чи випадіння. Наявність силових упорів не є достатньою. Сили притиску обов'язково розраховують.

При збиранні пароперегрівача на кондукторі сила від ваги виробу G направлена паралельно поверхні зсуву. Тоді рівняння рівноваги: [30]

$$Q \cdot \mu_1 + Q \cdot \mu_1 - G = 0 \quad (3.1)$$

де Q_{μ_1} та Q_{μ_2} - сили зчеплення заготовки з притискачами та стендом.

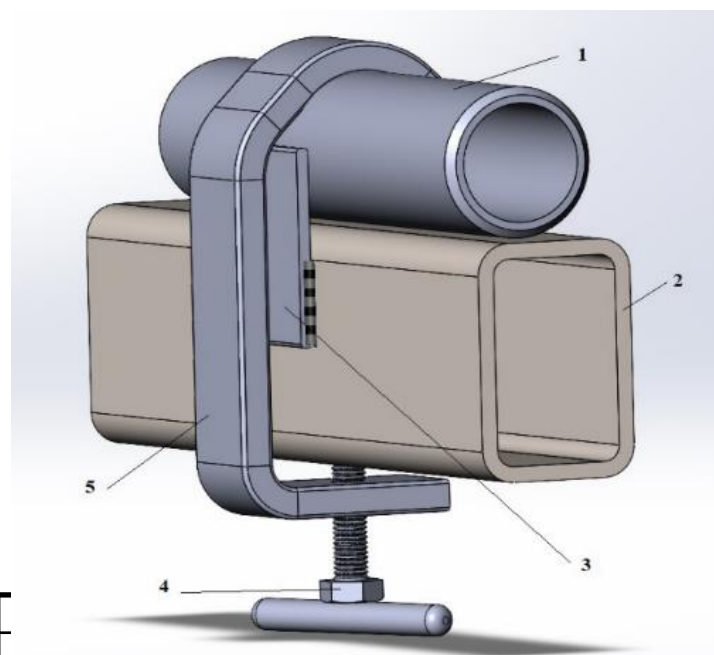
При контакті заготовки з опорами та притискачами пристрою обробленими поверхнями $\mu_1 = \mu_2 = 0,16$.

Маса змійовика 91 кг, вага $G = 910$ Н.

Тоді сила притиску

$$Q = \frac{G}{\mu_1 + \mu_1} = \frac{910}{0,16 + 0,16} = 2,84 \text{ кН} \quad (3.2)$$

Для позиціювання та закріплення вузлів на кондукторі запропоновано використання розроблених знімних гвинтових струбцин та знімних гвинтових



Змн.	Арк.	№ докум.

Підпис | Дата

00 ПЗ

Арк.

60

затискачів (рис. 3.2, 3.3).

1 - вузол зміювика, 2 - профільна труба стола кондуктора,
3 – упор для базування вузла, 4 – гвинт затискача, 5 – струбцина-затискач
Рисунок 3.2 – Струбцина для закріплення вузлів при зварюванні
зміювика.

Конструкція струбцини дуже проста, виготовляється із штаби 25x8 мм.

Струбциною затискаються лиш вузли при збірці зміювика, а не вся складальна одиниця, причому на вузол припадатиме мінімум 2 затискачі, то ж приймаємо зусилля затиску $Q=240$ Н.

Розраховуємо внутрішній діаметр гвинта за формулою [30]

$$d_{\text{вн}} = c \cdot \sqrt{\frac{Q}{\sigma_p}} = 1,4 \sqrt{\frac{240}{60}} = 2,8 \text{ мм} \quad (3.3)$$

де $C=1,4$ - коефіцієнт для основної метричної різьби; Q -сила закріплення заготовки, Н; σ_p -допускні напруження розтягу гвинта, (приймаємо 60 МПа).

У пристроях застосовують різьби від М8 до М42, тому приймаємо стандартну різьбу М8 x1,5.

Сила на рукоятці гвинта для створення притиску розраховується за формулою [30]

$$P = Q \frac{r_{\text{cp}}}{l} \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi_1) \quad (3.4)$$

де Q - сила притиску деталей гвинтом, Н; P - сила на рукоятці, Н;

$l=50$ – прийнята довжина рукоятки, мм;

$r_{\text{cp}}=0,45d=0,45 \cdot 8 = 3,6$ - середній радіус різьби, мм;

S - крок різьби, м; α - кут підйому різьби

$$\text{tg} \alpha = \frac{S}{2\pi r_{\text{cp}}} = \frac{1,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,6} = 0,066 \quad \text{звідки } \alpha = 3,8^\circ$$

φ_1 - кут тертя в різьбі для метричної різьби $\varphi_1 = 6,7^\circ$

Умова самогальмування гвинта $\alpha \leq \varphi_1$ виконується

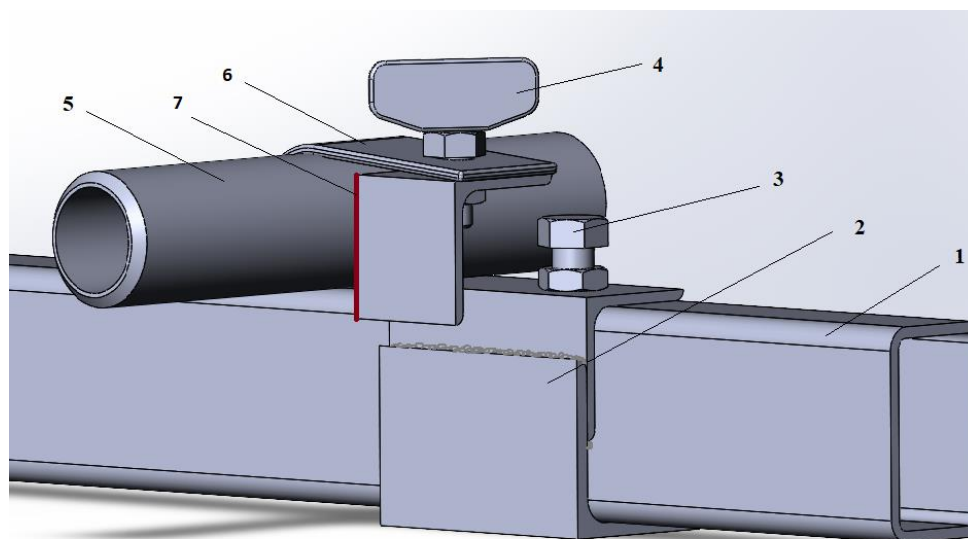
Сила на рукоятці гвинта $P = 240 \frac{3,6}{50} \cdot \text{tg}(3,8 + 6,7) = 32$ Н

Як видно з розрахунків зусилля на рукоятці струбцини цілком адекватні для виконання затискання рукою.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблений спеціальний пересувний знімний затискач, який виконує функції базування та закріплення елементів при збиранні змійовиків пароперегрівача. Його особливість в тому, що він швидко та легко встановлюється на профільну трубу стола кондуктора, може пересуватись та фіксуватись у потрібному місці, після чого дає змогу базувати деталь чи вузол по базуючій грані власного упору з послідуочим затисканням.

Виготовляється знімний затискач зі стандартного сортаменту: кутник, штаба, болти, гайки.



1-профільна труба стола кондуктора, 2-корпус затискача, 3-гвинт фіксуючий,
4-гвинт затискача, 5- вузол змійовика, 6-затискна поворотна пластина,
7- грань базувальної поверхні

Рисунок 3.3 – Пересувний знімний затискач для базування та закріплення вузлів при зварюванні змійовика первинного пароперегрівача.

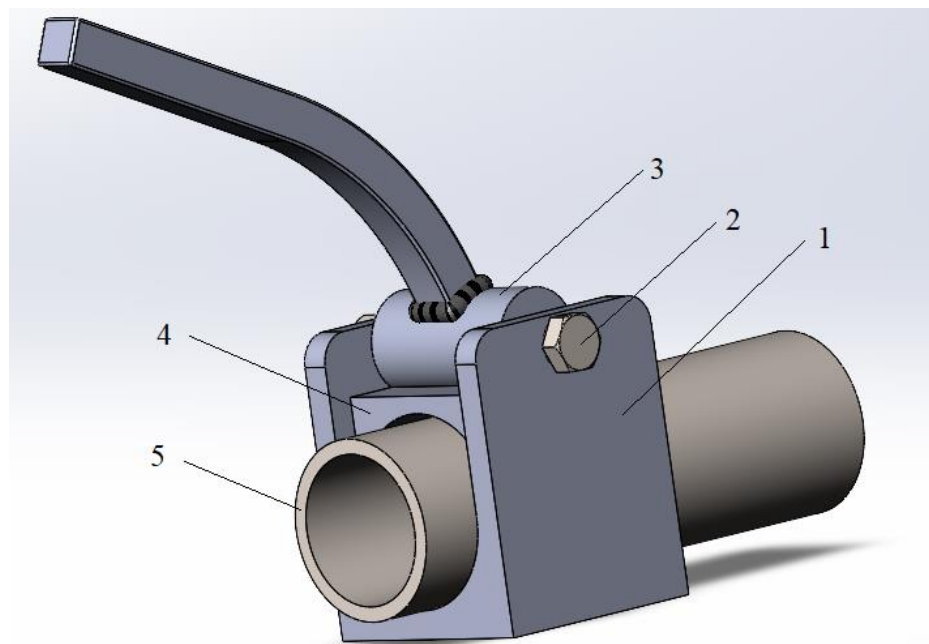
Розрахунок зусилля затискання такий же як і в струбцини-затискача. З метою зменшення точкового тиску на стіл кондуктора запроектовано фіксуючий гвинт М12. В якості затискного гвинта вибрано М10 із зручною плоскою рукояткою.

Для повороту та фіксування у потрібному положенні стола кондуктора розроблено поворотно-гальмовий механізм з фіксуванням положення ексцентриком (рис. 3.4).

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Головною перевагою розробленого ексцентрикового механізму є його швидкодія. Фіксація осі стола кондуктора здійснюється одним поворотом рукоятки ексцентрика.

При провертанні ексцентрик переміщає гальмівну втулку, яка зміщується і затискає поворотну вісь між собою і бобишкою. Цей вузол є розбірним, гальмівна втулка утримується за рахунок циліндричної проточки, з якою контактує ексцентрик.



1-бобишка, 2-вісь ексцентрика, 3-ексцентрик з рукояткою,
4-гальмівна втулка, 5-вісь стола кондуктора

Рисунок 3.4 – Поворотний фіксуючий механізм кондуктора.

Розрахунок ексцентрикового механізму [30].

Розрахункова схема зображена на рис 3.5.

Конструктивно приймаємо:

- ширину робочої частини ексцентрика $B=60$ мм.
- діаметр ексцентрика $D=34$ мм
- довжина рукоятки $l = 200$ мм.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

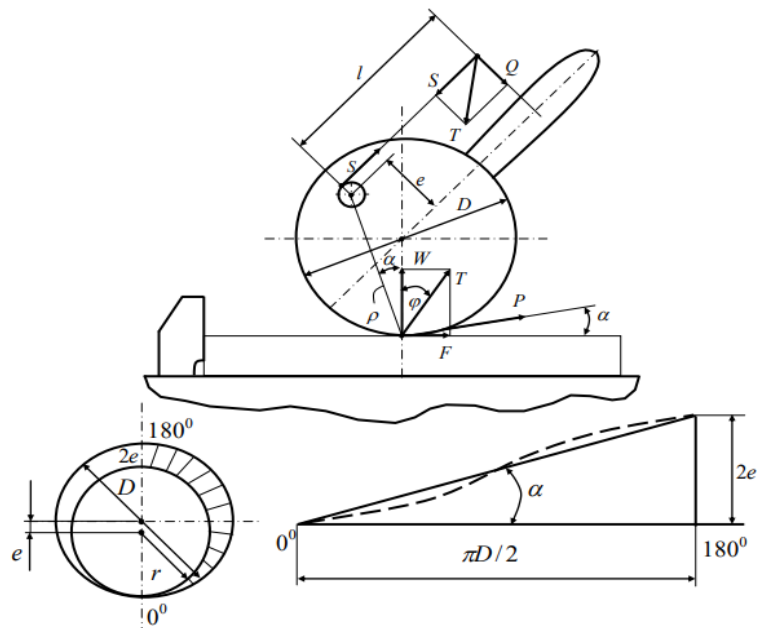


Рис. 3.5 - Розрахункова схема ексцентрикового притискача

Визначимо ексцентриситет з умови самогальмування

$$\frac{2e}{D} \leq f \quad (3.5)$$

Коефіцієнт тертя ковзання (сталь-сталь) $f=0.15$

$$\text{Ексцентриситет } e \leq f \cdot D/2 = 0.15 \cdot \frac{200}{2} = 15 \text{ мм}$$

Враховуючи, що потрібно тільки зацемляти чи вивільняти вісь приймемо $e=2\text{мм}$.

Кут підймання α кривої ексцентрика (рис.3.5) величина змінна і визначається

$$\text{tg} \alpha = \frac{2e}{\pi D/2} = \frac{2 \cdot 2}{3.14 \cdot 34/2} = 0,075 \quad (3.6)$$

звідки $\alpha=4.3^\circ$

Силу дії ексцентрика на гальмівну втулку визначаємо за формулою:

$$W = \frac{Q \cdot l}{\rho [\text{tg}(\alpha + \varphi) + \text{tg} \varphi_1]} \quad (3.7)$$

де Q - сила прикладена до рукоятки ексцентрика, приймаємо $Q = 120 \text{ Н}$;

l -плече прикладення сили, приймаємо $l = 200 \text{ мм}$

ρ - відстань від осі обертання ексцентрика до точки його дотику з гальмівною втулкою, замір з ескізу SolidWorks $\rho = 18$ мм;

φ - кут тертя між ексцентриком та заготовкою; φ_1 - кут тертя в цапфі ексцентрика; $\varphi = \varphi_1 = 5.7^\circ$

α - кут підйому кривої ексцентрика.

Тоді сила притиску
$$W = \frac{120 \cdot 0,2}{0,018[\operatorname{tg}(4,3+5,7)+\operatorname{tg}5,7]} = 7842 \text{ Н}$$

Сила тертя
$$F = \mu \cdot W \quad (3.8)$$

коефіцієнт тертя сталь по сталі (необроблена) $\mu=0,25$

$$F_{\text{тр}} = 0,25 \cdot 7842 = 1960 \text{ Н}$$

Гальмівний момент на осі кондуктора:

$$M_{\Gamma} = F_{\text{тр}} \cdot \frac{d_o}{2} \quad (3.9)$$

діаметр осі кондуктора $d_o = 60$ мм = 0,06 м

$$M_{\Gamma} = 1960 \cdot \frac{0,06}{2} = 59 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сумарний момент гальмівний затиску при задіюванні 2-х запроєктованих гальмівних пристроїв:

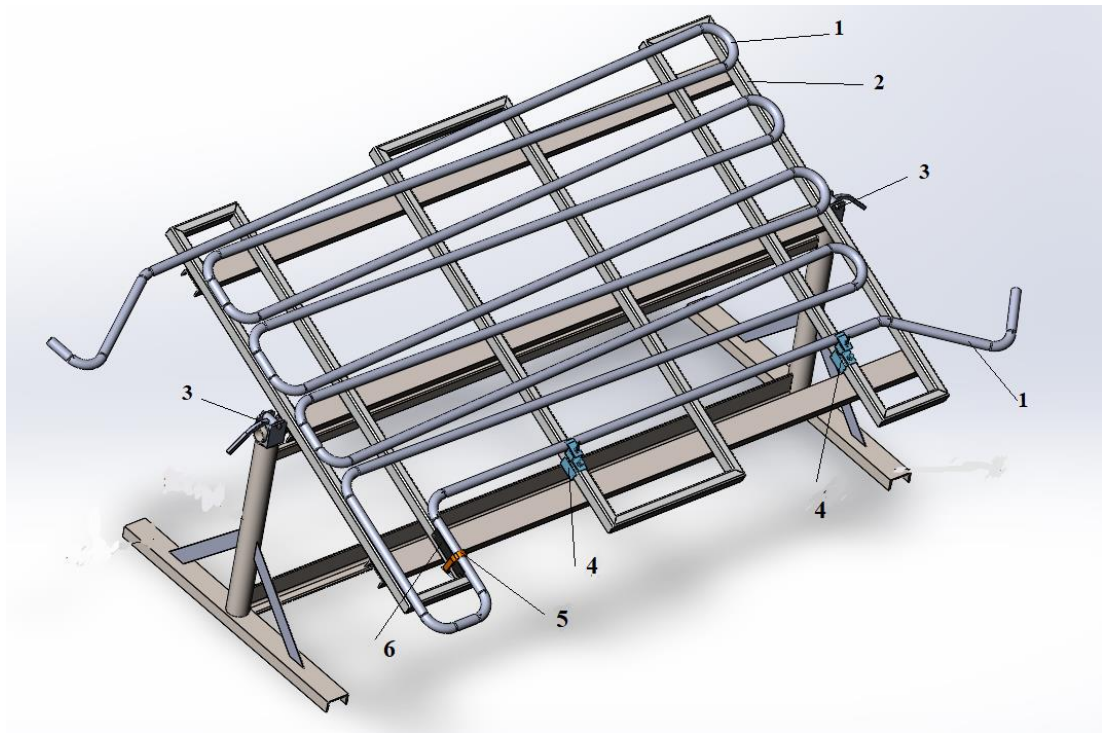
$$M_{\text{sum}} = 2 \cdot M_{\Gamma} = 118 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отже проведені розрахунки окремих елементів розроблених механічних пристосувань для складання-зварювання пакету первинного пароперегрівача підтверджують їх відповідність при застосуванні.

Всі допоміжні механічні пристосування прості у виробництві та використанні, виготовляються із стандартного профільного сортаменту (швелер, штаби, кутники, тощо) та стандартних кріпильних елементів.

Розміщення вузлів виробу, затискачів на столі спроектованого кондуктора при складанні-зварюванні змійовика пароперегрівача зображено на рис.3.6.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1-вузли змійовика, 2-стіл кондуктора, 3-поворотно-гальмові механізми,
4 - затискачі пересувні, 5 - струбциновий затискач, 6 -упор

Рисунок 3.6 – Складання-зварювання змійовика первинного пароперегрівача на зварювальному кондукторі.

Кресленики поворотного складально-зварювального кондуктора та пристосувань наведені в Додатках В, Г.

3.3 Розроблення плану цеху

Важливим етапом при проектуванні складального-зварювального виробництва є компонування виробничого цеху. Процес компонування цеху це розрахунок та взаємне розміщення площ виробничих та допоміжних діляниць, проходів, магістральних проїздів, а також службово-побутових приміщень на площах цеху. Під плануванням цеху розуміється взаємне розміщення необхідного для заданого виробництва технологічного і допоміжного обладнання, засобів виробництва та пристроїв на площі цеху.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Планування цеху та розміщення обладнання є одним із відповідальних етапів проектування виробництва. Від вірного вибору типу приміщення, його розмірів, розміщення основного і допоміжного виробництва, обладнання залежать в цілому техніко-економічні показники виробництва.

При здійсненні планування та компонуванні виробничого цеху необхідно врахувати наступні основні вимоги:

- простий плану;
- можливість використання модульної уніфікованої сітки;
- можливість розміщення під загальним покриттям, як найбільшої кількості виробничих, складських, підсобних і допоміжних приміщень.

На плані компоновки цеху потрібно вказувати: основні розміри будівлі, межі діляниць, розміщення допоміжних служб цеху, основні проходи і проїзди, входи залізничних колій і т.п. Основним завданням вибору компоновальної схеми цеху є забезпечення оптимального (самого короткого) шляху основних технологічних потоків [41, 42].

Основою будь-якого виробництва є технологічний процес. Він є частиною всього виробничого процесу та включає в себе послідовну зміну форми, розмірів, зовнішнього вигляду, властивостей об'єкту виробництва та контроль виготовлення. З метою забезпечення безперебійного виконання технологічного процесу у механоскладальному виробництві слугують допоміжні процеси.

Технологічний процес складально-зварювального виробництва виготовлення пакету первинного пароперегрівача наведений у Додатку Г.

Вихідними даними для розроблення компоновальної схеми цеху слугують:

- перелік основних діляниць цеху;
- допоміжні служби цеху, їх структури;
- номенклатура та кількість виробничого та допоміжного обладнання;

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– дані про площі цеху для виробничих, допоміжних й службово-побутових потреб;

– основні розміри та інші параметри будівлі цеху.

Перегородок між виробничими дільницями, як правило, не передбачають. Межами дільниць будуть поздовжні і поперечні проїзди. Між проїздами відстань не нормують, вона задається умовами раціонального розміщення технологічного обладнання.

При компонуванні цеху потрібно враховувати прийнятну форму організації праці механоскладального виробництва. Вірно прийнята загальна компоновка цеху з обраними варіантами складських та транспортних систем, технічного і ремонтного обслуговування, контролю якості виробів, інструментального забезпечення, заходів з охорони праці дозволить точно спланувати окремі дільниці складально-зварювального цеху.

Розрахунок розмірів цеху.

При проведенні попереднього розрахунку виробничої площі застосуємо методику питомої площі, тобто площі, яка припадає на один верстат.

Для розрахунку виробничої площі прийняті норми питомих площ на один верстат, які діляться на 4 групи в залежності від маси:

- дрібні верстати ($m < 1\text{т}$) $A = 10 \text{ м}^2$;
- середні верстати ($1\text{т} < m < 5\text{т}$) $B = 20 \text{ м}^2$;
- великі ($5\text{т} < m < 15\text{т}$) $V = 30 \text{ м}^2$;
- великі ($m > 15\text{т}$) $\Gamma = 30 \text{ м}^2$;

Виробнича площа цеху:

$$S_B = 10A + 20B + 30V + 50\Gamma \quad (3.10)$$

При малосерійному виробництві для виготовлення пакету первинного пароперегрівача за запроєктованою технологією на дільницях механічної обробки, складально-зварювальній та контролю застосовується обладнання тільки групи А.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$A = 12$ (кондуктор -2шт, зварювальний стенд -1шт, комплект обладнання орбітального зварювання -2шт, зварювальний напівавтомат -1шт, верстат плазмового різання -1шт, верстат трубозгинний-1, обладнання та стенд гідравлічного випробовування -1шт, стенд УЗС-1шт, слюсарний стіл -2шт).

$$S_{\text{в}} = 10A = 10 \cdot 12 = 120 \text{ м}^2.$$

Площа заготівельного відділення:

$$S_{\text{загот}} = 0,1S_{\text{в}} + 20 = 0,1 \cdot 120 + 20 = 32 \text{ м}^2 \quad (3.11)$$

Площа складу готової продукції:

$$S_{\text{скл.гот}} = 0,1 S_{\text{в}} = 0,1 \cdot 120 = 12 \text{ м}^2 \quad (3.12)$$

Площа для контролера $S_{\text{к}} = 5 \text{ м}^2$

Допоміжні площі:

$$S_{\text{доп}} = S_{\text{скл.гот}} + S_{\text{к}} = 12 + 5 = 17 \text{ м}^2 \quad (3.13)$$

Площу складу трубного та листового прокату, враховуючи довжину та ширину стелажів $6 \times 1,5\text{м}$ та проходи приймаємо: $S_{\text{скл.мат}} = 8 \times 6 = 48 \text{ м}^2$.

Орієнтовна площа цеху:

$$S = S_{\text{в}} + S_{\text{загот}} + S_{\text{доп}} + S_{\text{скл.мат}} \quad (3.14)$$

$$S = 120 + 32 + 17 + 48 = 217 \text{ м}^2$$

Загальна площа цеху з врахуванням магістрального проїзду:

$$S_{\text{цех}} = 1,25 S = 1,25 \cdot 209 = 272 \text{ м}^2 \quad (3.15)$$

Прийmemo поширену ширину прогону цеху $L=12 \text{ м}$ з кроком внутрішніх колон $t = 8\text{м}$, загальною довжиною $3 t = 24 \text{ м}$. При таких розмірах загальна площа цеху складе $12 \times 24 = 288 \text{ м}^2$.

Розміри поперечного перерізу колон $0,4 \times 0,6 \text{ м}$, висотою $h = 8.4 \text{ м}$.

Ворота – розгорнуті шириною $3,6\text{м}$, висотою 4 м . [42].

При плануванні розміщення робочих позицій, обладнання виконують в обраному масштабі. Планування розміщення обладнання для малих і середніх цехів виконується в масштабі $1:100$.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Планування розміщення обладнання будемо проводити способом темплет. Темплети – це спрощені, масштабні габаритні розміри обладнання, причому в габарит входять крайні положення рухомих частин.

Ширина основних проходів у цеху не менш як 2,5м; відстань між частинами апаратів, що виступають 0,8 – 1,0 м; а в місцях, де не передбачено рух робітників 0,5 м.

Взаємне розміщення обладнання зумовлюється спрямуванням технологічного потоку.

Необхідно передбачати протипожежні заходи:

- зручне та доступне розміщення протипожежного інвентарю;
- вільні проходи для евакуації працюючих, а також проїзди для пожежних машин;
- відкривання всіх дверей повинне бути тільки назовні.

Складання плану цеху потрібно виконувати з врахуванням розміщення енергетичних та санітарно-технічних служб. Розміщення комунікацій (водопроводи, технологічні трубопроводи, каналізація, водостоки, силова підводка до верстатів, система освітлення, система подачі стисненого повітря, опалювальні прилади, видалення відходів виробництва) проектується таким чином, щоб ці комунікації не були в зоні роботи транспорту та не становили загрози для працівників [41].

Для компоновання та планування обладнання запроектованого виробництва застосовано САD-систему SolidWorks.

Розроблений план цеху складально-зварювального виробництва пакету первинного пароперегрівача котла ТП-100 наведений в Додатку Д.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Завданням системи охорони праці на виробництві є створення здорових та безпечних умов праці, зведення до мінімуму вірогідності травмувань та виникнення професійних захворювань, забезпечення комфортних умов праці при максимальній продуктивності праці [45].

4.1 Потенційні небезпеки та шкідливі фактори проектного зварювального виробництва первинного пероперегрівача

Технологічні процеси та виконувані роботи на будь-якому виробництві несуть потенційні небезпеки здоров'ю та життю людини. Кожне виробництво характеризується певними небезпечними та шкідливими факторами, які можуть нести загрозу для виробничого персоналу.

Основним технологічним процесом виготовлення пакету первинного пароперегрівача є електродугове зварювання. Не зважаючи на постійне удосконалення дугового зварювання та зварювальних матеріалів, виконання таких робіт пов'язане з впливом на людину ряду шкідливих небезпечних факторів, котрі можуть призводити до професійних захворювань чи нещасних випадків працюючого персоналу [46, 47].

Технологія виготовлення пакету первинного пароперегрівача передбачає процеси та використання обладнання, котрі можуть нести потенційні небезпеки для працівників:

- транспортування матеріалів, заготовок, вузлів, виробів, тощо;
- виконання робіт з механічної різки та обробки металу;
- плазмове різання металу;

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- автоматичне електродугове орбітальне зварювання;
- напівавтоматичне дугове зварювання в середовищі захисного газу;
- проведення гідравлічних випробувань надлишковим тиском.

Проведемо аналіз та дамо характеристики можливих факторів впливів та небезпек проектного зварювального виробництва (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Шкідливі та потенційно небезпечні фактори впливу на людину складально-зварювального виробництва пароперегрівача.

№	Потенційно небезпечні процеси/обладнання	Можливі небезпечні та шкідливі фактори впливу на людину
1.	Механічна обробка металу/ верстат трубозгинний, труборіз, фаскознімач.	Механічний травматизм кінцівок, обличчя. Враження електричним струмом. Шумовий вплив.
2.	Плазмове різання металу/ плазморіз, кабель живлення.	Опіки від іскор, бризк розплавленого металу. Ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання. Випари шкідливих речовин. Враження електричним струмом. Пожежна небезпека.
3.	Автоматичне орбітальне зварювання/ джерела живлення, зварювальні головки, кабелі, балони з газом під тиском.	Враження електричним струмом. Ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання. Надлишковий тиск в балонах зі зварювальним газом. Випари шкідливих речовин. Травмування механічними пристосуваннями. Пожежна небезпека.
4.	Напівавтоматичне MIG зварювання / зварювальні апарати, кабелі, балони з газом під тиском.	Опіки від іскор, бризк розплавленого металу. Ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання. Випари шкідливих речовин. Враження електричним струмом. Надлишковий тиск в балонах зі зварювальним газом. Механічні травмування. Пожежна небезпека.
5.	Гідравлічні випробування/ електричне нагнітальне обладнання.	Враження електричним струмом. Підвищена вологість. Надлишковий тиск в обладнанні та виробках.
6.	Розвантаження матеріалів, переміщення вузлів /кран-балка, електрокар.	Травматизм від рухомих механізмів, матеріалів, виробів. Враження електричним струмом.
7.	Загальновиробничі фактори.	Невідповідні кліматичні умови виробничого середовища. Недостатня освітленість приміщення.

Після проведеного аналізу можна зробити висновки, що зварювальні роботи є основними у цьому виробництві і відносяться до небезпечних робіт через вплив високих температур, дії електричного струму, випромінювання та виділення токсичних речовин. Основні фактори ризику при виконанні робіт для зварювальника:

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- враження електричним струмом, особливо при роботі з несправним зварювальним обладнанням або у вологих умовах,
- опіки від розплавленого металу, іскор або гарячих деталей,
- можливе отруєння шкідливими газами та парами, які утворюються при зварюванні,
- імовірні захворювання дихальної системи через вдихання пилу та диму,
- займання горючих матеріалів від іскор або розпеченого металу,
- пошкодження очей (зварювальна «катаракта») через ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання,
- опіки шкіри при тривалому впливі ультрафіолетового випромінювання без належного захисту,
- травми від падіння деталей, інструментів або конструкцій,
- порізи та удари при роботі з металевими заготовками.
- перевантаження м'язів і суглобів при виконанні робіт у незручних позах.

4.2 Заходи по зменшенню впливу на людину та зниженню імовірності виникнення небезпечних факторів для запроектованого цеху

1. Всі технологічні операції запроектованого виробництва робочий персонал повинен виконувати виключно з використанням відповідних засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), передбачених НПАОП 0.00-7.17-18 «Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці» [48].

Зварювальник обов'язково повинен застосовувати: спецодяг, спецвзуття, рукавиці, зварювальну маску та , за необхідності, інші засоби захисту.

При виконанні робіт з навантаження-розвантаження, переміщення матеріалів, заготовок, вузлів та інших вантажів обов'язкове застосування працюючими захисних касок.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Регулярно перевіряти справність електропроводки, силових кабелів та кабелів живлення апаратів, зварювального та іншого допоміжного обладнання, інструментів.

Кабелі живлення зварювального обладнання повинні бути в захисних кожухах. Все електротехнічне обладнання зварювального та допоміжного виробництва повинне бути надійно заземленим згідно Правил влаштування електроустановок (ПУЕ).

3. Дільниці складання-зварювання повинні добре провітрюватись. При виконанні зварювальних робіт обов'язкове використання витяжної вентиляції.

4. Дотримуватись правил експлуатації обладнання, устаткування, пристроїв, інструментів. Використовувати їх тільки за призначенням.

5. Дотримуватись правил безпеки при роботі з легкозаймистими та вибухонебезпечними матеріалами.

6. Дотримуватись правил безпеки при експлуатації посудин, що працюють під тиском. Балони з стисненими газами переміщати виключно на спеціальних візках.

7. Забезпечити нормативні умови мікроклімату та освітленості на робочих місцях. Постійно контролювати температуру, вологість в приміщенні та освітленість робочих місць, проходів.

8. Періодично проводити навчання та інструктажі по правилах безпечного ведення робіт з обов'язковою перевіркою знань.

9. Призначити осіб відповідальних за утримання та експлуатацію електрообладнання, посудин, що працюють під тиском, вантажопідіймального обладнання.

10. Постійний моніторинг виконання вимог щодо безпечного ведення робіт службою охорони праці.

При організації даного зварювального виробництва практично все виробниче обладнання є електричним, котре живиться від мережі змінного струму 220 В або 380 В. То ж враження людини електричним струмом є

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

головним фактором небезпеки. Враження електрострумом може відбутися через безпосередній контакт людини з струмоведучими частинами або через корпус несправного електрообладнання.

Унеможливлення враження від випадкового дотику людини до струмоведучих частин електрообладнання досягається шляхом надійної ізоляції провідників струму.

З метою недопущення вражень струмом через несправне обладнання і наявності напруги на його конструктивних частинах, надійним є спосіб захисного заземлення. Захисне заземлення з дієвим, основним заходом захисту людини при експлуатації електроустановок [49, 50].

Створення безпечних умов роботи є першочерговим завданням організації будь-яких робіт, процесів, виробництва і є основною передумовою зниження виробничого травматизму і професійних захворювань працюючих.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Зважаючи на теперішні геополітичні обставини, постійне вдосконалення технології та процесів зварювання та їх застосування є стратегічно важливим для економіки та обороноздатності України.

В даній кваліфікаційній роботі ставилось завдання розроблення технологічного процесу зварювального виробництва виготовлення пакету первинного пароперегрівача котла ТП-100.

Для досягнення мети роботи проведено аналіз конструкції зварного виробу, основних та зварювальних матеріалів; вибрані зварювальні матеріали; вибрані способи зварювання виробу, основний - автоматизоване орбітальне зварювання, що забезпечує відмінну, практично 100% якість зварних швів; виконані розрахунки режимів зварювання; розроблено технологію, а саме карту технологічного процесу складання-зварювання пакету первинного пароперегрівача котла ТП-100; підібрано необхідне основне зварювальне та допоміжне обладнання; спроектовано спеціальний складально-зварювальний поворотний кондуктор для збирання вузлів з деталей та складальних одиниць з вузлів, а також допоміжні пристосування, які забезпечують необхідне позиціонування та швидке закріплення і вивільнення деталей на кондукторі; зроблено аналіз шкідливих факторів впливу та можливих небезпек для персоналу на розглянутому зварювальному виробництві; розроблені заходи по їх усуненню (зменшенню впливу на людину).

Зварювання є надзвичайно ефективним технологічним процесом. Зварювальні з'єднання є міцними, довговічними, які можуть експлуатуватись за екстремальних умов та при значних навантаженнях.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Матвієнків О.М. Виробництво зварних конструкцій : курсове проектування./ Матвієнків О.М., Біщак Р.Т. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. - 25 с.: іл.
2. Степанов, Є. С. Корженко, Л. А. Боднар. Котельні установки промислових підприємств : навчальний посібник – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 120 с.
3. Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник / Г.О.Кривов, К.О.Зворикін. - К.: КВІЦ, 2012. - 896 с.
4. Бреславский Д.В. Марочник сталей и сплавів [Електронний ресурс] – <http://www.splav.kharkov.com>.
5. ТУ 14-3-460:2009/ТУ У 27.2-05757883-207:2009 Труби сталеві безшовні для парових котлів та трубопроводів. Технічні умови.
6. ДСТУ 3761.2-98 Зварювання та споріднені процеси. Частина 2. Процеси зварювання та паяння. Терміни та визначення.
7. Махненко, В.І. Напруження та деформації при зварюванні. Навчальний посібник. [Текст] / В.І. Махненко, Г.В. Єрмолаєв, В.В. Квасницький, А.В. Лабарткава. – Миколаїв: НУК, 2011.
8. ДСТУ 12344:2005 Сталі леговані та високолеговані. Методи визначення вуглецю.
9. ДСТУ EN 1708-1:2015 Зварювання. Зварні з'єднання сталевих елементів. Зварні з'єднання конструкційних елементів, що працюють під тиском.
10. ДСТУ EN 1779:2015 Неруйнівний контроль. Контроль герметичності. Критерії вибору методу і способу контролю.
11. Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника – К.: Техніка, 2002. – 336с.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

12. ДСТУ 8540:2015 Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент.
13. ДСТУ EN ISO 9013:2019 Газове різання. Класифікація. Вимоги до геометричних розмірів та якості (EN ISO 9013:2017, IDT; ISO 9013:2017, IDT).
14. ДСТУ 8939:2019 Труби сталеві безшовні холоднодеформовані. Технічні умови.
15. ДСТУ 2413-94 Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення.
16. ДНАОП 0.00-1.08-94. “Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів”.
17. ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 1. Зварювання плавленням (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT).
18. НПАОП 0.00-1.81-18 Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском.
19. Гуменюк І.В. Технологія електродугового зварювання: Підручник /І.В. Гуменюк, О.Ф. Іваськів, О.В. Гуменюк. – К: Грамота, 2006, 512 с.
20. Костін О.М. Зварювальні матеріали: Навч. посібник. – Миколаїв: НУК, 2004. – 225 с.
21. ДСТУ EN ISO 14175:2014 Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання (EN ISO 14175:2008, IDT).
22. ДСТУ EN ISO 14343:2019 Зварювальні матеріали. Дроти та стрічки електродні, дроти та прутки для дугового зварювання нержавіжких і жароміцних сталей. Класифікація (EN ISO 14343:2017, IDT; ISO 14343:2017, IDT).
23. Проект “Довідник зварника” - <https://zvarka.info/pro-sajt/>
24. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з’єднань. Частина 1. Ручне

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

- дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, TIG - зварювання та променеве зварювання сталей.
25. ДСТУ ISO 4063:2014 Зварювання та споріднені процеси. Перелік й умовні позначки процесів.
 26. Гуменюк І.В., Іваськів О.Ф. Обладнання і технологія електродугового зварювання: навч. посіб.-К.: Грамота, 2006.-512с.
 27. Серенко А.Н. Розрахунок зварних з'єднань і конструкцій / А.Н. Серенко, М.Н. Крумбольт, К.В. Багрянский. – К.: Вища школа, 1977. – 336 с.
 28. Orbitalum Tools GmbH - <https://www.orbitalum.com/de/index.html>
 29. JASIC UKRAINE – <https://jasic.ua/product/mig-350p-n316-36/>
 30. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві/ 2 видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник.-К.:Арістей, 2006.- 272с.
 31. Козяр М. М. Комп'ютерна графіка: SolidWorks : навч. посіб. / М. М. Козяр, Ю. В. Фещук, О. В. Парфенюк. – Херсон : Олді-плюс, 2018. – 252с.
 32. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.
 33. Компанія SLAVLES- <https://slavles.in.ua/trubozghynalny-verstat-stiler-jtb-50>
 34. ТОВ "КВРС" - <https://kvrc.in.ua/ua/p37046263-truborez-exact-220e.html>
 35. ТОВ "ЗВАРЮВАЛЬНІ-ТЕХНОЛОГІЇ" - <https://svartech.com.ua/ua/p1519224677-ruchnoj-faskosnimatel-dlya.html>
 36. Компанія Tesla Weld - <https://ua.teslaweld.com/stanok-plazmennoy-rezki-tesla-weld-cnc-cut-dp-1040-x-2100>
 37. ДСТУ EN ISO 5817:2022 Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT; ISO 5817:2014, IDT).
 38. УДК 621.326 Яремчук В. - ст. гр. МЗ-31.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

39. Біщак, Р. Т. Напруги та деформації при зварюванні [Електронний ресурс]: практикум / Р. Т. Біщак. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 44 с.
40. NOVOTEST.UA - <https://novotest.ua/ua/katalog-priborov/ultrazvukovoj-defektoskop-ud3701.html>.
41. Складально-зварювальне оснащення. Методичні вказівки до практичних та лабораторних занять для студентів спеціальностей «Технології та устаткування зварювання. /Укл.: Березін Л.Я.-Чернігів: ЧНТУ,2015 - 80с.
42. Олійник, С. Ю. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання / С. Ю. Олійник. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 260 с.
43. Борушак Л. О., Панчук В. Г., Роп'як Л. Я., Пітулей Л. Д. Основи проектування механоскладальних дільниць і цехів: навчальний посібник. ІваноФранківськ: ІФНТУНГ, 2018. 194 с.
44. Сидоренко В.К. Креслення / Сидоренко В.К. – К. : Львів, Оріяна-нова, 2004. – 356 с.
45. Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ Про охорону праці.
46. Левченко О. Г., Полукаров О. І. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. - К.: Основа, 2014. - 352 с.
47. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник для практичних робіт з охорони праці для студентів зварювальних спеціальностей/ Укл. О. Г. Левченко. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2018. – 181 с.
48. НПАОП 0.00-7.17-18 Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці.
49. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання).

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

50. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

51. Шлапак Л.С., Панчук М.В., Матвієнків О.М., Біщак Р.Т, Семяник І.М. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра /Л. С. Шлапак – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021– 61 с.

52. СОУ 02070855–14–2011 «КУРСОВИЙ І ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТИ (РОБОТИ) МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА. Вимоги до змісту та оформлення». Затверджено і введено в дію наказом ректора Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) №29 від 01.04.2011 р.

ДОДАТКИ

Додаток А – Креслення зварної конструкції.

Додаток Б – Технологічний процес виготовлення конструкції.

Додаток В – Складально-зварювальне обладнання.

Додаток Г – Складально-зварювальні пристосування

Додаток Д – План складально-зварювального цеху.

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КРБ.3Т – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

