

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**бакалавр**

(освітній рівень)

на тему: **Вдосконалення технологічного процесу зварювання корпусу  
теплообмінника DCE-143C**

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи МТс

Спеціальності “Прикладна механіка” 131

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Хромий О.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Підгурський М.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ткаченко І.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент   
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота для здобуття освітнього ступеня бакалавра на тему: «Вдосконалення технологічного процесу зварювання корпусу теплообмінника DCE-143C» складається із чотирьох частин розрахункової пояснювальної записки об'ємом 62 аркуші формату А4 та графічної частини об'ємом 5 аркушів формату А1. Пояснювальна записка містить наступні частини, а саме аналітичну, технологічну, конструкторську а також безпеки життєдіяльності та охорони праці. Мета даної кваліфікаційної роботи бакалавра – підвищення якості складально-зварювальних операцій технологічного процесу зварювання корпусу теплообмінника.

Пояснювальна записка містить 25 рисунків, 24 таблиці. При написанні роботи використано 15 літературних джерел.

У даній кваліфікаційній роботі бакалавра удосконалено технологію зварювання корпусу кожухотрубного теплообмінника. Запропоновано технологічний процес, обґрунтовано способи зварювання елементів корпусу, розраховано режими зварювальних операцій, рекомендовано техніку складання та виконання зварювання окремих елементів корпусу, підібрано раціональне зварювальне обладнання та оснастку, розроблено заходи з безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Ключові слова: КОРПУС ТЕПЛООБМІННИКА, МЕХАНІЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ПЛАЕТАРНЕ ЗВАРЮВАННЯ, СУМІШ  $CO_2+O_2$ , ОХОРОНА ПРАЦІ.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Аналітична частина .....	8
1.1 Характеристика конструкції корпусу теплообмінника.....	8
1.2 Матеріалу зварного виробу.....	9
1.3 Технічні умови на виготовлення корпусу теплообмінника .....	10
1.3.1 Вимоги до матеріалів виробу.....	10
1.3.2 Вимоги до складання .....	11
1.3.3 Вимоги до зварних з'єднань та швів .....	13
1.3.4 Вимоги до якості виробу та методу контролю зварних швів.....	15
2. Технологічна частина .....	16
2.1 Схема технологічного процесу .....	17
2.2 Вибір способів зварювання .....	19
2.3 Вибір зварювальних матеріалів .....	20
2.4 Розрахунок режимів зварювання .....	22
2.5 Вибір основного зварювального обладнання .....	36
2.6 Вибір зварювальної оснастки .....	44
3. Конструкторська частина.....	48
3.1 Розроблення центруючого пристосування для обичайок .....	48
3.2 Розрахунок центратора .....	48
4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці .....	52
4.1 Працездатність людини – оператора .....	52
4.2 Аналіз та характеристика потенційних небезпек та шкідливостей на дільниці цеху.....	54
4.3 Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання та технологічних процесів .....	56

Загальні висновки кваліфікаційної роботи .....	60
Перелік посилань на джерела .....	61

## ВСТУП

Розроблення нових технологічних процесів в металобробленні є головною рушійною силою сучасної промисловості, оскільки дозволяє впровадити енергоефективні, матеріалозберігаючі інноваційні операції, зменшити собівартість продукції та покращити умови праці. Широкий аналіз виробу та особливостей технології виготовлення дозволяє виявити недоліки попередніх технологій на мікро- та макрорівні, з точки зору глибокої технологічної переробки основного матеріалу, врахування особливостей термодформаційного циклу операцій, що пов'язані з використанням термічних джерел оброблення, раціонального вибору основного обладнання, підвищення рівня механізації та автоматизації технології.

На даний час модернізація зварювальних технологічних процесів може мати комплексний характер, оскільки сучасна промисловість пропонує універсальні рішення, що можуть охоплювати увесь цикл технологічних операцій на спеціальних зварювальних установках, що можуть бути інтегрованими в потокові механізовані лінії. Високий рівень механізації при цьому проводиться на усіх заготівельних, складальних та зварювальних операціях.

Зниження собівартості виробів при впровадженні механізованих пристроїв у зварювальному виробництві відбувається через збільшення продуктивності, покращенні якості, зниженні вимог до розряду робітників.

Застосування сучасних зварювальних матеріалів дозволяє зменшити негативний вплив середовища на механічні властивості кінцевого виробу, зменшуючи наводнення зварного шва, створюючи оптимальний тепловміст процесу зварювання, покращуючи формоутворення зварного з'єднання та ефективність використання матеріалів та енергії.

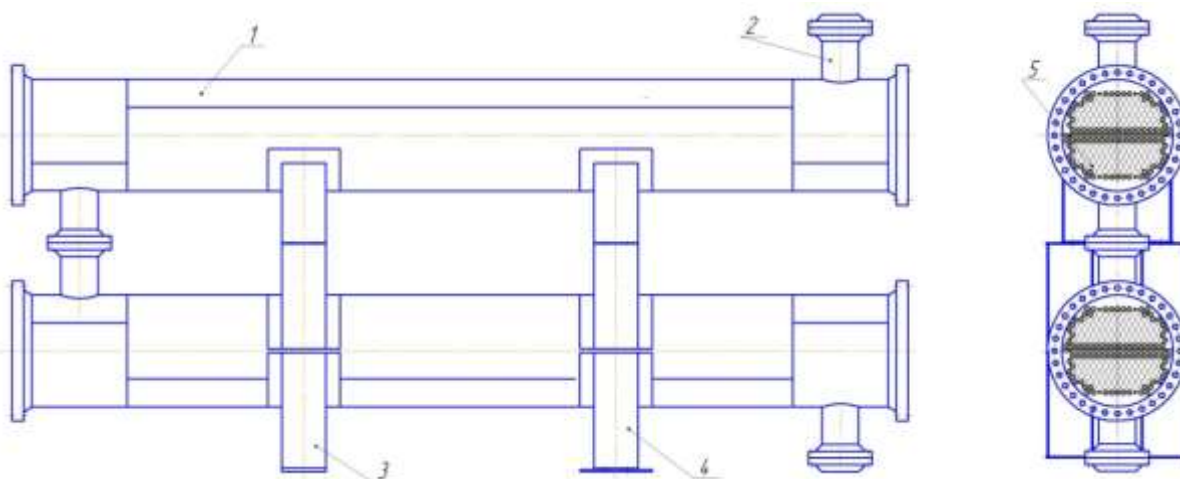
Впровадження інноваційного процесу планетарного зварювання при виготовленні теплообмінних апаратів дозволяє значно покращити якість важкодоступних чисельних зварних з'єднань та ресурс виробу в цілому.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Характеристика конструкції корпусу теплообмінника

Теплообмінники є самостійними апаратами складних технологічних установок для нагрівання або охолодження речовин до заданої температури. Найбільш поширеними в промисловості є кожухотрубні теплообмінники.

Дані теплообмінники складаються з пучків труб, закріплених в трубних решітках, кожухів, кришок, патрубків, опор і в залежності від призначення – з інших вузлів. Корпус кожухотрубного теплообмінника DCE-143C є циліндром із зварених між собою одного або кількох листів. До країв кожуха приварені фланці для з'єднання з кришками. Трубочатка кожухотрубних апаратів виготовлена з прямих труб зовнішнім діаметром 20 мм. Трубні решітки служать для закріплення в них пучка труб за допомогою розвальцювання, заварювання, запайки чи сальникових кріплень. Трубні решітки або приварюють до кожуху, або затискають болтами між фланцями корпусу і кришки, або з'єднують болтами тільки з фланцями вільної камери. Кришки кожухотрубних апаратів мають плоску, конічну, сферичну, а частіше еліптичну форму .



- 1 – кожух теплообмінника; 2 – штуцер; 3 – опора нерухома;  
4 – опора рухома; 5 – трубний пучок

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд теплообмінника DCE – 143C

Конструкція теплообмінника DCE-143C являє собою циліндричну конструкцію, що дозволяє легко механізувати процес виготовлення. Загальні розміри теплообмінника є порівняно невеликими, що дає економію металу, і дозволяє підібрати необхідне обладнання для обертання і зварювання його вузлів. Більшість вузлів є типовими, що дозволяє використовувати одну і ту саму технологію виготовлення. Для більшості деталей теплообмінника використовується однотипне обладнання, технологічний процес його виготовлення легко автоматизувати, що дає менші витрати часу, електроенергії та трудоемкості [1].

## 1.2 Матеріали зварного виробу

Корпус теплообмінника виготовляється із конструкційної низьколегованої сталі 09Г2С. Ця сталь застосовується для виготовлення різних деталей і елементів зварних металоконструкцій, що працюють при температурах до +425 °С; для парових котлів, апаратів і місткостей, що працюють під тиском при температурах до +450 °С; для відповідальних листових зварних конструкцій в хімічному і нафтовому машинобудуванні, для виготовлення деталей трубопровідної арматури після загартування і відпустки; виготовлення зварних переходів, фланців, зварних трійників і інших фасонних деталей трубопроводів з температурою експлуатації від +350 °С [3].

Хімічний склад сталі 09Г2С наведений в таблиці 1.1. Механічні властивості наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад в % матеріалу сталь 09Г2С [2]

Назва елемента	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Cr</i>	<i>N</i>	<i>Cu</i>
Вміст, %	до 0.12	0.5 – 0.8	1.3 – 1.7	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.3	до 0.008	до 0.3

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталі 09Г2С, [2]

Товщина прокату, мм	Тимчасовий опір розриву $\sigma_b$ , МПа	Границя текучості $\sigma_T$ , МПа	Відносне подовження $\delta$ , %	Ударна в'язкість КС, Дж, при температурі, °С		
				+20	-40	-70
10 – 20	470	325	21	59	34	29

Зварюваність металів можна оцінити розрахунковим шляхом, використовуючи відомості про хімічний склад. Стійкість зварного з'єднання до утворення холодних тріщин оцінюють за еквівалентним вмістом вуглецю. Еквівалент вуглецю  $C_{екв}$ , %, визначають по емпіричних формулах, одна з яких має наступний вигляд:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V + Mo}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1.1)$$

Обчислимо еквівалент вуглецю підставивши необхідні величини у формулу (1.1), отримаємо:

$$C_{екв} = 0,9 + \frac{1,3}{6} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3 + 0,3}{15} = 0,31 \%$$

При еквіваленті вуглецю, який знаходиться в межах 0,26-0,35 % зварюваність відноситься до другої групи (задовільна зварюваність). Отже, сталь 09Г2С відноситься до 2 групи зварюваності, яка передбачає зварювання без підігрівання при товщині металу менше 20мм [4].

### 1.3 Технічні умови на виготовлення корпусу теплообмінника

#### 1.3.1 Вимоги до матеріалів виробу

Хімічний склад матеріалів та їх механічні властивості повинні відповідати заданим технічним вимогам до конструкції. Відповідальність за якість матеріалів лежить на підприємстві – виробнику.



При виготовленні посудин, що працюють під тиском враховують тиск, температури, середовище, здатність до зварювання та стійкість до корозії основних матеріалів.

Усі приварювані елементи конструкції: циліндричні опори, підкладки, опори та ін., повинні виготовлятися з матеріалів, що мають хорошу зварюваність, близькість коефіцієнтів лінійного розширення (різниця до 10%), [5]. Для виготовлення даної зварної конструкції слід дотримуватись вмісту сірки не більше 0,035% та фосфору не більше 0,035%.

### 1.3.2 Вимоги до складання

При складанні апарату трубний пучок повинен безперешкодно входити в кожух. Не допускається відшарування металу на внутрішній поверхні труби після розвальцьовування.

Не допускається застосування конструктивного проміжку в з'єднаннях фланців з патрубками посудин, що працюють під тиском, при високій температурі більше 300°C. Зміщення кромки В листів (рис. 1.2) не повинно перевищувати  $B=0,1S$  до 3 мм ( $S$  - мінімальна товщина деталі).

Таблиця 1.3- Максимальна кількість труб, що заглушаються

Діаметр апарата, мм	До 426	500(530) 600 (630)	800	1000
Кількість труб, шт	2	3	4	5

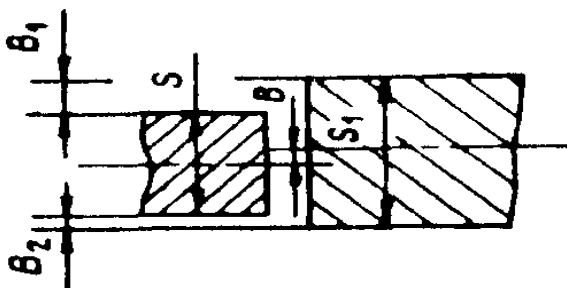


Рисунок 1.2 – Схема зміщення кромки

До стикових з'єднань, що визначають міцність посудини, слід відносити подовжні шви обичайок і патрубків, хордові і меридіональні шви опуклих днищ.

Під час вимірювань зміщення  $B$  приймають до уваги наступне:

$$B_1 \leq 0,5 (S_1 - S) + B \quad (1.2)$$

$$B_2 \leq 0,5 (S_1 - S) - B \quad (1.3)$$

де,  $B_1$  і  $B_2$  – відстані між кромками листів.

Зміщення кромки в кільцевих швах монометалічних посудин, а також в кільцевих і подовжніх швах біметалічних посудин з боку корозійностійкого шару не повинно перевищувати величин, вказаних в таблиці. 1.4.

Відхилення  $f$  кромки (рис. 1.3) в стикових зварних з'єднаннях не повинне перевищувати  $f = 0,1S + 3$  мм, але не більш відповідних значень для елементів, вказаних в таблиці 1.5, залежно від внутрішнього діаметру обичайки.

Таблиця 1.4 – Зміщення кромки в кільцевих швах посудин, що виконуються усіма видами зварювання

Товщина зварювальних листів, $S$ , мм	Максимальне допустиме зміщення кромки, мм	
	у кільцевих швах на монометалічних посудинах	у кільцевих і подовжніх швах на біметалічних посудинах з боку корозійностійкого шару
До 20	$10\% S + 1$	50% від товщини плакуючого шару
20 – 50	$15\% S$ , але не більше 5	50% від товщини плакуючого шару
50 – 100	$0,00,04S + 3,5$	$0,00,04S + 3,0$ , але не більш за товщину плакуючого шару
Більше 100	$0,00,025S + 5,0$ , але не більше 10	$0,025S + 5,0$ , але не більше 8 і не більше товщини плакуючого шару

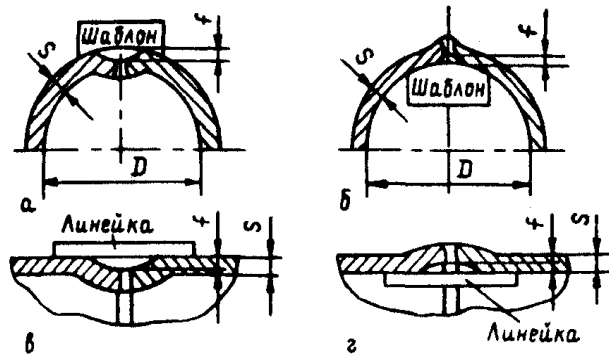


Рисунок 1.3- Контроль відведення кромки подовжніх і кільцевих зварних з'єднань

Відхилення кромки в подовжніх зварних з'єднаннях обичайок і конічних днищ, стикових зварних з'єднаннях днищ з листів визначається шаблоном завдовжки  $1/6 D$  (рис. 1.3 -а, б), а в кільцевих зварних з'єднаннях обичайок - лінійкою на 200 мм (рис. 1.3 -в, г). Відхилення кромки визначається без урахування посилення шва.

Таблиця 1.5 - Максимально допустиме відхилення кромки в стикових зварних з'єднаннях обичайок і днищ

Максимальне відхилення $f$ кромки в стикових зварних з'єднаннях, мм				
обичайок	днищ вигнутих		конічних днищ	
Незалежно від $D$	$D < 5000$ мм	$D > 5000$ мм	$D < 2000$ мм	$D > 2000$ мм
5	6	8	5	7

### 1.3.3 Вимоги до зварних з'єднань та швів

При зварюванні обичайок і труб, приварюванню днищ до обичайок повинні застосовуватися стикові шви з повним проплавленням. При приварюванні елементів кутові зварні шви допускаються. При зварюванні опор допускаються напунктові шви. Приварювання елементів до корпусу з неповним проплавленням не допускається.

Зварні шви посудин повинні дозволяти їх контроль якості та візуальний огляд, а також усунення дефектів [5].

Допускається виконання до двох стикових швів в теплообмінниках, доступних для огляду лише з одного боку. Зварні шви повинні мати повне проплавлення. Зварні шви посудин не повинні перекриватися опорами. Перекриття місць перетину швів не допускається.

Відстань між краєм шва внутрішніх і зовнішніх деталей і краєм найближчого шва корпусу має бути не менше товщина стінки корпусу, але не менше 20 мм. Допускається перетин стикових швів корпусу кутовими швами внутрішніх і зовнішніх деталей за умови контролю ділянки шва корпусу, що перекривається.

При зварюванні стикових зварних з'єднань елементів різної товщини необхідно передбачити плавний перехід від одного елемента до іншого поступовим потоншенням елемента. Кут скосу  $\alpha$  елементів різної товщини має бути не більше  $20^\circ$ .

Допускається виконувати зварювання стикових швів без попереднього стоншування товстого елемента, якщо різниця в товщині елементів, що сполучаються, не перевищує 30% від товщини тоншого елемента, але не більше 5 мм; при цьому форма шва повинна забезпечувати плавний перехід від товстого елемента до тонкого.

Конструктивні елементи стикових з'єднань литих деталей з трубами, листами різної товщини повинні прийматися відповідно до проєкту або технічних умов на посудину.

Форма і розміри швів повинні відповідати вимогам стандартів на шви зварних з'єднань або креслення. При виконанні стикових з'єднань допускається не виправляти зварні шви, якщо відхилення розмірів валика складає не більше 30% від передбачених стандартом розмірів на цей вид зварювання.

При захисті від корозії елементів посудин способом наплавлення товщина наплавленого шару після механічної обробки має бути вказана в роботі.

#### **1.3.4 Вимоги до якості виробу та методу контролю зварних швів**

Геометричні розміри і форма поверхонь повинні вимірюватися за допомогою засобів, що забезпечують відхилення не більше 30% від встановленого допуску на виготовлення.

Габаритні розміри посудин слід визначати шляхом підсумовування розмірів складальних одиниць, що входять в них, і деталей.

Контроль якості поверхонь на відсутність розшарувань, грубих рисок, тріщин, що знижують якість і товарний вид, повинен проводитися шляхом візуального огляду.

Обов'язкова перевірка наявності розташування клейм на зварних швах і маркування на готовій посудині (складальних одиницях, що самостійно поставляються, і деталях) повинна здійснюватися візуальним оглядом.

Контроль якості зварних з'єднань слід проводити наступними методами:

- а) візуальним оглядом і виміром;
- б) механічними випробуваннями;
- в) випробуванням на стійкість до міжкристалітної корозії;
- г) металографічними дослідженнями;
- д) ультразвуковою дефектоскопією;
- з) кольоровою або магнітопорошковою дефектоскопією передбаченими в роботі.

Остаточний контроль якості зварних з'єднань посудин, що піддаються термічній обробці, повинен проводитися після термічної обробки.

Контроль комплектності, консервації, забарвлення, упаковки необхідно проводити шляхом зіставлення об'єму і якості виконаних робіт з вимогами існуючого стандарту і технічних умов.

Допускається замість зборки проводити контрольну перевірку розмірів дотичних частин за умови, що підприємство - постачальник гарантує збирання посудини.

В процесі виготовлення складальних одиниць і деталей необхідно перевіряти:

- відповідність стану і якості зварюваних складальних одиниць і зварювальних матеріалів вимогам стандартів (технічних умов) і проєкту;
- відповідність якості підготовки кромки і зборки під зварювання вимогам стандартів і проєкту;
- дотримання технологічного процесу зварювання і термічної обробки, розроблених відповідно до вимог стандартів і проєкту [5].

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Схема технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення корпусу теплообмінника складається з наступних операцій:

- 1) транспортування листів 09Г2С в цех з наступним їх розрізанням на відповідні розміри та очищенням до металічного блиску;
- 2) зварювання листів між собою;
- 3) вальцювання листів в обичайку;
- 4) зварювання повздовжнього шва обичайки ;
- 5) складання та зварювання обичайок та фланців в корпус;
- 6) вирізка отворів в корпусі;
- 7) приварювання штуцерів до корпусу;
- 8) встановлення та зварювання трубного пучка до решітки;
- 9) зварювання опори з листів;
- 10) приварювання опори до корпусу;
- 11) контроль якості корпусу теплообмінника.

Схема технологічного процесу показана на рисунку 2.1.

Для виготовлення корпусу теплообмінника листовий прокат розмірами 12x1100x6000 та 16x1100x6000 по ГОСТ 19903-74 переміщується на місце складання листів в складально-зварювальну дільницю. Листи транспортуються мостовим краном КМ-16 (Q=16 т).

Наступним етапом є розмітка листів з наступною механічною порізкою їх на гільйотинних ножицях Н-478 на листи розмірами 12x1100x4185 та 16x1100x600. Потім листи поступають на кромкостругальний станок для нарізки V-подібної кромки. Листи транспортуються за допомогою мостового крана.

Далі листи складаються, прихоплюються (довжина прихоплень 50-60 мм, через кожні 100мм), встановлюються технологічні планки розміром 100\*100 мм, які обрізаються після зварювання. Зварювання проводиться в два шари

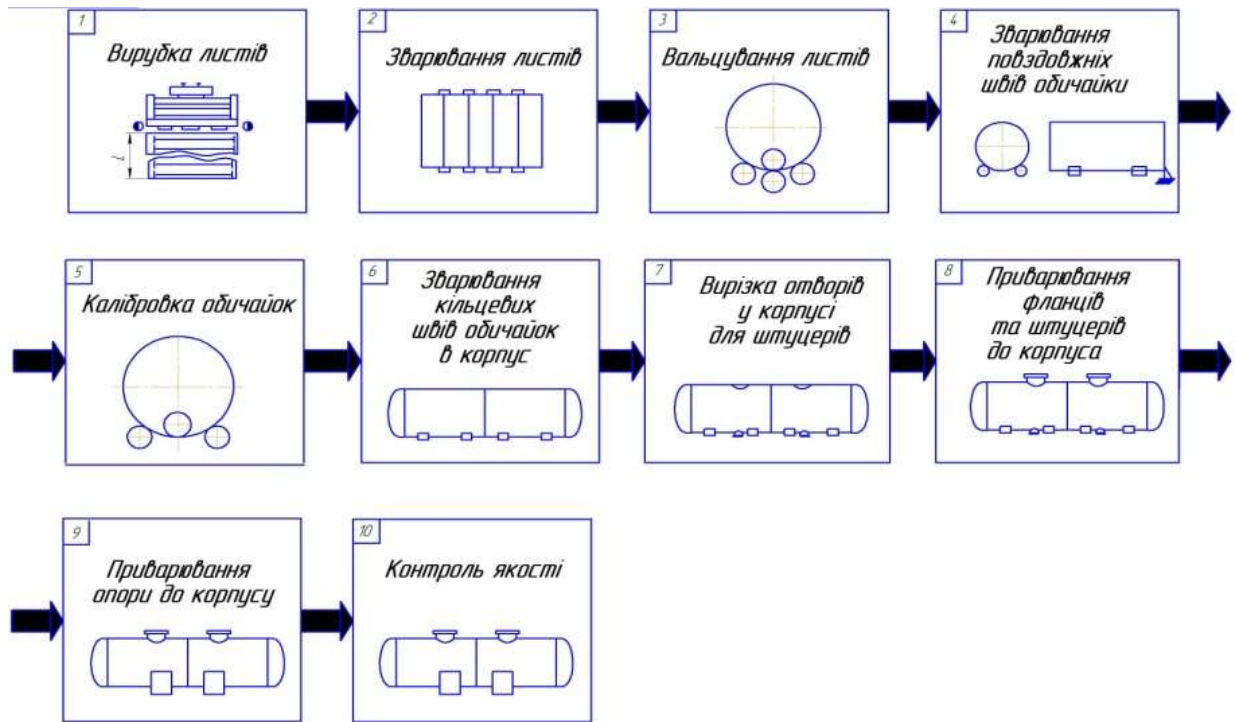


Рисунок 2.1 – Схема технологічного процесу зварювання теплообмінника

автоматичним зварюванням під флюсом зварювальним трактором ТС-17. Після зварювання листи вальцюють на вальцях і прихоплюють. Зварювання поздовжнього шва обичайки проходить за допомогою зварювальної головки А-384 під шаром флюсу, яка кріпиться на глугольному візку ГТ-1. Використовуються наступні зварювальні матеріали: зварювальний дріт Св-08ГА і флюс АН-348А. Потім обичайки калібрують, щоб не було овальності.

Далі готові обичайки збираються на роликовому стенді та центруються зовнішнім ланцюговим центратором та прихоплюються довжиною 50-60 мм, через кожні 100 мм. Зварювання обичайок проводиться зварювальною установкою УСТП2-2500 в два шари, спочатку виконується зовнішній шар, а потім внутрішній. Обичайки обертаються на роликовому стенді із швидкістю зварювання. Далі фланці прихоплюються до корпусу, які центруються внутрішньою гільзою. Зварювання проходить на цьому ж роликовому стенді Т-30М установкою УСТП2-2500 в три шари. Спочатку накладають два зовнішні шари і потім внутрішній шар.



В готовому корпусі вирізаються 2 отвори плазмовою різкою. Далі встановлюються і прихоплюються штуцери, які центруються магнітними кутниками. Зварювання виконується механізованим зварюванням в середовищі вуглекислого газу 25% та аргону.

Далі трубний пучок приварюється до трубної решітки орбітальним зварюванням, яке проводиться неплавким вольфрамовим електродом в аргоні установкою PIPEMASTER 515. Далі цей трубний пучок вставляється в корпус.

Опори виготовляються із листів 09Г2С, які зварюються напівавтоматичним зварюванням в середовищі вуглекислого газу та аргону. Далі готова нерухома опора приварюється до корпусу напівавтоматичним зварюванням в середовищі в 25% CO<sub>2</sub> та Ar .

Кінцевою операцією є контроль якості зварних швів корпусу теплообмінника, який контролюється рентгенівською установкою РУП-400.

## **2.2 Вибір способів зварювання**

Оскільки при виготовленні корпусу теплообмінника потрібно виконувати зварювання кільцевих швів протяжністю 2200 мм, а також вимоги до якості швів є максимальними, тому зварювання обичайок доцільно виконувати автоматичним способом під флюсом [7].

Зварювання під флюсом дозволяє покращити виробничий процес в багато разів порівняно із ручним зварюванням, забезпечує добре формування і найкращий внутрішній вид швів, покращує умови праці і знижує матеріальні витрати. При використанні зварювання під флюсом збільшується глибина проплавлення, менші втрати металу від розбризкування, високі механічні властивості шва. Проте головним недоліком зварювання під флюсом є неможливість вертикальних та стельових швів, трудомісткість монтажу, небезпечні випари для робітників [6, 7, 15].

Через неможливість застосування автоматичного зварювання під флюсом для приварювання штуцерів до корпусу вибираємо механізоване зварювання в середовищі вуглекислого газу та аргону. Опору зварюємо

напівавтоматичним зварюванням в середовищі вуглекислого газу, тому що довжина швів є меншою 1 м [8, 9].

Для приварювання трубного пучка до решітки вибираємо орбітальне електродугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом в аргоні з присадковим дротом. Доцільність цього способу є скорочення часу зварювання, відсутність людського фактору, рівномірне формування шва.

### 2.3 Вибір зварювальних матеріалів

Для зварювання вузлів корпусу теплообмінника, який виготовляється з низьколегованої сталі марки 09Г2С, будемо використовувати такі зварювальні матеріали, які використовуються для зварювання цієї сталі:

1) Для автоматичного зварювання під флюсом вибираємо зварювальний дріт Св-08ГА призначений для зварювання низьколегованих сталей. Даний зварювальний дріт підібраний відповідно до хімічного складу матеріалу корпусу теплообмінника і з умов забезпечення необхідних механічних характеристик. Зварювальний дріт виготовлений по ДСТ 2246-70 і ТУ У 322-4-392-96. Хімічний склад дроту Св08ГА наведений в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад зварювального дроту Св08ГА

Назва елемента	Вміст, %
<i>C</i>	0,1
<i>Si</i>	0,06
<i>Mn</i>	0,8...0,11
<i>Cr</i>	0,1
<i>Ni</i>	0,25
<i>Mo</i>	-
<i>Ti</i>	-
<i>Cu</i>	0,25
<i>S</i>	0,025
<i>P</i>	0,03

В якості зварювального флюсу будемо використовувати флюс марки АН-348А. Цей захисний флюс призначений для зварювання низьколегованих сталей. Цей флюс повинен сприяти отриманню металу шва підвищеної міцності з високими значеннями ударної в'язкості при низьких температурах. Хімічний склад флюсу наведений в табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад флюсу АН – 348А

Хімічні елементи	Вміст, %
<i>SiO<sub>2</sub></i>	28 ... 32
<i>MgO</i>	6,5 ... 10,5
<i>CaF<sub>2</sub></i>	9 ... 13
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	9 ... 13
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	2,0
<i>MnO</i>	14 ... 18
<i>CaO</i>	13 ... 18
<i>K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O</i>	1 ... 2
<i>P</i>	0,05
<i>S</i>	0,05
Температура сушіння	400 оС, 2год

2) Особливість зварювання в CO<sub>2</sub> полягає в застосуванні електродного дроту з високим рівнем розкислювачів марганцю та кремнію. Крім забезпечення якісного розкислення, високих механічних властивостей даний дріт підвищує стійкість шва до гарячих тріщин.

Зварювальний дріт виготовлений по ДСТУ 2246-70 і ТУ У 322-4-392-96. Хімічний склад зварювального дроту Св – 08Г2С показаний у таблиці 2.3.

Вуглекислий газ дає надійний та порівняно дешевий захист зварювальної ванни, зменшує взаємодію рідкого металу з воднем, стабілізує дугу, зменшує азотування сталі.

Таблиця 2.3-Хімічний склад зварювального дроту Св – 08Г2С

Хімічний склад	Вміст, %
C	0,1
Si	0,7...0,75
Mn	1,8...2,1
Cr	0,2
Ni	0,25
Mo	-
Ti	-
Cu	0,25
S	0,025
P	0,03

Застосування суміші аргону і вуглекислого газу (25%) ефективно при зварюванні маловуглецевих і низьколегованих сталей. В порівнянні із зварюванням в чистому аргоні або вуглекислому газі легше досягається струминне перенесення електродного металу. Зварні шви пластичніші, ніж при зварюванні в чистому вуглекислому газі. В порівнянні із зварюванням в чистому аргоні менше вірогідність утворення пор. Отже будемо використовувати суміш вуглекислого газу вищого сорту по ГОСТу 8050-85 і аргону вищого сорту по ГОСТу 10157-79.

3) Для орбітального електродугового зварювання будемо використовувати присадковий зварювальний дріт Св08Г2С, який призначений для зварювання низьколегованих сталей, в якості захисного газу при орбітальному зварюванні трубного пучка і решітки використовується аргон вищого сорту по ГОСТу 10157-79 [3].

## 2.4 Розрахунок режимів зварювання

При зварюванні корпусу теплообмінника використовуються наступні зварні з'єднання, а саме зварне стикове з'єднання С21 по ГОСТ 8713-79 [7], та

зварне таврове з'єднання Т6 по ГОСТ 14771-76 [8]. Зварні з'єднання С21 зварюються автоматичним зварюванням в CO<sub>2</sub>, а Т6 – напівавтоматичним зварюванням в середовищі CO<sub>2</sub> та аргону. При правильному підборі режимів зварювання залежить час, швидкість, витрата зварювальних матеріалів (зварювального дроту, флюсу, захисних газів), витрата електроенергії. Режими зварювання залежать від способу зварювання, від положення зварювання, від товщини зварюваних елементів і від діаметру дроту.

Розрахунок режимів стикового шва N1 по ГОСТ 8713-79 С21 товщиною 12 мм і довжиною 4185 мм ззовні та із середини автоматичним зварюванням під флюсом, дротом Св-08ГА та флюсом АН-348А:

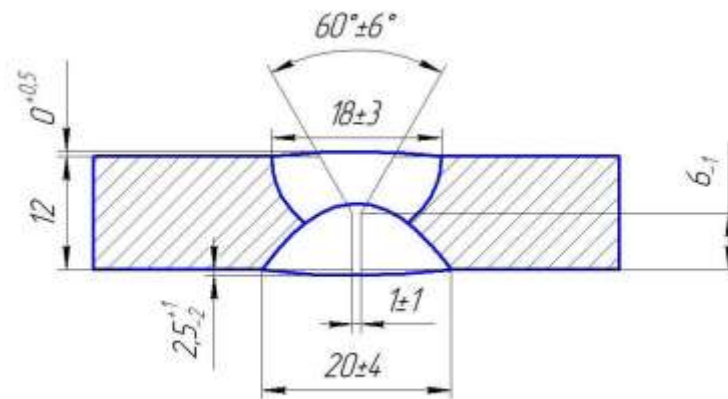


Рисунок 2.2 – Конструктивні розміри шва N1

- 1) Глибина провару обчислюється за формулою (2.1):

$$H = \frac{S}{2} + 2, \text{ мм} \quad (2.1)$$

де, S- товщина листа, 12 мм.

Підставимо дані у формулу (2.1), отримаємо:

$$H = \frac{12}{2} + 1 = 7 \text{ мм}$$

- 2) Площа наплавленого металу обчислюється за формулою (2.2):

$$F_H = F_1 + F_2, \text{ мм} \quad (2.2)$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \times e \times b, \quad (2.3)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \times e_1 \times b, \quad (2.4)$$

Підставимо дані у формулу отримаємо:

$$F_1 = 1/2 \times 18 \times 6 = 54 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = 1/2 \times 20 \times 6 = 60 \text{ мм}^2$$

$$F_H = 54 + 60 = 114 \text{ мм}^2$$

3) Сила струму обчислюється за формулою (2.5) :

$$I_{зв} = \frac{H}{K_H} \times 100, \text{ А} \quad (2.5)$$

де,  $K_H=1,1$

Обчислимо силу струму підставивши дані у формулу 2.5 ,отримаємо:

$$I_{зв} = \frac{7}{1,1} \times 100 = 640, \text{ А}$$

4) Діаметр дроту обчислюється за формулою (2.6) :

$$d_e = 1,13 \times \sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}, \text{ мм} \quad (2.6)$$

де,  $j=70 \text{ А/мм}^2$ - густина струму .

Обчислимо діаметр дроту підставивши дані у формулу 2.6 ,отримаємо:

$$d_e = 1,13 \times \sqrt{\frac{640}{70}} = 3,4 \text{ мм}$$

Вибираємо діаметр дроту  $d_e=4 \text{ мм}$ .

5) Напруга на зварювальній дузі обчислюється за формулою (2.7):

$$U_D = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \times I_{зв} + 1, \text{ В} \quad (2.7)$$

Обчислимо напругу на дузі, підставивши дані у формулу 2.7 ,отримаємо:

$$U_D = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{\sqrt{4}} \times 640 + 1 = 37 \text{ В}$$

6) Швидкість зварювання обчислюється за формулою (2.8):

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{зв}}, \text{ м/ГОД} \quad (2.8)$$

де,  $A = 20 \times 10^3 \text{ А*м/год}$  для діаметру дроту 4мм.

Обчислимо швидкість зварювання підставивши дані у формулу 2.8, отримаємо:

$$V_{зв} = \frac{20 \times 10^3}{640} = 31 \text{ м/ГОД}$$

7) Швидкість подачі дроту обчислюється за формулою (2.9):

$$V_{\text{п.д.}} = \frac{4 \times \alpha_{\text{н}} \times I_{\text{зв}}}{\pi \times d_e \times j}, \text{ м/ГОД} \quad (2.9)$$

де,  $\alpha_{\text{н}} = 16$  г/год\*А коефіцієнт наплавлення.

Обчислимо швидкість подачі дроту підставивши дані у формулу 2.9, отримаємо:

$$V_{\text{п.д.}} = \frac{4 \times 16 \times 640}{3,14 \times 4 \times 70} = 47 \text{ м/ГОД}$$

8) Час зварювання обчислюється за формулою (2.10):

$$t = \frac{L}{V_{\text{зв}}}, \text{ ГОД} \quad (2.10)$$

де,  $L=4,185$  м – довжина шва .

Обчислимо час зварювання підставивши дані у формулу 2.10, отримаємо:

$$t = \frac{4,185}{25} = 0,14 \text{ ГОД} = 9 \text{ хв}$$

9) Вага наплавленого металу обчислюється за формулою 2.11:

$$G_{\text{н}} = F_{\text{н}} \cdot L \cdot \gamma, \text{ КГ} \quad (2.11)$$

де,  $\gamma=7850$  кг/м<sup>3</sup> – густина сталі;

$F_{\text{н}}$  – площа наплавленого металу, м<sup>2</sup>;

$L$ -довжина шва, м.

Підставивши вихідні дані отримаємо:

$$G_{\text{н}} = 114 \times 10^{-6} \cdot 4,185 \cdot 7850 = 3,75 \text{ КГ}$$

10) Витрата електроенергії обчислюється за формулою (2.12):

$$Q_e = \frac{U_{\text{д}}}{\alpha_{\text{н}} \times \eta \times K_u} \cdot G_{\text{н}}, \text{ КВТ*ГОД} \quad (2.12)$$

де,  $\eta = 0,85$ -ККД для азф;

$K_u = 0,5$ .

Обчислимо витрату електроенергії підставивши дані у формулу 2.12, отримаємо:

$$Q_e = \frac{37}{16 \times 0,85 \times 0,5} \cdot 3,75 = 20,4 \text{ КВТ*ГОД}$$

Розрахунок режимів стикового шва N2 по ГОСТ 8713-79 С21 товщиною 16 мм довжиною 600мм, ззовні та із середини автоматичним зварюванням під флюсом, дротом Св-08ГА та флюсом АН-348А:

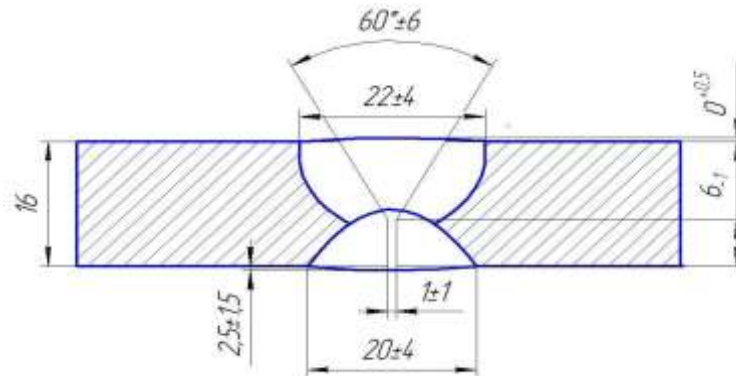


Рисунок 2.3- Конструктивні розміри шва С21 по ГОСТ 8713-79

- 1) Глибина провару обчислюється за формулою (2.1):

$$H = \frac{16}{2} + 1 = 9 \text{ мм}$$

- 2) Площа наплавленого металу обчислюється за формулою (2.2):

$$F_1 = 1/2 \cdot 22 \cdot 8 = 88 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = 1/2 \cdot 20 \cdot 8 = 80 \text{ мм}^2$$

$$F_H = 54 + 60 = 168 \text{ мм}^2$$

- 3) Сила струму обчислюється за формулою (2.5) :

$$I_{зв} = \frac{9}{1,1} \cdot 100 = 820, \text{ А}$$

- 4) Діаметр дроту обчислюється за формулою (2.6) :

$$d_e = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{820}{70}} = 3,8 \text{ мм}$$

Вибираємо діаметр дроту 4 мм.

- 5) Напруга на зварювальній дузі обчислюється за формулою (2.7):

$$U_d = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{\sqrt{4}} \cdot 820 + 1 = 42 \text{ В}$$

- 6) Швидкість зварювання обчислюється за формулою (2.8):



$$V_{зв} = \frac{20 \times 10^3}{820} = 24 \text{ м/год}$$

7) Швидкість подачі дроту обчислюється за формулою (2.9):

$$V_{п.д.} = \frac{4 \times 16 \times 820}{3,14 \times 4 \times 70} = 60 \text{ м/год}$$

8) Час зварювання обчислюється за формулою (2.10):

$$t = \frac{0,6}{24} = 0,025 \text{ год} = 1,5 \text{ хв}$$

9) Вага наплавленого металу обчислюється за формулою (2.11):

$$G_n = 168 \times 10^{-6} \cdot 0,6 \cdot 7850 = 0,8 \text{ кг}$$

10) Витрата електроенергії обчислюється за формулою (2.12):

$$Q_e = \frac{42}{16 \times 0,85 \times 0,5} \cdot 0,8 = 5 \text{ кВт*год}$$

Розрахунок режимів стикового шва N3 по ГОСТ 8713-79 С21 зі скосом кромки товщиною 12 та 16 мм і довжиною шва 2200 мм ззовні та із середини автоматичним зварюванням під флюсом, дротом Св-08ГА та флюсом АН-348А:

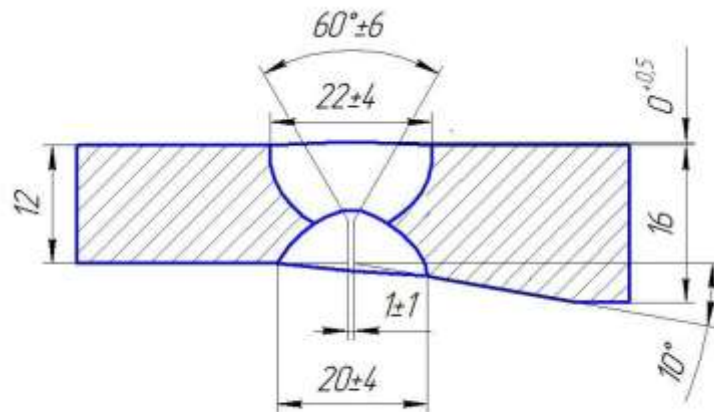


Рисунок 2.4 – Коструктивні розміри шва С21 по ГОСТ 8713-79

1) Глибина провару обчислюється за формулою (2.1):

$$H = \frac{12}{2} + 1 = 7 \text{ мм}$$

2) Площа наплавленого металу обчислюється за формулою (2.3):

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 6 = 60 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = 1/2 \cdot 24 \cdot 6 = 72 \text{ мм}^2$$

$$F_H = 60 + 72 = 132 \text{ мм}^2$$

3) Сила струму обчислюється за формулою (2.5) :

$$I_{зв} = \frac{7}{1,1} \cdot 100 = 640 \text{ , А}$$

4) Діаметр дроту обчислюється за формулою (2.6) :

$$d_e = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{640}{70}} = 4 \text{ мм}$$

5) Напруга на зварювальній дузі обчислюється за формулою (2.7):

$$U_d = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{\sqrt{4}} \cdot 640 + 1 = 37 \text{ В}$$

6) Швидкість зварювання обчислюється за формулою (2.8):

$$V_{зв} = \frac{25 \times 10^3}{640} = 31 \text{ м/год}$$

7) Швидкість подачі дроту обчислюється за формулою (2.9):

$$V_{п.д.} = \frac{4 \times 16 \times 640}{3,14 \times 4 \times 70} = 47 \text{ м/год}$$

8) Час зварювання обчислюється за формулою (2.10):

$$t = \frac{2,2}{31} = 0,07 \text{ год} = 4,2 \text{ хв}$$

9) Вага наплавленого металу обчислюється за формулою (2.11):

$$G_H = 132 \times 10^{-6} \cdot 2,2 \cdot 7850 = 2,3 \text{ кг}$$

10) Витрата електроенергії обчислюється за формулою (2.12):

$$Q_e = \frac{42}{16 \times 0,85 \times 0,5} \cdot 2,3 = 14,2 \text{ кВт*год}$$

Розрахунок режимів стикового шва №4 по ГОСТ 8713-79 С21 товщиною 16 мм автоматичним зварюванням під флюсом дротом Св-08ГА та флюсом АН-348А, довжина шва 2200 мм :

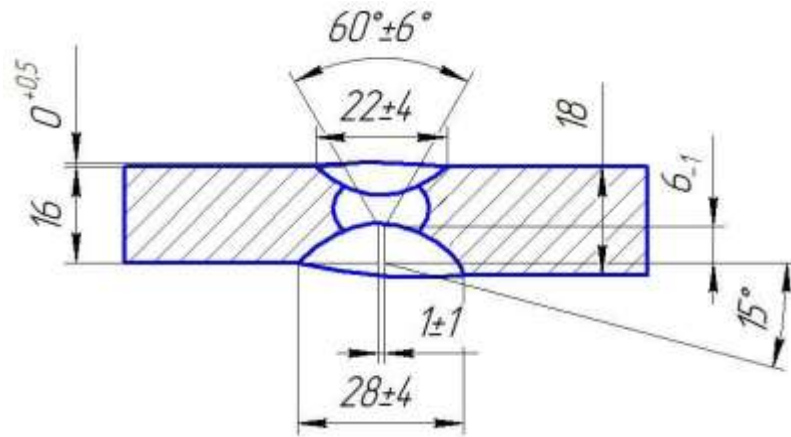


Рисунок 2.5 – Коструктивні розміри шва С21 по ГОСТ 8713-79

- 1) Глибина провару обчислюється за формулою (2.1):

$$H = \frac{18}{3} + 1 = 7 \text{ мм}$$

- 2) Площа наплавленого металу обчислюється за формулою (2.3):

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot 22 \cdot 8 = 88 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot 28 \cdot 8 = 112 \text{ мм}^2$$

$$F_H = 88 + 112 = 200 \text{ мм}^2$$

- 3) Сила струму обчислюється за формулою (2.5) :

$$I_{зв} = \frac{7}{1,1} \cdot 100 = 640 \text{ , А}$$

- 4) Діаметр дроту обчислюється за формулою (2.6) :

$$d_e = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{640}{70}} = 4 \text{ мм}$$

- 5) Напряга на зварювальній дузі обчислюється за формулою (2.7):

$$U_d = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{\sqrt{4}} \cdot 640 + 1 = 37 \text{ В}$$

- 6) Швидкість зварювання обчислюється за формулою (2.8):

$$V_{зв} = \frac{20 \times 10^3}{640} = 31 \text{ м/год}$$

- 7) Швидкість подачі дроту обчислюється за формулою (2.9):

$$V_{п.д.} = \frac{4 \times 16 \times 640}{3,14 \times 4 \times 70} = 47 \text{ м/год}$$

- 8) Час зварювання обчислюється за формулою (2.10):

$$t = \frac{2,2}{31} = 0,07 \text{ год} = 4,2 \text{ хв}$$

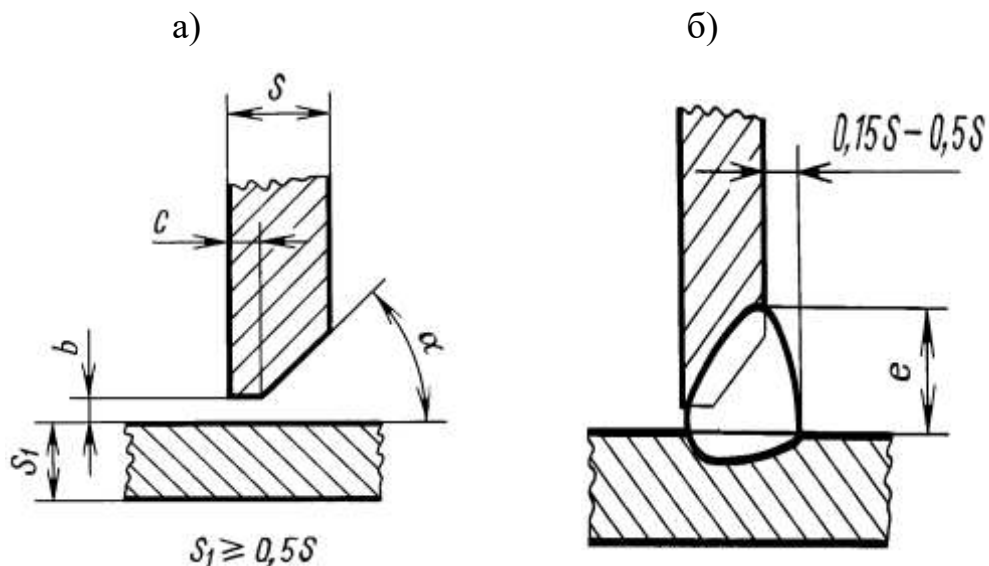
9) Вага наплавленого металу обчислюється за формулою (2.11):

$$G_H = 200 \times 10^{-6} \cdot 2,2 \cdot 7850 = 3,5 \text{ кг}$$

10) Витрата електроенергії обчислюється за формулою (2.12):

$$Q_e = \frac{37}{16 \cdot 0,85 \cdot 0,5} \cdot 3,5 = 21,6 \text{ кВт*год}$$

Розрахунок режимів таврового з'єднання N5 по ГОСТ 14771-76 Т6 товщиною 16 мм механізованим зварюванням в середовищі CO<sub>2</sub> 25% та аргону. Зварювання проводиться в нижньому положенні похиленим зварювальним дротом Св-08Г2С [9]:



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

Рисунок 2.6- Конструктивні розміри шва Т6 по ГОСТ 14771-76

Розміри зварного з'єднання: S=16 мм, c=2 мм, b=0 мм, α=45°, e=20 мм.

Площа наплавленого металу обчислюється за формулою (2.3):

$$F_1 = 1/2 \cdot 20 \cdot 8 = 80 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = 1/2 \cdot 20 \cdot 2,4 = 24 \text{ мм}^2$$

$$F_H = 80 + 24 = 104 \text{ мм}^2$$

Таблиця 2.4 – Залежність діаметру дроту від товщини листа

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

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

Розрахунок сили струму проводимо за формулою (2.13):

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2 \cdot a}{4} \quad (2.13)$$

де,  $a$  - густина струму,  $a=110-130$  А/мм<sup>2</sup>.

Підставивши вихідні дані у формулу 2.13, обчислимо:

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

Таблиця 2.5 – Залежність напруги від сили струму

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

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

Швидкість подачі електродного дроту, м/год, розраховується по формулі (2.14).

$$V_{пд} = \frac{4 \cdot \alpha_\rho \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \rho} \quad (2.14)$$

де  $\alpha_\rho$  - коефіцієнт розплавлення дроту, г/А · год ;

$\rho$  - густина металу електродного дроту, г/см<sup>3</sup> (для сталі  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>).

Значення  $\alpha_\rho$  розраховується по формулі (2.15):

$$\alpha_\rho = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{I_{св}}{d_e} \quad (2.15)$$

Підставивши вихідні дані отримаємо у формулу 2.15, отримаємо:

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

Підставивши вихідні дані отримаємо у формулу 2.14, отримаємо:

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

Швидкість зварювання, м/год, розраховується по формулі (2.16):

$$V_{\text{зв}} = \frac{\alpha_n \cdot I_{\text{св}}}{100 \cdot F_n \cdot \rho} \quad (2.16)$$

де,  $\alpha_n$  - коефіцієнт наплавлення, г/А · год.

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \Psi) \quad (2.17)$$

де,  $\Psi$  - коефіцієнт втрат металу на угар і розбризування, при зварюванні в  $\text{CO}_2$

$\Psi = 0,1 - 0,15$ ;

$F_n$  - площа поперечного перерізу одного валика,  $\text{см}^2$ , при зварюванні в  $\text{CO}_2$  приймається рівним  $0,3 - 0,7 \text{ см}^2$ .

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

Підставивши вихідні дані отримаємо у формулу 2.16, отримаємо:

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

Маса наплавленого металу, г, розраховується за формулою (2.18):

$$G_H = F_{\text{св}} \cdot l \cdot \rho \quad (2.18)$$

де,  $l$  - довжина шва, см;

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

Підставивши вихідні дані отримаємо у формулу 2.18, отримаємо:

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

Час горіння дуги, год, визначається по формулі (2.19):

$$t_0 = \frac{G_H}{I_{\text{св}} \cdot \alpha_n} \quad (2.19)$$

Підставивши вихідні дані отримаємо у формулу 2.19, отримаємо:

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

Повний час зварювання, год, визначається по формулі (2.20):

$$T = \frac{t_0}{k_{\pi}} \quad (2.20)$$

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

Підставивши вихідні дані отримаємо у формулу 2.20, отримаємо:

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

Витрата електроенергії, кВт · год, визначається по формулі (2.21):

$$A = \frac{U_d \cdot I_{CB}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 \cdot (T - t_0) \quad (2.21)$$

де  $U_d$  - напруга дуги, В;

$\eta$  - ККД джерела живлення : при постійному струмі  $0,6 \div 0,7$ , при змінному  $0,8 \div 0,9$ ;

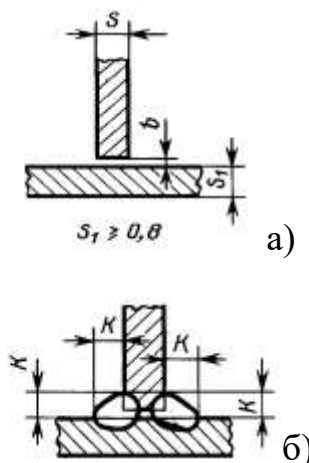
$W_0$  – потужність джерела живлення, що працює на холостому ході, кВт.

На постійному струмі  $W_0 = 2,0 \div 3,0$  кВт, на змінному -  $W_0 = 0,2 \div 0,4$  кВт.

Підставивши вихідні дані отримаємо у формулу 2.21, отримаємо:

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

Розрахунок шва №6 ГОСТ 14771-76 ТЗ Δ12:



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

Рисунок 2.7 – Конструктивні розміри шва ТЗ по ГОСТ 14771 – 76

Конструктивні розміри шва наступні :  $S = 16$  мм,  $b = 0$  мм,  $K = 12$  мм.

Площа наплавленого металу обчислюється за формулою (2.3):

$$F_H = 1/2 \cdot 12 \cdot 16 = 96 \text{ мм}^2$$

В залежності від товщини листа вибираємо діаметр дроту з таблиці (2.4):

$$d_e = 2 \text{ мм.}$$

Розрахунок сили струму за формулою (2.13):

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

Напруга на дузі вибирається із таблиці ( 2.5):  $U_d = 32$  В.

Швидкість подачі електродного дроту, м/год , розраховується по формулі (2.14):

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

Значення  $\alpha_\rho$  розраховується по формулі (2.15):

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

Швидкість зварювання, м/год, розраховується по формулі (2.16):

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

Коефіцієнт наплавлення розраховується за формулою (2.17)

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

Маса наплавленого металу, г, розраховується за формулою (2.18):

$$G_H = 0,96 \cdot 2457,2 \cdot 7,8 = 18400 \text{ г}$$

Час горіння дуги, год, визначається по формулі (2.19):

$$t_0 = \frac{18400}{380 \cdot 15,5} = 3 \text{ год}$$

Повний час зварювання, год, визначається по формулі (2.20):

$$T = \frac{3}{0,57} = 5,2 \text{ год}$$

Витрата електроенергії, кВт · год, визначається по формулі (2.21)



$$A = \frac{32 \cdot 380}{0,7 \cdot 1000} \cdot 3 + 3 \cdot (5,2 - 3) = 58,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Режими зварювання трубного пучка до трубної решітки орбітальним зварюванням вибираємо з довідника. Марка матеріалу трубок – сталь 09Г2С. Діаметр трубок 20 мм, товщина стінки 2 мм. Кількість трубок 498 штук [9].

Таблиця 2.6 - Режими зварювання трубного пучка і решітки

Назва параметру	Значення параметру
Процес зварювання	TIG
Зварювальний струм, А	86
Діаметр вольфрамового електроду, мм	1,6
Швидкість обертання, об/хв	8
Швидкість подачі дроту, см/хв	152
Діаметр присадкового дроту, мм	0,8
Напруга на дузі, В	32
Швидкість зварювання, м/год	28

Всі режими зварювання, які необхідні для виготовлення корпусу теплообмінника подані в таблиці 2.7.

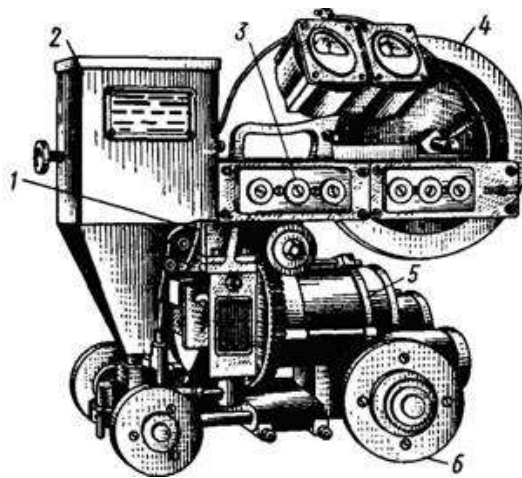
Таблиця 2.7 – Режими зварювання швів корпусу теплообмінника

Номер шва	Сила струму $I_{зв}, \text{А}$	Напруга на дузі $U_d, \text{В}$	Діаметр дроту $d_e, \text{мм}$	Швидкість зварювання $V_{зв}, \text{м/год}$	Швидкість подачі дроту $V_{п.д.}, \text{м/год}$
N1	640	37	4	31	47
N2	820	42	4	24	60
N3	640	37	4	31	47
N4	640	37	4	31	47
N5	380	32	2	15,1	282
N6	380	32	2	15,1	282
N7	86	32	0,8	28	152

## 2.5 Вибір основного зварювального обладнання

Для виготовлення теплообмінника потрібно виконувати зварювання листів, обичайок, штуцерів, опори та трубного пучка. Відповідно до розмірів деталей та способу зварювання вибирається наступне зварювальне обладнання. При правильному підборі зварювального обладнання залежить якість зварних швів та витрати на закупівлю цього обладнання. Вибір зварювального обладнання виходить із його технічної характеристики та необхідних заданих режимів зварювання. Також вагомий вплив при виборі обладнання є тривалість його включення, від якого в подальшому залежить продуктивність виготовлення даної продукції.

Для зварювання листів між собою виходячи із режимів зварювання вибираємо зварювальний трактор ТС-17 (рис. 2.8). Цей зварювальний трактор підходить для зварювання листів у нижньому положенні [10]. Технічна характеристика показана в таблиці 2.8.



- 1 – механізм подачі дроту; 2 – бункер для флюсу,  
3 – кнопковий пульт управління; 4 – касета для дроту;  
5 – електродвигун; 6 – механізм пересування

Рисунок 2.8 – Зварювальний трактор ТС – 17

Таблиця 2.8 – Технічна характеристика зварювального трактора ТС – 17

Назва параметру	Значення параметру
Напруга живлення, В	380
Частота мережі, Гц	50
Номинальний зварювальний струм, А	1200
Номинальний режим роботи, ПВ	100 %
Діаметр електродного дроту, мм	3,0– 5,0
Діапазон регулювання швидкості подачі дроту, м/год	52 – 403
Маса електродного дроту в касеті, кг	15
Місткість бункера для флюсу, дм <sup>3</sup>	6
Швидкість зварювання, м/год	16 – 126
Колісна колія, мм	262
Габаритні розміри, (ДхШхВ), мм	715x370x600
Маса, кг	48

В якості джерела живлення відповідно до необхідної сили зварювального струму та вольт-амперних характеристик джерела вибираємо зварювальний випрямляч універсальний ВДУ-1000 (рис. 2.9). Це джерело забезпечує всі необхідні характеристики для зварювання в захисних газах та автоматичного зварювання під флюсом. Джерело живлення ВДУ-1000 йде у комплекті з напівавтоматом або автоматом призначені для зварювання плавким електродним дротом на постійному струмі в середовищі захисних газів та для зварювання і наплавлення під флюсом. Технічна характеристика джерела живлення ВДУ-1000 наведена в таблиці 2.9.

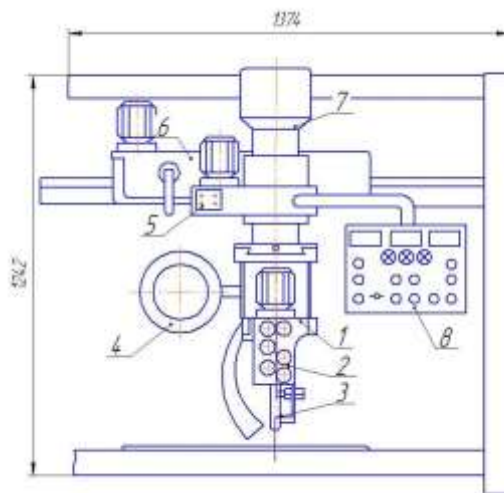
Для зварювання зовнішніх швів обичайки вибираємо несамохідну зварювальну головку А-384 (рис.2.10), яка прикріплена і буде переміщатися за допомогою глгольного візка ГТ-1. Ця головка задовільняє всі необхідні режими зварювання, які необхідні для зварювання зовнішніх швів обичайок. Технічна характеристика зварювальної головки А-384 в таблиці 2.10.

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика випрямляча ВДУ – 1000

Назва параметру	Величина параметру
Напруга мережі живлення, В	3 х380
Частота мережі живлення, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А (при ТВ,%)	1000 (100%)
Межі регулювання зварювального струму, А	120 ... 1000
Номінальна робоча напруга, В	44
Напруга холостого ходу, В, не більше	55
Споживана потужність, кВА	50
Маса, кг, не більше	370
Габарити (Д * Ш * В), мм	580x700x1100



Рисунок 2.9 – Випрямляч зварювальний ВДУ – 1000



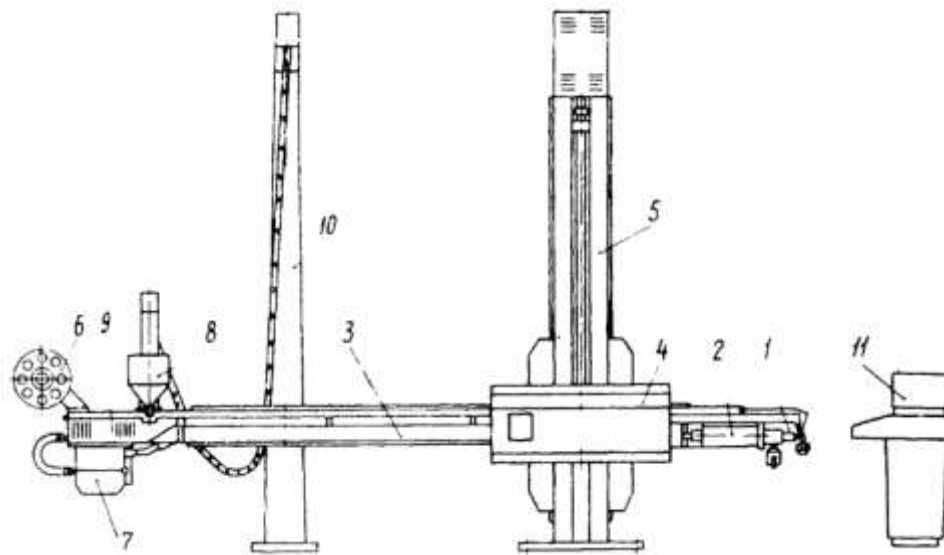
1– механізм подачі дроту; 2 – механізм правлення дроту; 3 – мундштук;  
 4– касета із електродним дротом ; 5 – штанга; 6 – поперечний коректор;  
 7 – бункер для флюсу; 8 – пульт управління.

Рисунок 2.10 – Зварювальна головка А – 384

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики зварювальної головки А – 384

Назва параметру	Величина параметру
Швидкість подачі дроту, м/год	28,5 – 225
Вертикальна настройка, мм	100
Сила струму, А	До 2000
Швидкість зварювання, м/год	13,5 – 112
Об'єм бункеру для флюсу, м <sup>3</sup>	20
Діаметр дроту, мм	3 – 6
Маса, кг	350

Із середини обичайки будуть зварювати установкою УСТП2-2500 (рис.2.12), розміри головки, яка кріпиться на штанзі, дозволяють проникнути в середину корпусу теплообмінника і заварити внутрішні шви.



Зварювальна головка – 1, камера – 2, консоль – 3 ,  
 каретка – 4, колона – 5, касета – 6, флюсовідвід – 7, бункер – 8,  
 механізму подачі флюсу – 9, стійка – 10, пульт управління – 11

Рисунок 2.12 – Зварювальна установка УСТП2 – 2500

Таблиця 2.11 – Технічні параметри УСТП2 – 2500

Найменування	Розміри, мм
Довжина корпусу, мм	до 6000
Найменший внутрішній діаметр корпусу при зварці внутрішніх стиків, мм	400
Найбільший внутрішній діаметр корпусу при зварці зовнішніх стиків, мм	1400
Товщина корпусу, мм	4 - 40
Габаритні розміри, мм	11760x2700x4400
Маса, кг	4650

Зварювальна установка УСТП2-2500 призначена для автоматичного зварювання під флюсом без внутрішніх і зовнішніх кільцевих стиків корпусів і секцій корпусу. Установка забезпечена системою промислового телебачення. Технічні параметри наведені в таблиці 2.11.

В готовому корпусі вирізається плазмовою різкою два отвори діаметром 200 мм, за допомогою плазмової різки апаратом CUT-100 (рис. 2.13) . Різка буде проводитися стиснутим повітрям, яке не потребує витрат. Технічна характеристика апарату наведена в таблиці 2.12.



Рисунок 2.13 – Апарат повітряно – плазмової різки *CUT – 100*

Таблиця 2.12 – Технічна характеристика апарата *CUT – 100*

Найменування параметру	Величина параметру
Напруга мережі (В)	380±15%
Частота мережі (Гц)	50
Номінальна споживана потужність (кВА)	15
Напруга холостого ходу (В)	270
Межі регулювання струму різання (А)	20-100
Робоча напруга при номінальному струмі (В)	120
ПВ (%)	60
Коефіцієнт електричної потужності, $\cos \varphi$	0,85
Міра ізоляції	F
Міра захисту	IP21
Вага (кг)	43
Габарити (мм)	540x215x300

Далі до цих отворів приварюються 2 штуцери напівавтоматичною зваркою в середовищі сумішей вуглекислого газу та аргону, що забезпечать меншу розбризкуваність металу та кращі механічні властивості швів. Відповідно до режимів зварювання вибираємо зварювальний напівавтомат ПДГ-508М (рис. 2.14). Технічна характеристика зварювального напівавтомата наведена в таблиці 2.13



Рисунок 2.14- Зварювальний напівавтомат ПДГ-508М

Таблиця 2.13 – Технічна характеристика апарата ПДГ – 508М

Найменування параметру	Величина параметру
Номінальна напруга мережі, В	380
Номінальний зварювальний струм при ПВ 60 %, А	500
Межі регулювання зварювального струму, А	60 – 500
Діаметр електродного дроту, мм	1,2 – 2,0
Межі ступньчастого регулювання швидкості подачі електродного дроту, м/год.	120 – 1200
Маса подаючого пристрою, кг	24
Габаритні розміри подаючого пристрою, мм	470x365x405

Далі у зварений корпус встановлюється трубний пучок, який приварюється до трубної решітки. Для приварювати її будемо використовувати орбітальне зварювання. Вибираємо установку PIPEMASTER 515 (рис. 2.15), яка дасть економію часу і усуне людський фактор [10]. Технічна характеристика наведена в таблиці 2.14. За допомогою зварювальної головки трубки центруються і зварюються з трубною решіткою. Джерело живлення постачається в комплекті і показане на рисунку 2.16. Технічна характеристика показана в таблиці 2.15.



Рисунок 2.15- Зварювальна головка для зварювання труб з трубною решіткою



Таблиця 2.14 – Технічна характеристика зварювальної головки 425

Найменування параметру	Значення параметру
Процес зварювання	GTAW
Діаметри вварювальних труб	від 10,0 до 140,2 мм
Функції голівки	Обертання пальника, подача присадного дроту, електронний контроль за довжиною дуги



Рисунок 2.16- Джерело живлення для орбітального зварювання

Таблиця 2.15- Технічна характеристика джерела живлення PIPEMASTER-515

Найменування параметру	Значення параметру
1	2
Процес зварювання	GTAW (Зварювання в газах вольфрамовим електродом)
Програмування	Цифровий программер. Мультирівневе програмування засноване на положенні пальника
Зварювальний струм на виході	до 200 А
Напруга живлення	200-400 В, АС (автовольтаж), 1 або 3 фази
Потужність джерела	4,0 кВа
Частота	50/60 Гц



Рисунок 2.17- Зварювання труб з трубною решіткою

Тип зварювальної головки орбітального зварювання моделі 425 це головка з відкритою дугою для використання на заздалегідь підігрітих трубних заготовках. Зварювальний пальник обертається навколо труби. Головка нерухома. Діапазони діаметрів зварюваних труб : модель 425: 10,0 мм - 140,2 мм. Пальник та корпус головки охолоджуються водою.

## **2.6 Вибір зварювальної оснастки**

При виготовленні теплообмінника потрібно використовувати зварювальну оснастку. При правильному виборі оснастки збільшується продуктивність праці, зменшується час на виготовлення продукції, автоматизується процес зварювання.

Для зварювання зовнішніх швів обичайок використовується зварювальна головка А-384. Тому, для переміщення головки із заданою швидкістю зварювання, як кільцевих так і повздовжніх швів вибираємо глагольний візок ГТ-1.

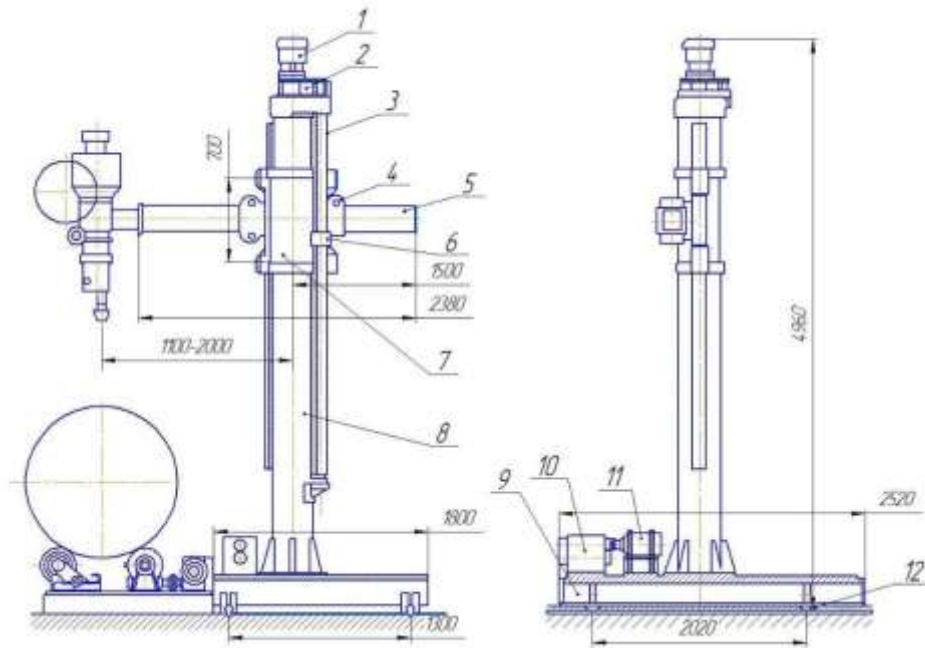
Візок переміщається на катках 12, електродвигуном 11, через редуктор, зубчасту і черв'ячну передачу, встановлених на платформі колони. Візок може переміщатися з робочою і маршевою швидкостями. Робоча швидкість міняється зміною числа оборотів електродвигуна постійного струму. Робоча швидкість перемикається на маршеву за допомогою електромагнітної муфти.

Вертикальне переміщення каретки з консоллю здійснюється від електродвигуна 1, через двоступінчасту передачу 2, ходовий гвинт 3, і гайку 6, укріплену на каретці. Каретка переміщається вертикальним напрямляючих стійки на 4-х роликах. Горизонтальне переміщення консолі по напрямляючій 4, здійснюється від електродвигуна, через двоступінчасту передачу, ходовий гвинт, і гайку закріплену на напрямляючій.

Загальний вигляд глагольного візка ГТ-1 показаний на рисунку 2.18. Технічна характеристика ГТ-1 наведена в таблиці 2.16

Таблиця 2.16 – Технічна характеристика ГТ – 1

Назва параметру	Величина параметру
Висота рівня зварювання, мм	700-2700
Виліт консолі від осі колони до осі електроду, мм	900-2000
Швидкість переміщення візка Робоча, м/хв Маршева, м/хв	19-77 13
Швидкість горизонтального переміщення консолі, м/хв	1
Швидкість подйому/опускання консолі, м/хв	2
Габаритні розміри (ДхЩхВ), мм	1800х3000х3960
Маса, кг	2230



1-електродвигун, 2- двоступінчаста зубчата передача ,3- ходовий гвинт, 4- напрямна,5- консоль , 6-гайка ,7- каретка ,8- стояк ,9-платформа ,10 - редуктор  
11- електродвигун ,12- катки

Рисунок 2.18 – Глагольний візок ГТ – 1

При збиранні обичайок під зварювання необхідно використовувати центруючий механізм. Тому, для забезпечення співвісності обичайки, та зменшення зміщення кромки вибираємо зовнішній ланцюговий центратор (рис. 2.19) відповідно до діаметру виробу.

Для обертання виробу зі швидкістю зварювання використовується роликостанд Т-30М, показаний на рисунку 2.20. Цей роликостанд підібраний відповідно до маси і розмірів корпусу теплообмінника

Станд призначений для обертання циліндричних виробів із зварювальною швидкістю при автоматичному зварюванні. А також для обертання виробів з маршевою швидкістю і встановлення їх в зручне положення при зварюванні, зборці, обробці, контролі і інших операцій зварювального виробництва. Технічна характеристика наведена в таблиці 2.17 [11].

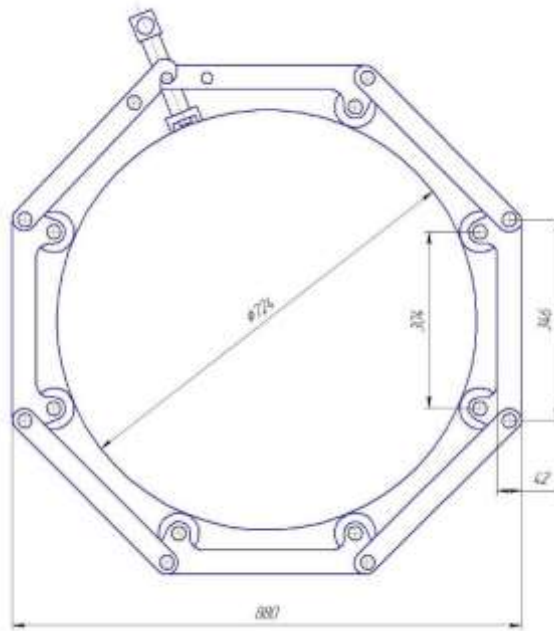


Рисунок 2.19 – Зовнішній центратор

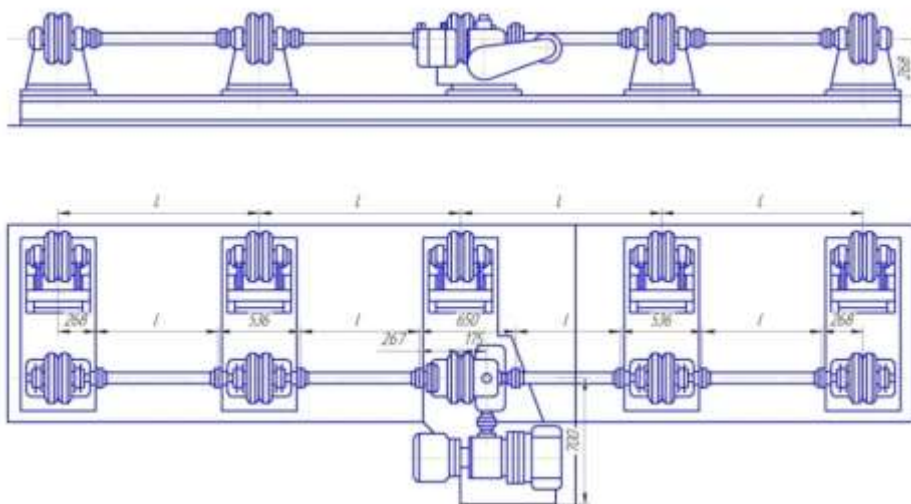


Рисунок 2.20 – Роликовий стенд Т – 30М

Таблиця 2.17 - Технічна характеристика роликового стенду Т-30М

Тип стенда	Діаметр виробу,м м	Діаметр роликів, мм	Електродвигун			Швидкість обертання,м/год	
			Тип	Потужність, кВт	Швидкість обертання	Робоча	Маршева
Т-30М	>350	270	А42-4	2,8	1420	8-130	130

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розроблення центруючого пристосування для обичайок

При виготовленні корпусу теплообмінника необхідно зварювати обичайки. Для забезпечення співвісності обичайок і зменшення зміщення кромки потрібний центруючий механізм. Тому, було розроблено зовнішній ланцюговий центратор обичайок.

Ланцюговий центратор має у своєму складі шарнірно з'єднані ланки, об'єднані у ланцюг. Внутрішні ланки мають ще й ролики для кочення трубною заготовки. Для складання центратора використовуються накидні гачки. Натягувальне зусилля в ланцюзі створюється гвинтом. Після суміщення кромки проводиться їх прихвачування [11]. Загальний вид ланцюгового центратора показано на рис. 3.1.

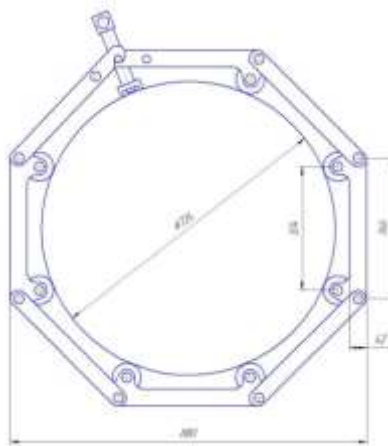


Рисунок 3.1 – Зовнішній центратор для обичайок

#### 3.2 Розрахунок центратора

Ланцюговий центратор представляє собою накидну конструкцію, яка при встановленні у робоче положення стягується за допомогою ланцюга і симетрично розміщених притисків, які дозволяють досягти максимального обтискання в локальних ділянках. Для запобігання пошкоджень виробу гвинт притискача має п'яту на шарнірі. Дана конструкція дозволяє надійно створити

необхідне радіальне зусилля в обичайці та є універсальним та зручним у використанні. [11]. В більшості випадків гвинти притискачів зазнають деформацію стиску і кручення.

### Розрахунок гвинта

Розрахунок гвинта починається з визначення найменшого внутрішнього діаметра гвинта. Найменший внутрішній діаметр  $d_{\text{вн}}$ , мм, гвинта залежить від розрахункового зусилля і допустимого напруження при крученні. Значення найменшого внутрішнього діаметра гвинта визначається за формулою (3.1):

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{1,27 \cdot P_0}{\tau_k}}, \quad (3.1)$$

де  $P_0$  – розрахункове зусилля, яке дорівнює  $P_0 = Z_0 P$ ;

$P$  – осьове зусилля у гвинті;

$Z_0$  – коефіцієнт, який враховує наявність п'яти:  $Z_0=2$  при відсутності п'яти і  $Z_0=1,4$  при її наявності;

$P$  – осьове зусилля на гвинті;

$\tau_k$  – допустиме напруження на кручення.

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 1,4 \cdot 50000}{70}} = 36 \text{ мм.}$$

Отриманий діаметр гвинта округляється до найближчого більшого згідно ДСТУ.

Якщо вільна довжина гвинта  $l_1 > 10 \cdot d_{\text{вн}}$ , то гвинт підлягає перевірці на поздовжній згин:

$$\sigma_x = \frac{1,27 \cdot P_0}{d_{\text{вн}}^2 \cdot \varphi_0} \leq \sigma_{\text{доп}}, \quad (3.2)$$

де  $\varphi_0$  – коефіцієнт зменшення основного допускового напруження на згин, вибирається з таблиці в залежності від  $l/r_0$ ;

$l$  – розрахункова довжина при поздовжньому згині, яка приймається рівною  $0,5l_1$  при жорсткому закріпленні кінця гвинта;  $r_0$  – радіус інерції.

Радіус інерції  $r_0$ , мм, визначається по формулі (3.3)

$$r_0 = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}}, \quad (3.3)$$

де  $I_{\min}$  – мінімальний момент інерції приблизно рівний  $0,05 d_{\text{вн}}^4$ ;

$F$  – площа сечення гвинта по внутрішньому діаметру.

В даному випадку  $l_1 < 10 \cdot d_{\text{вн}}$ , отже гвинт можна не перевіряти на поздовжній згин.

Гвинт також перевіряється на максимальне напруження від стискання та кручення. Напруження стискання  $\sigma_z$ , кг/см<sup>2</sup>, визначається по формулі (3.4):

$$\sigma_z = \frac{1,27 \cdot P}{d_{\text{вн}}^2}, \quad (3.4)$$

Підставивши дані у формулу отримаємо:

$$\sigma_z = 1,27 \cdot 5000 / 3,6^2 = 490 \text{ (кг/см}^2\text{)}.$$

Напруження кручення  $\tau_{\text{кр}}$ , кг/см<sup>2</sup>, обчислюємо по формулі (3.5):

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{кр}}}{\pi \cdot \frac{d^3}{16}}, \quad (3.5)$$

де  $M_{\text{кр}}$  – максимальний крутний момент на гвинті.

$$M_{\text{кр}} = M_1 + M_2, \quad (3.6)$$

де  $M_1$  – момент від сил тертя на різьбі;

$M_2$  – момент від сил тертя на опірній поверхні гвинта.



Момент від сил  $M_1$ ,  $H \cdot m$ , тертя на різьбі дорівнює:

$$M_1 = P \operatorname{tg}(\varphi + \rho) r_{cp}, \quad (3.7)$$

де,  $\varphi$  - кут підйому гвинтової лінії на середньому діаметрі;

$\rho$ - кут тертя для пари гвинт – гайка;

$r_{cp}$ - середній радіус різьби.

Момент від сил тертя на опорній поверхні гвинта  $M_2$  залежить від конструкції опорного елемента гвинта. В даному випадку розрахунок моменту тертя на опорній поверхні гвинта проводиться за формулою (3.8):

$$M_2 = \frac{1}{2} P R_0 f \operatorname{ctg} \alpha \quad (3.8)$$

де  $R_0$  – радіус шарової опори гвинта,  $18 \text{ мм}$ ;

$f$  – коефіцієнт тертя, рівний  $0,2$ .

Визначаємо моменти від сил тертя на різьбі і на опорній поверхні гвинта.

$$M_1 = 50000 \cdot \operatorname{tg}(2 + 30) \cdot 0,015 = 468 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$M_2 = 0,5 \cdot 50000 \cdot 0,01 \cdot 0,2 \cdot \operatorname{ctg} 120^\circ = 254 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$M_{\text{кр}} = 468 + 254 = 722 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Загальне напруження в гвинті можна визначити за формулами:

$$\sigma_0 = \sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau_k^2}, \text{ якщо } \sigma_z > \tau_k; \quad (3.9)$$

$$\sigma_0^1 = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_k^2}, \text{ якщо } \sigma_z < \tau_k. \quad (3.10)$$

Загальне напруження  $\sigma$  не повинно перевищувати величини  $\sigma_0 = 600 \text{ кг/см}^2$ .

В усіх зварювальних пристосуваннях гвинтові притискачі повинні бути самогальмуючими, тобто  $\alpha < \rho$ , де  $\alpha$  – кут піднімання гвинтової лінії на середньому діаметрі;  $\rho$  – кут тертя.

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Працездатність людини – оператора

Під працездатністю людини розуміють можливість її виконувати роботу з необхідною якістю та в установлений час. Працездатність людини залежить як від зовнішніх факторів, так і від внутрішнього стану.

До зовнішніх факторів належать: кількість та форма отриманої інформації, зручність робочого місця, характер взаємовідносин в колективі, вплив чинників середовища існування.

До внутрішніх факторів належать: рівень підготовки, тренуваність людини та її емоційна стійкість.

У процесі роботи людина переживає різні функціональні стани, які зумовлюють різні рівні її працездатності.

На рисунку 4.1 наведено зміни функціонального стану та якості роботи людини у процесі одного трудового циклу (зміни).

Виділяють 4 фази працездатності: пристосування до праці, стійкої працездатності, субкомпенсації, втоми. Тривалість усіх фаз та усього циклу роботи залежить від рівня підготовки людини до роботи [12].

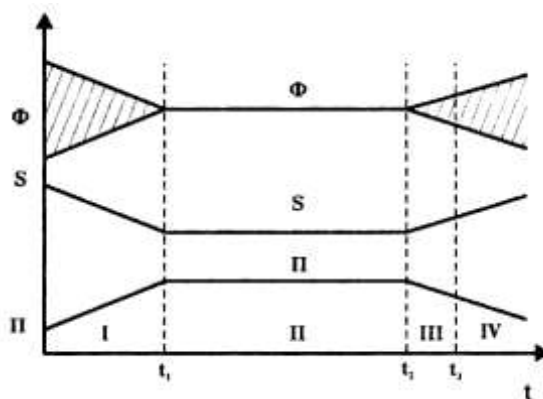


Рисунок 4.1 – Фази працездатності:  $\Phi$  – показник функціонального стану;

$B$  – помилки роботи;  $P$  – продуктивність праці.

Фаза пристосування до праці (0 – 1) – це час, протягом якого людина адаптується до майбутніх умов праці. Основний показник поступово досягає свого встановленого значення. Тривалість періоду пристосування організму до

умов праці залежить від багатьох чинників, серед яких основними є інтенсивність роботи (чим інтенсивніша робота, тим цей період коротший) та рівень готовності людини до майбутньої роботи.

Значного скорочення фази пристосування до праці можна досягти за рахунок попередньої підготовки людини до роботи (виконання фізичних вправ, адаптації зору, слуху та ін.) та шляхом посиленого навчального навантаження. Суть останнього полягає в тому, що оператор перед початком роботи проводить короткочасне тренування щодо розв'язання однієї чи кількох задач підвищеної складності.

Фаза стійкої працездатності ( $t_1 - t_2$ ) характеризується найвищою якістю праці при оптимальних рівнях функціонування фізіологічних систем організму. Тривалість цього періоду залежить від інтенсивності роботи. Чим інтенсивніша праця, тим коротший цей період. Найоптимальніша динамічна робота, коли цей період може бути в десятки разів довшим, ніж при статичній діяльності.

На процес стійкої працездатності великий вплив справляють емоції. Негативні (страх, невпевненість, поганий настрій) знижують працездатність. Позитивні (впевненість, спокій, бадьорий настрій) значно продовжують період стійкої працездатності.

Продовження періоду стійкої працездатності можна забезпечити:

- оптимальним рівнем напруги психофізіологічних функцій;
- комфортними умовами праці;
- правильним поєднанням режимів праці та відпочинку;
- емоційним розвантаженням;
- використанням тонізуючих напоїв (кава, чай), фармакологічних засобів, зокрема препаратів рослинного походження (вітаміни, препарати, які впливають на енергетичні та метаболічні процеси);
- інформуванням людини про наслідки її діяльності, наглядом та контролем її роботи.

Практичний досвід свідчить, що вживання легких стимуляторів допомагає знизити сонливість, сприяє підвищенню працездатності на короткий період.

Однак активні стимулятори на відповідальних видах робіт здатні викликати негативний ефект – погіршується самопочуття, знижується рухливість та швидкість реакцій. Поширене серед населення вживання транквілізаторів, викликаючи заспокоєння та запобігаючи розвитку неврозів, може знизити психічну активність, сповільнити реакції, спричинити апатію та сонливість.

Фаза субкомпенсації ( $t_2 - t_3$ ) розглядається як початок розвитку втоми. В цей період якість праці ще зберігається на високому рівні, але лише за рахунок перенапруги відповідних функцій організму.

Фаза втоми (з моменту у характеризується чітко вираженим зниженням якості роботи при подальшому погіршенні функціонального стану людини. Об'єктивними показниками втоми є зміна частоти пульсу, дихання, зорової та слухової чутливості.

Наступною фазою життєдіяльності людини повинна бути фаза відновлення працездатності (відпочинку), яка може тривати від 3 до 5 хвилин; 60 — 90 хв. і навіть декілька діб.

Під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання розвитку позотонічної (статичного) втоми доцільно виконувати спеціально розроблені комплекси вправ.

#### **4.2 Аналіз та характеристика потенційних небезпек та шкідливостей на дільниці цеху**

Процес виготовлення теплообмінника містить ряд технологічних операцій, які мають потенційну небезпеку та шкідливі фактори і які можуть загрожувати здоров'ю працівника.

Технологічний процес виготовлення теплообмінника вимагає нарізку листів на гільйотинних ножницях Н-478, які транспортуються за допомогою мостового крана КМ 16 ; зварювання листів та обичайок автоматичним зварюванням під флюсом; вирізка отворів в корпусі повітряно-плазмовою установкою CUT-100; приварювання штуцерів напівавтоматичним зварюванням

в середовищі сумішей газів вуглекислоти та аргону; приварювання опори до корпусу.

Так, під час виготовлення теплообмінника, на робочому місці виникають забрудненість та загазованість повітря, підвищений рівень шуму, опромінення ультрафіолетовими променями, можливі опіки, удари, притискачі. Тому, потрібно дотримуватись правил техніки безпеки та експлуатації обладнання [13, 14]. Аналіз та характеристика потенційно небезпечних виробничих факторів та їх допустимі значення показано в табл.4.1.

Таблиця 4.1-Аналіз потенційних небезпек виробничих факторів

Джерела небезпек	Характеристика потенційних небезпечних виробничих факторів та їх допустимі значення
1	2
Мостовий кран двохбалочний КМ16 (Q=16т). Тип двигуна МТН512-6, N=55кВт	Знаходження працівника у зоні можливого падіння вантажу, удари від подавальних пристроїв
Різка на гільйотинних ножницях Н-478 N=30кВт	Рівень звукової потужності при f=125Гц Lp=100дБ, фактичний Lp=115-120дБ, незахищені струмоведучі частини
Автоматичне зварювання під флюсом. Зварювальний трактор ТС-17, N=550Вт. Випрямлячч ВДУ-1000, N=57кВт	Виділення окислу марганцю 0,11-0,7мг/м <sup>3</sup> , допустимий 2,5-мг/м <sup>3</sup> . Високий струм до 1000А. Висока напруга 380В. Рівень звукової потужності Lp=108дБ при f=125Гц
Напівавтоматичне зварювання в середовищі аргону і вуглекислого газу. ПДГ-508М N=30кВт	Виділення окислів марганцю 0,2-1,8г/кг, метану (допустимий 0,3мг/м <sup>3</sup> [20], хрому 0,02-2 г(допустима 1мг/м <sup>3</sup> , окислу вуглецю 2,7г/кг(допустимий 20мг/м <sup>3</sup> . Високий струм до 500А, висока напруга 380В. Інфрачервоне випромінювання 140Вт/м <sup>2</sup> до 25% тіла[20], ультрафіолетове випромінювання при λ=280-315нм допустима величина 0,05Вт/м <sup>2</sup> , фактична 8Вт/м <sup>2</sup>
Повітряно-плазмова різка CUT-100 N=15кВт	Висока температура плазми 6000-2000 °С Допустимий рівень звукової потужності Lp=100дБ при f=125Гц . Ультрафіолетове випромінювання при λ=280-315нм допустима величина 0,05Вт/м <sup>2</sup> , інфрачервоне випромінювання 140Вт/м <sup>3</sup> . Випари окислу марганцю 0,3мг/м <sup>3</sup> , хрому 0,5 мг/м <sup>3</sup>
Аргоно-дугове орбітальне зварювання закритого типу. PIPEMASTER-515 N=4кВ·А	Струм 100А, напруга 380В. Випари окислу марганцю 0,3мг/м <sup>3</sup> , окислу хрому 0,1мг/м <sup>3</sup> , фтору 0,5 мг/м <sup>3</sup>
Рентгенівська установка РУП-400 U=250-400кВ I=5А, N=4кВ·А	Ураження регнтгенівськими променями. Допустима доза облучення 5 бер/рік

При зварюванні корпусу теплообмінника використовуються різні види зварювання, при яких виділяються шкідливі речовини, які негативно впливають на здоров'я людини та навколишнє середовище. Тому при зварюванні необхідно користуватися санітарно-гігієнічними вимогами до повітря робочої зони (ГОСТ 12.1.005-88. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони). Інтенсивність виділення шкідливих газів залежить від способу зварювання, марки зварювальних матеріалів і зварюваного металу. При виготовленні корпусу теплообмінника використовується сталь 09Г2С, та зварювальні матеріали: зварювальний дріт Св-О8ГА, Св-О8Г2С, зварювальний флюс АН-348А, вуглекислий газ та аргон.

#### **4.3 Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання та технологічних процесів**

Для забезпечення безпеки монтажу та експлуатації основного зварювального та допоміжного механічного обладнання, на складально-зварювальній ділянці з виготовлення корпусів теплообмінника передбачено ряд заходів:

- встановлення та монтаж установок виконують згідно з робочими кресленнями та монтажними планами;
- від ураження електричним струмом використовується захисні заземлення, захисні кожухи струмопідвідних частин обладнання;
- для захисту від світлового випромінювання ділянка зварювання обладнується огорожею, працюючим видається захисний одяг, маски, взуття та рукавиці;
- при експлуатації зварювального обладнання і електроустановок необхідно дотримуватися «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок промислових підприємств», [13].

Для забезпечення безаварійної, продуктивної і безпечної роботи зварювального трактора ТС-17 необхідно дотримувати правила його введення в

експлуатацію і технічне обслуговування при його роботі. Заходи, що проводяться з устаткуванням мають бути зафіксовані в паспорті - атестаті на цей тип устаткування. Введення зварювального трактора ТС-17 в експлуатацію проводиться відповідно до рекомендацій підприємства-виробника, які додаються до технічного паспорта.

Перевірку, монтаж і введення в експлуатацію зварювального трактора ТС-17 проводять в спеціальних підрозділах, а не на робочих місцях. Допускається монтаж і введення в експлуатацію зварювального устаткування на робочих місцях, якщо воно є частиною автоматичної лінії або має великі габаритні розміри і масу. При цьому заздалегідь проводять підготовку до монтажу кожного вузла устаткування.

Перед введенням в експлуатацію нового зварювального трактора ТС-17 необхідно провести ряд заходів. А саме, зняти консервуюче мастило з усіх вузлів комплексу, провести огляд кожного вузла і перевірити: усі кріпильні з'єднання і при необхідності їх підтягнути; опір ізоляції обмоток трансформатора джерела живлення і електроприводів, що входять до складу ходових візків, подаючих механізмів і т. д.; систему подачі флюсу.

Після закінчення огляду і проведення необхідних випробувань провести збірку або монтаж зварювального трактора ТС-17 і перевірити його роботу в режимах холостого ходу і при роботі під навантаженням, а також при необхідності - в режимі короткого замикання; отримані дані зіставити з вказаними в технічному паспорті, оформити документацію на проведені випробування і здати по акту це устаткування в підрозділ, де воно експлуатуватиметься.

Технічне обслуговування діючого зварювального устаткування спрямоване на попередження його несвоєчасного виходу з ладу. У технічне обслуговування входять профілактичні огляди і плановий ремонт устаткування. Профілактичні огляди проводять відповідно до інструкції з експлуатації зварювального трактора ТС-17, затвердженою головним зварювальником, а за відсутності його - головним інженером підприємства. При проведенні

профілактичних оглядів необхідно звертати увагу на стан джерела живлення ВДУ-1000, зварювальних автоматів (ТС-17) , а також на стан заземлення устаткування, надійності ізоляції зварювального кабелю і приєднувальних дротів. При виявленні різного роду забруднень, порушення ізоляції зварювального кабелю або опору контуру заземлення необхідно зафіксувати виявлені дефекти в спеціальному журналі для профілактичних оглядів і повідомити адміністративне обличчя цього підрозділу [13, 14].

Плановий ремонт зварювального трактора ТС-17 полягає в огляді і заміні певних вузлів згідно інструкції по технічному обслуговуванню, що додається до паспорта підприємством-виробником. Ремонт зварювального трактора проводять спеціальні ремонтні підрозділи, що входять в підпорядкування головного енергетика, головного механіка або в окремих випадках головного зварювальника. Випробування зварювального трактора після ремонту повинні проводитися такими, що налагоджують. Допуск операторів-зварювальників до наладки і ремонту зварювального трактора ТС-17 категорично забороняється. Періодичність планового ремонту повинна відповідати рекомендаціям заводу-виробника зварювального трактора і виконуватися строго по затвердженому плану. У таблиці 4.3 наведені міри захисту від виявлених потенційних небезпек виробничих факторів.

Також при виготовленні корпусу теплообмінника на складально-зварювальній ділянці механічного цеху необхідно дотримуватися наступних вимог техніки безпеки :

- забороняється заземлювати окремі частини обладнання паралельно;
- кожний пристрій, який відноситься до заземлення повинен безпосередньо бути заземлений;
- робота на зварювальному обладнанні дозволяється при наявності надійного заземлення зварювального джерела, шафи живлення та самого автомата;
- місце зварювання необхідно обгороджувати щитами;
- забороняється наявність біля місця зварювання легкозаймистих речовин;



- зварювальники можуть бути допущені до роботи після детального інструктажу з техніки безпеки;
- зварювальники повинні мати рукавиці, спецодяг та взуття;
- підключення, відключення та ремонт зварювального обладнання повинен проводити лише наладчик;
- відповідальність за техніку безпеки на дільниці несе начальник дільниці або майстер [14].

Таблиця 4.3- Технічні заходи захисту від виявлених потенційних небезпек виробничих факторів

<b>Небезпечний фактор виробничого середовища</b>	<b>Проектний або вибраний захисний засіб</b>	<b>Технічна характеристика пристрою або захисту</b>	<b>Місце розміщення на плані або на обладнанні, час використання</b>
Електротравматизм від струмопідвідних частин обладнання	Заземлення, подвійна ізоляція	Недоступність струмопідвідних частин. Відсутність небезпеки заземлення на корпус.	Постійне використання. При пошкодженій ізоляції дії заземлення
Пошкодження шкіри рук та очей стружкою металу	Захисне огороження, захисні окуляри тип 0,6;06-72 ГОСТ 4.013-79; спецодяг МН ГОСТ 4.010-75, спец.рукавиці МН ГОСТ 4.010-75	Огородження повинно забезпечувати максимальний захист працюючих. Окуляри захисні з прямою вентиляцією	По всій довжині виробу. Постійне використання
Травми органів зору через випромінювання	Захисне огороження, використання засобів індивідуального захисту, світлофільтри	Огородження повинно забезпечувати максимальний захист працюючих	Навколо місця зварювання. Постійне використання
Отруєння шкідливими речовинами	Вентиляційні установки	Зниження рівня концентрації шкідливих речовин у робочій зоні до гранично допустимого	Біля джерела виділення шкідливих речовин. Використання під час проведення технологічних операцій

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра було розроблено технологію виготовлення корпусу кожухотрубного теплообмінника DCE-143C, який складається з обичайки, фланців, штуцерів, трубного пучка, трубної решітки та опор.

Для зварювання обичайок та фланців було запропоноване автоматичне дугове зварювання під флюсом. Для приварювання штуцерів запропоновано механізоване дугове зварювання в середовищі суміші вуглекислого газу та аргону, яке дозволить підвищити продуктивність, зменшить розбризкування електродного металу, покращить властивості зварних швів. Для зварювання трубного пучка з трубною решіткою було обрано орбітальне дугове зварювання, яке скоротить час зварювання і покращить якість зварного шва в порівнянні з ручним дуговим зварюванням в середовищі аргону. Опора зварюватиметься з листів напівавтоматичним зварюванням в середовищі суміші газів  $CO_2 + Ar$ . У відповідності з технологією виготовлення було розраховано режими зварювання, підібрано раціональне основне зварювальне обладнання та оснастку.

Для складально-зварювальних операцій виготовлення обичайки розроблено зовнішній ланцюговий центратор, який дозволяє забезпечити співвісність обичайки, зменшити зміщення кромки, а також скоротити робочий час та собівартість виготовлення корпусу теплообмінника DCE-143C.

В приведеній кваліфікаційній роботі бакалавра запропоновано заходи із безпеки життєдіяльності та охорони праці, щодо зміни функціонального стану та якості роботи оператора зварювальних установок у процесі одного трудового циклу та щодо зменшення впливу потенційних небезпек і шкідливих факторів на здоров'я робітників на складально-зварювальній ділянці з виготовлення корпусів теплообмінника, що дозволило підвищити безпеку праці, попередити виробничий травматизм та професійні захворювання.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Маньковский О.Н. Теплообменная аппаратура химических производств [Текст] / О.Н. Маньковский – Л.:Химия-1976. –384с.
2. Марочник сталей и сплавов [Текст] / Под ред. Зубченко А.С. –М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
3. Костін О.М. Зварювальні матеріали [Текст]: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
4. Гитлевич А.Д. Механизация и автоматизация сварочного производства [Текст] / А.Д. Гитлевич, Л.А. Этингоф . – М.: Машиностроение, 1997. – 280 с.
5. Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів. Державний нормативний акт з охорони праці. - К., 1995. - 166 с.
6. Рыжков Н.И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении: Организация и технология [Текст] / Н.И. Рыжков. – М.: Машиностроение, 2000. – 375 с.
7. ДСТУ EN ISO 9692-2:2014 Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 2. Дугове зварювання сталей під флюсом, [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=83061](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83061)
8. Дугове зварювання в захисному газі. З'єднання зварні [Текст]: ГОСТ 14471-76. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 39с.
9. Акулов А.И. Технология и оборудования сварки плавлением [Текст] / А.И. Акулов – М.:Машиностроение,1977, – 432с.
10. Богущкий О.А. Зварювальне обладнання [Текст]: довідниковий посібник / О.А. Богущкий .– Краматорськ : ДДМА, 2009. – 71с.
11. Куркин С.А. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: Атлас / С.А. Куркин , В.М. Ховов . – М.: Машиностроение,1999. – 327с.
12. Бедрій Я. І. Безпека життєдіяльності. – К.: Київ, Кондор, 2009. 286 с.

13. Жидецький В.Ц., Джигірей В.С. Основи охорони праці. – Львів:”Афіша”, 2000.-350 с.
14. Геврик Є.О. Охорона праці. – К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.
15. Мастенко В. Особливості зміни величини теплової потужності і погонної енергії при різних способах автоматичного наплавлення під флюсом / Мастенко В., Татарин Б., Підгурський М. // Вісник ТДТУ. — 2010. — Том 15. — № 2. — С. 86-93.