

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

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

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Обґрунтування параметрів процесу  
автоматизованого зварювання корпусу кожухотрубної секції  
водяного теплообмінника**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МП<sub>М</sub>-61  
спеціальності \_\_\_\_\_

131 «Прикладна механіка»  
(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_  
(підпис) Горбань Ю.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис) Барановський В.М.  
(прізвище та ініціали)

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

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис) Окіпний І.Б.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2022

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц.

Окіпний І.Б

(прізвище та ініціали)

(підпис)

«    »

2022 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Горбань Юрій Ігорович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування параметрів процесу автоматизованого зварювання кожухотрубною секції водяного теплообмінника

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

Затверджені наказом ректора від «11» листопада 2022 року № 4/7-904

2. Термін подання студентом завершеної роботи . 15.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: ескізний проект деталі, базовий процес зварювання кожухотрубною секції

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

1. Аналітична частина. 2. Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська частина. 4. Проектна частина. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів):  
креслення кожухотрубною секції водяного теплообмінника, базовий технологічний процес зварювання



## РЕФЕРАТ

Горбань Ю.І. Обґрунтування параметрів процесу автоматизованого зварювання кожухотрубної секції водяного теплообмінника. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 131 Прикладна механіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2022.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, 5 розділів пояснювальної записки, 7 додатків і списку використаних джерел з 16 найменувань. Основний зміст пояснювальної записки виконано на 80 сторінках, має 30 рисунків і 16 таблиць.

Мета роботи – підвищення показників якості зварювання виробів шляхом обґрунтування параметрів автоматизованого електродугового зварювання кожухотрубної секції водяного теплообмінника.

У кваліфікаційній роботі наведено аналіз існуючої та розроблено вдосконалену технологію виготовлення кожухотрубної секції водяного теплообмінника.

Розраховано параметри режимів дугового зварювання, вибрано необхідне зварювальне обладнання.

У розділі з безпеки життєдіяльності та охорони праці наведено вимоги до виконання зварювальних робіт, які забезпечують безпечні умови праці.

**Ключові слова:** *технологія, захисний газ, флюс, шов, електрод, струм, напруга, виріб, устаткування, складально-зварювальне пристосування.*

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	9
1.1. Опис конструкції виробу .....	9
1.2. Обґрунтування вибору конструкційного матеріалу зварної металоконструкції .....	10
1.2.1. Характеристика сталі .....	11
1.2.2. Зварюваність сталі .....	13
1.3. Технологія зварювання сталей .....	15
1.3.1. Технології зварювання низьколегованих сталей .....	15
1.3.2. Особливості зварювання високолегованих сталей і сплавів ..	18
1.4. Постановка задач та методи їх вирішення .....	19
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	20
2.1. Механіко-технологічні передумови зварювання кожухотрубної секції теплообмінника .....	20
2.2. Результати досліджень розподілу струму у зоні зварювання ....	28
2.3. Формування швів при зварюванні з присадним дротом .....	31
3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	36
3.1. Аналіз базової технології .....	36
3.2. Вибір способу зварювання .....	38
3.3. Вибір зварювальних матеріалів .....	44
3.4. Розрахунок параметрів режимів зварювання кожухотрубної секції .....	47
3.4.1. Розрахунок стикового зварного з'єднання для зварювання поздовжнього шва обичайки .....	47
3.4.2. Розрахунок режимів зварювання таврового з'єднання для зварювання кільцевого шва обичайки з трубою дошкою .....	52
4. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА .....	55
4.1. Вибір зварювального обладнання .....	55
4.2. Контроль якості .....	64

4.2.1. Контроль за зовнішнім оглядом .....	65
4.2.2. Ультразвукова дефектоскопія .....	66
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	69
5.1. Аналіз характеристик потенційних небезпек та шкідливих умов під час виготовлення виробу .....	69
5.2. Дія вібрації на організм людини і розробка заходів для їх зниження .....	71
5.3. Розрахунок повітрообміну в приміщенні діляниці зварювання деталей .....	75
ВИСНОВКИ .....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	81
ДОДАТКИ .....	83

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Актуальність обраної теми обумовлена тим, що ручне зварювання в середовищі захисних газів занадто трудомістка, вимагає великої кількості кваліфікованих кадрів, порівняно дорога, і, звичайно, не може забезпечити однорідність продукції.

В автоматизації дугового електрозварювання за останні роки досягнуто таких успіхів, що вже зараз цей процес за ступенем автоматизації основних операцій може вважатися одним з найбільш передових та прогресивних технологічних процесів у металообробці. Механізація та автоматизація зварювального виробництва є одним з найважливіших засобів підвищення продуктивності праці, підвищення якості зварних конструкцій, вдосконалення умов праці, зменшення шкідливого впливу на організм зварювальника.

**Метою дослідження** є підвищення якості зварних з'єднань шляхом обґрунтування параметрів автоматизованого процесу дугового зварювання кожухотрубної секції водяного теплообмінника.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати умови роботи кожухотрубної секції;
- підібрати та обґрунтувати проєктований спосіб зварювання металоконструкції;
- здійснити необхідні розрахунки режимів зварювання;
- розробити технологію складання-зварювання корпусу кожухотрубної секції;
- вибрати та обґрунтувати заготівельне, зварювальне та складальне обладнання.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес автоматизованого процесу дугового зварювання кожухотрубної секції водяного теплообмінника.

**Предмет дослідження** – параметри та режими автоматизованого електродугового зварювання під флюсом кожухотрубної секції водяного теплообмінника.

**Методи дослідження.** У процесі розробки дипломного проекту використано такі методи:

- теоретичні методи, що включають аналіз спеціальної наукової та технічної літератури, а також узагальнення, порівняння, конкретизація даних, розрахунки;

- емпіричні методи, що включають вивчення практичного досвіду та спостереження.

**Отримані результати.** Запропоновано удосконалену технологію збирання та процес автоматизованого електродугового зварювання під флюсом кожухотрубною секції водяного теплообмінника та обґрунтовано основні параметри зварювання.

**Практичне значення.** Результати роботи можна застосовувати під час розрахунку параметрів і режимів електродугового зварювання.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Окремі результати роботи доповідались на XI міжнародній науково-практичній конференції "Актуальні питання сучасних технологій" 7-8 грудня 2022 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 80 сторінок, у тому числі 30 рисунків, 16 таблиць, бібліографії із 16 джерел на двох сторінка.

**Ключові слова:** *корпус, обичайка, трубна дошка, сталь 16ГС, параметри, сила струму, напруга дуги, зварювальне обладнання.*



## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Опис конструкції виробу

Кожухотрубна секція є складовою водяного підігрівача, що працює під тиском та під впливом середньо агресивного середовища.

Кожухотрубна секція складається з обичайки 1 (рис. 1.1), трубок 2 поверхні нагріву, двох патрубків з фланцями 3 та трубних дощок.

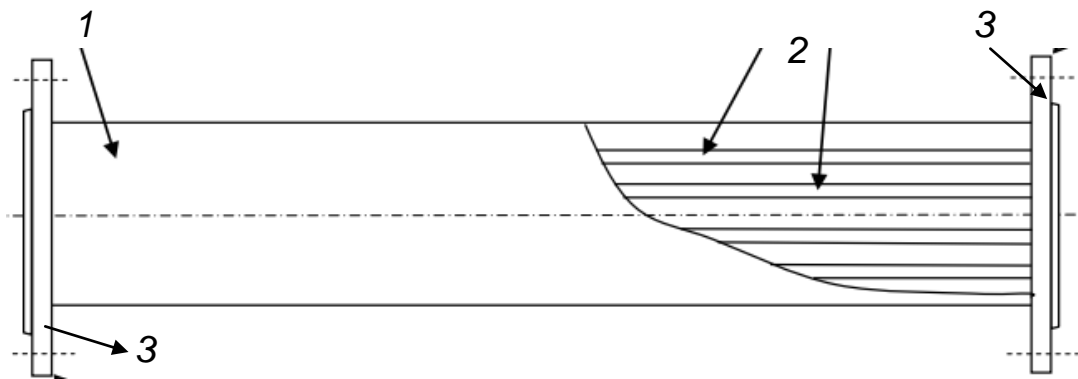


Рисунок 1.1 – Ескізний проект кожухотрубної секції водяного теплообмінника: 1 – обичайка; 2 – трубки; 3 – трубна дошка

Водяний теплообмінник – це пристрій, який застосовується в системах громадського опалення житлових і нежитлових приміщень, гарячого водопостачання, виробничих та комунально-побутових будівель, призначених для здійснення теплообміну між двома середовищами, що мають різні температури, причому середовищем нагріву є вода, що має високу температурою, а середовищем, що обігрівается, є вода з меншою температурою.

У більшості випадків водою, що підігриває, є вода взята з центральної системи опалення, а водою, що обігривается, є холодна вода з центральної системи подачі води.

Технічна характеристика кожухотрубної секції водяного теплообмінника наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика кожухотрубної секції водяного теплообмінника

Найменування параметра	Значення параметра
Тип апарату	ТН з жорстким кожухом і нерухомими трубними решітками
Робочий тиск, МПа	1,6
Тиск розрахунковий, МПа	1,8
Тиск при гідровипробуванні, МПа	2,3
Середовище нагрівання	Вода з центральної системи опалення
Середовище підігрівання	Вода з центральної системи подачі холодної води
Матеріал основних деталей зварювання	Сталь 16ГС Сталь 08Х18Н10Т
Діаметр кожуха зовнішній, мм	325
Діаметр кожуха внутрішній, мм	305
Температура середовища нагрівання та підігрівання, °С	0-150
Довжина теплообмінних труб, мм	2000
Зовнішній діаметр теплообмінних труб, мм	20
Товщина стінки теплообмінних труб, мм	2
Число ходів по трубах	2
Схема розташування труб в трубних решітках і перемичках	По вершинах рівносторонніх трикутників

## 1.2 Обґрунтування вибору конструкційного матеріалу зварної металоконструкції

Для зварювання корпусу водяного теплообмінника використовується сталь 16ГС, так як середовище, що гріє, має наступні показники:

1 - наявність розчиненого кисню близько 0,05 мг/куб або його повна відсутність;

2 - рН або ступінь кислотності в межах 8.0 - 9.5;

3 - вміст заліза не більше 0,5-1 мг/л;

4 - показник жорсткості близько 7-9 мг екв/л;

Отже використання високо легованої сталі недоцільно.

### 1.2.1 Характеристика сталі

Конструкційним матеріалом зварної металоконструкції є сталь 16ГС за ГОСТ 4543-71.

Сталь 16ГС - конструкційна, нелегована якісна кремнієво-марганцевиста, призначена для виготовлення деталей та частин, які працюють у значних температурних режимах:

- парових котлів та судин, що працюють під тиском;
- корпусів апаратів, днищ, фланців та ін. деталі, що працюють при температурах від -40 до +475 град. під тиском.

Хімічний склад сталі 16ГС наведено у табл. 1.2, а механічний склад матеріалу, або сталі 16ГС [1] наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 16ГС по ГОСТ 4543-71 в %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Cu	As
0.12- -0.18	0.4- 0.7	0.9- 1.2	до 0.3	до 0.035	до 0.03	до 0.3	до 0.12	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Таблиця 1.3 – Механічний склад матеріалу, або сталі 16ГС при  $T = 20^{\circ}\text{C}$

Сортамент	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{Т}}$	$\delta_5$	KCU
Единиця измерения	МПа	МПа	%	кДж / м <sup>2</sup>
Лист, ГОСТ 5520-79	450-490	275-325	21	590

Тут в таблиці:

- $\sigma_{\text{в}}$  – межа короткочасної міцності, МПа;
- $\sigma_{\text{Т}}$  – межа пропорційності (межа пластичності для залишкової деформації), МПа;
- $\delta_5$  – відносне подовження при розриві, %;
- KCU – ударна в'язкість, кДж/м<sup>2</sup>.

Технологічні властивості сталі 16ГС наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Технологічні властивості сталі 16ГС

Зварюваність	Без обмежень
Флуkenочутливість	Не чутлива
Схильність до відпускної крихкості	Не схильна

Для виготовлення трубного пучка використовується сталь 08X18H10T.

Сталь 08X18H10T є аустенітного класу, корозійно-стійка жароміцна, призначена для зварної апаратури.

Матеріал Сталь 08X18H10T працює в середовищах підвищеної агресивності, теплообмінники, муфелі, труби, деталі пічної арматури, електроди іскрових запалювальних свічок.

Хімічний склад сталі 08X18H10T наведено у табл. 1.5.

Механічний склад матеріалу, або сталі 08X18H10T [1] наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад сталі 08X18H10T по ГОСТ 4543-71 в %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	
до0.08	до 0.8	до 2	9 - 11	до 0.02	до 0.035	17 - 19	до 0.3	(5C – 0,7 Ti, остальное Fe

Таблиця 1.6 – Механічний склад матеріалу, або сталі 08X18H10T при T = 20 °C

Сортамент	$\sigma_b$	$\sigma_T$	$\delta_5$	KCU
Единица измерения	МПа	МПа	%	кДж / м <sup>2</sup>
Трубы, ГОСТ 11068-81	530	216	37	590

Для виготовлення трубних дощок використовується низьколегована сталь 16ГС з покритим плакуючим шаром із сталі 08X18H10T.

Хімічний склад основної сталі та плакуючого шару вказано в табл. 1.2 та табл.1.5.

Механічні властивості сталі 08X18H10T зазначені у табл.1.3 та табл. 1.6.

### 1.2.2 Зварюваність сталі

Зварюваність – здатність металів утворювати при заданій технології зварювання, якісне з'єднання, що задовольняє експлуатаційні вимоги.

Зварюваність металів можна оцінити заздалегідь розрахунковим шляхом. Для цього використовують відомості про хімічний склад, характеристики з'єднань, що підлягають зварюванню, та параметри технологічних умов зварювання.

Гарячі тріщини – це крихкі міжкристалічні руйнування металу шва та зони термічного впливу, що виникають у твердо-рідкому стан при завершенні кристалізації, а також у твердому стані при високих температурах на етапі переважного розвитку міжзернової деформації.

Вони можуть виникати при несприятливому поєднанні деяких факторів, пов'язаних із зниженням деформаційної здатності металу внаслідок наявності у структурі легкоплавкої евтектики, дефектів кристалічної будови, виділення крихких фаз, включення водню (воднева хвороба) тощо.

Визначимо схильність до утворення гарячих тріщин сталі 16ГС та сталі 08Х18Н10Т за формулою (1.1)

$$HCS = \frac{C \left( S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) 1000}{3Mn + Cr + Mo + V} \quad (1.1)$$

де HCS – параметр, що оцінює схильність зварних швів до утворення тріщин, %

С – вміст вуглецю, %; Mn – вміст марганцю, %; Cr – вміст хрому, %; V – вміст ванадію, %; Mo – вміст молібдену, %; Ni – вміст нікелю, %; Cu – вміст міді, %; P – вміст фосфору, %.

$$HCS_{16ГС} = \frac{0.16 * \left( 0.025 + 0.025 + \frac{0.6}{25} + \frac{0.2}{100} \right) * 1000}{3 * 1.1 + 0.2} = 3.47\%$$

$$HCS_{08Х18Н10Т} = \frac{0.07 * \left( 0.01 + 0.025 + \frac{0.7}{25} + \frac{10}{100} \right) * 1000}{3 * 1 + 18} = 0,54\%$$

Так як розрахункове значення параметра HCS менше 4, поява гарячих тріщин малоймовірно.

Чутливість зварного з'єднання до утворення холодних тріщин оцінюють еквівалентним вмістом вуглецю в металі, що зварюється.

Еквівалент вуглецю  $C_{\text{екв}}$ , %, визначають за емпіричними формулам, одна з яких має такий вигляд

$$\begin{aligned} C_{\text{екв.}} &= C + \text{Mn}/6 + \text{Cr}/5 + \text{Mo}/4 + \text{V}/5 + \text{Ni}/15 + \text{Cu}/13 + \text{P}/2 \quad \% \\ C_{\text{екв.16ГС}} &= 0,16 + 1,1/6 + 0,2/5 + 0/4 + 0/5 + 0,2/15 + 0,2/13 + 0,025/2 = \\ &= 0,16 + 0,18 + 0,04 + 0 + 0 + 0,014 + 0,16 + 0,0125 = 0,40\% \end{aligned} \quad (1.2)$$

де  $C_{\text{екв}}$  – загальний еквівалент вуглецю,

C, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu, P – вміст легуючих елементів %.

Відсотковий вміст від  $0,35\% \leq C_{\text{екв}} \leq 0,45\%$  говорить про обмежену зварюваність сталі необхідний додатковий підігрів.

Температура додаткового підігріву для сталі 16ГС розраховується за формулою (1.3)

$$T = 350 * \sqrt{C - 0,25} \text{°C} \quad (1.3)$$

де C – вміст вуглецю, %.

При цьому:

$$C = C_{\text{екв}} + C_s; \quad (1.4)$$

$$C_s = 0,005 S C_{\text{екв}}$$

де S – товщина металу, мм.

$$C_s = 0,005 * 10 * 0,40 = 0,02$$

$$C = 0,40 + 0,02 = 0,42$$

$$T = 350 * \sqrt{0,42 - 0,25} \text{°C} = 350 * 0,42 = 147 \text{°C}$$

Додатковий підігрів при зварюванні сталі 16ГС дорівнює 147°C.

Визначення структури високолегованої сталі здійснюється за діаграмі Шеффлера. Для цього спочатку для сталі розраховується еквівалентні значення хрому та нікелю:

$$\text{ЭквCr} = \%Cr + \%Mo + 2 \cdot \%Ti + 2 \cdot \%Al + \%Nb + 1,5 \cdot \%Si + \%V \quad (1.6)$$

$$\text{ЭквCr} = 18 + 2 \cdot 0,8 + 1,5 \cdot 0,8 = 20,8\%$$

$$\text{ЭквNi} = \%Ni + 30 \cdot \%N + 0,5 \cdot \%Mn \quad (1.7)$$

$$\text{ЭквNi} = 10 + 30 \cdot 0,12 + 0,5 \cdot 2,0 = 14,6\%$$

За значеннями ЕквCr і ЕквNi на діаграмі Шеффлера наноситься точка, відповідна аустенітній структурі сталі – точка 1 (рис. 1.2)

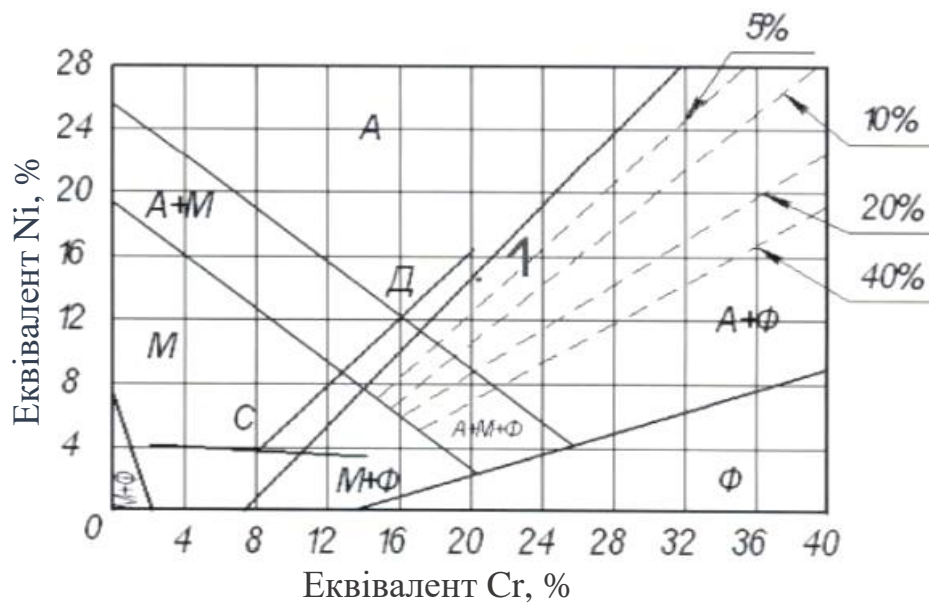


Рисунок 1.2 – Діаграма Шеффлера (точка 1 – структура сталі 08X18N10T)

### 1.3 Технологія зварювання сталей

#### 1.3.1 Технології зварювання низьколегованих сталей

У промисловості під час виробництва зварних конструкцій широко використовують низьковуглецеві низьколеговані сталі. Сумарне вміст легуючих елементів у цих сталях не перевищує 4,0% (не рахуючи вуглецю), а вуглецю 0,25%.

Залежно від легуючих елементів, що вводяться в сталь низьколеговані сталі поділяють на марганцеві, кремнієво-марганцеві, хромо-кремнієво-келемедисті і т. д.

Наявність марганцю в сталях підвищує ударну в'язкість і холодноламкість, забезпечуючи задовільну зварюваність. Порівняно з іншими низьколегованими сталями марганцеві сталі дозволяють отримувати зварні з'єднання вищої міцності при знакозмінних і ударних навантаженнях.

Введення в низьколеговані сталі невеликої кількості міді (0,3-0,4%) підвищує стійкість сталі проти корозії (атмосферної та в морській воді). Для виготовлення зварних конструкцій низьколеговані сталі використовують у гарячекатаному стані.

Термічна обробка покращує механічні властивості сталі, які, однак, залежить від товщини прокату. Особливо важливо, що при цьому може бути досягнуто значного зниження температури порога холодноламкості. Тому деякі марки низьколегованих сталей для виробництва зварних конструкцій використовують після зміцнення термічної обробки.

Електроди для зварювання низьколегованих сталей ручним дуговим зварювання мають низько-водневе фтористо-кальцієве покриття. Широко застосовують електроди типу Е70 згідно з ГОСТ 9467-75. Зварювання виконують постійним струмом при зворотній полярності.

Метал, наплавлений електродами повинен відповідати наступному хімічному складу, %: С до 0,10; Мп 0,8 ... 1,2; Si 0,2 ... 0,4; Cr 0,6 ... 1,0; Мо 0,2 ... 0,4; Ni 1,3 ... 1,8; S до 0,03; Р до 0,03.

Зварювальний струм вибирають залежно від марки та діаметра електрода, при цьому враховують положення шва в просторі, вид з'єднання і товщину металу, що зварюється.

Зварювання технологічних ділянок потрібно проводити без перерв, не допускаючи охолодження зварного з'єднання нижче температури попереднього підігріву та нагрівання його перед виконанням наступного проходу вище 200°.

Особливості зварювання низьколегованих сталей під флюсом (рис. 1.3) полягають у її проведенні на постійному струмі зворотної полярності.

Сила струму не повинна перевищувати 800 А, напруга дуги — не більше 40, швидкість зварювання змінюють в межах 13 ... 30 м / год.



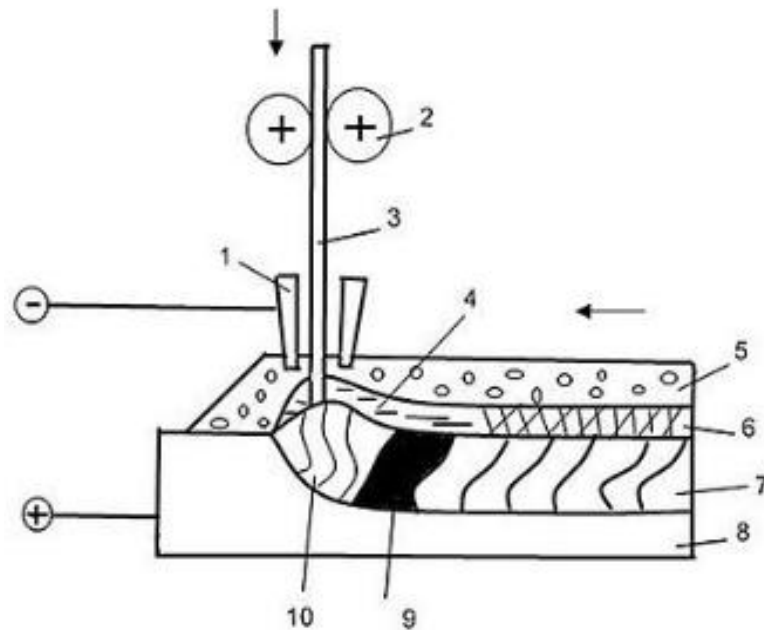


Рисунок 1.3 – Схема електродугового зварювання низьколегованих сталей під шаром флюсу: 1 – струмопровід; 2 – механізм переміщення дроту; 3 – дріт; 4 – рідкий шлак; 5 – флюс; 6 – шлакова кірка; 7 – зварний шов; 8 – основний метал; 9 – рідкий метал; 10 – електрична дуга

Одностороннє однопрохідне зварювання застосовують для з'єднань товщиною до 8 мм і виконують на сталій підкладці, що залишається, або флюсової подушки. Максимальна товщина з'єднань без обробки крайок, що зварюються двосторонніми швами, не повинна перевищувати 20 мм.

Якщо зварювання низьковуглецевих та низьколегованих сталей здійснюється в захисному газі, то як електрод застосовують дріт марок Св-08Г2С, Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2Г2СМЮ (ГОСТ 2246-70) або порошковий дріт. При зварювальних роботах у сумішах на основі аргону використовують дріт марки Св-08ХН2ГМЮ, яка забезпечує високий рівень механічних властивостей та холодостійкість металевих швів при зварюванні сталей із міцністю до 700 МПа.

Дроти вказаних марок рекомендуються і для зварювання кутових швів із катетом понад 15 мм.

Для кутових швів з меншим катетом у більшості випадків використовують дріт марки Св-08Г2С.

### 1.3.2 Особливості зварювання високолегованих сталей і сплавів

У порівнянні з низьковуглецевими сталями більшість високолегованих сталей і сплавів мають знижений коефіцієнтом теплопровідності (до 2 разів за підвищених температур) та збільшеним коефіцієнтом лінійного розширення (до 1,5 раза).

Низький коефіцієнт теплопровідності призводить при зварюванні до концентрації тепла і внаслідок цього збільшення проплавлення металу виробу. Тому для отримання заданої глибини проплавлення слід знижувати величину зварювального струму на 10 – 20%.

Пори при зварюванні високолегованих сталей викликаються воднем що надходить у зону зварювання з електродного покриття, вологого захисного газу (аргону) і забруднених кромки металу, що зварюється.

Для видалення водню необхідно:

- з покриття електроди перед зварюванням ретельно прожарюють;
- аргон, якщо він зволожений, осушують у процесі зварювання в осушувачах;
- крайки стиків знежирюють за допомогою розчинника.

Знижена теплопровідність та високий коефіцієнт лінійного розширення зумовлюють посилене жолоблення конструкцій і вузлів з високолегованих сталей під час проведення зварювальних робіт.

Для боротьби з цим явищем необхідно зменшити обсяг наплавленого металу та робити зварювання з найменшим тепловкладенням, що досягається застосуванням зварювання в середовищі захисних газів.

З інших особливостей зварювання високолегованих сталей важливим є посилене вигорання легуючих елементів, наприклад, при електродуговому зварюванні вигоряє до 60-80% титану. Молібден і ніобій вигорають менше, і тому їх частіше застосовують для легування зварювальних дротів. Зменшення вигорання легуючих елементів домагаються, виробляючи зварювання короткою дугою або застосовуючи її у середовищі захисних газів.

## 1.4 Постановка задач та методи їх вирішення

**Метою дослідження** є обґрунтування параметрів автоматизованого процесу зварювання кожухотрубною секції водяного теплообмінника.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати умови роботи кожухотрубною секції;
- підібрати та обґрунтувати проєктований спосіб зварювання металоконструкції;
- здійснити необхідні розрахунки режимів зварювання;
- розробити технологію складання-зварювання корпусу кожухотрубною секції;
- вибрати та обґрунтувати заготівельне, зварювальне та складальне обладнання

Таким чином, у дипломному проєкті в технологічній частині на основі аналізу базового варіанта буде розроблено проєктований варіант технологічного процесу виготовлення корпусу теплообмінника, який включає автоматичне зварювання електродом, що плавиться в середовищі захисних газів.

У процесі розробки дипломного проєкту використано такі методи:

- теоретичні методи, що включають аналіз спеціальної наукової та технічної літератури, а також узагальнення, порівняння, конкретизація даних, розрахунки;
- емпіричні методи, що включають вивчення практичного досвіду та спостереження.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Механіко-технологічні передумови зварювання кожухотрубної секції теплообмінника

Основною перешкодою підвищення швидкості аргонодугового зварювання сталей є незадовільне формування швів, що проявляється в утворенні підрізів. При цьому з підвищенням швидкості зварювання щільність струму в металі перед дугою збільшується, що призводить до використання електромагнітних сил, що діють у головній частині ванни, витіснення металу в її хвостову частину і, як наслідок, до утворення підрізів.

Встановлено, що зварювання з струмопровідним присадним дротом дозволяє регулювати характер розтікання струму в зоні зварювання і тим самим створити сприятливі умови для якісного формування швів.

Тому метою є дослідження процесу зварювання електродом в аргоні з присадним дротом сталей стосовно проблеми підвищення якості формування швів при зварюванні з підвищеною швидкістю.

Досягнення поставленої мети вирішувалися такі основні завдання:

- вибір обладнання та матеріалів для зварювання;
- вибір методики та дослідження розподілу струму у зоні зварювання;
- оцінка впливу магнітного поля струму присадного дроту на зварювальну дугу;
- дослідження процесу формування швів при зварюванні сталей з підвищеною швидкістю.

Зварювання поздовжніх швів обичайок виконуємо на постійному струмі прямої полярності зварювальним апаратом ALPHA Q551 з використанням зварювального електродного дроту Св-08Г2С в аргоні вищого гатунку (ГОСТ 10157-79).

Джерело живлення призначене для автоматичного зварювання виробів із звичайних, корозійностійких та жароміцних сталей та титанових сплавів

відкритою та стиснутою дугою у безперервному та імпульсному режимах. Джерела забезпечують стабілізацію встановленого зварювального струму в межах  $\pm 2,5\%$  при змінах напруги мережі живлення  $\pm 10\%$ , довжини дуги від 0,5 до 0,6 мм і температури навколишнього середовища від  $+5$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ .

Джерело забезпечує роботу в безперервному та імпульсному режимі:

- автоматичне, плавне, регульоване в часі наростання струму на початку зварювання від мінімального до заданого значення, завдяки чому відбувається рівномірне розігрів кінця електрода і підвищує його стійкість;
- плавне регулювання струму чергової дуги в імпульсному режимі від 2 до 30% номінального зварювального струму;
- плавне, що регулюється в часі зниження зварювального струму від робочого до мінімального значення в кінці зварювання при заварюванні кратера.

Незалежність зварювального струму від температури навколишнього середовища досягається приміщенням елементів електричної схеми, чутливих до змін температури, термостат спеціальної конструкції, що входить до блоку регулювання.

Функціональна блок-схема джерела живлення наведена на рис. 2.1.

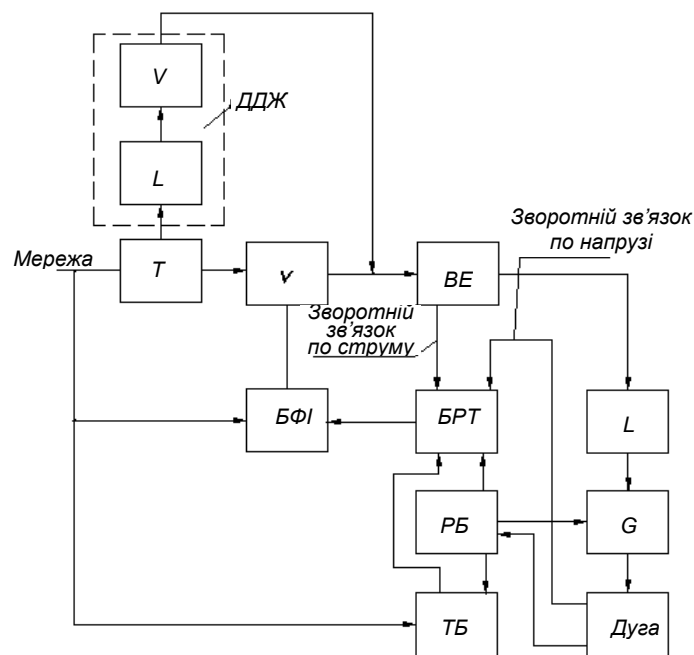


Рисунок 2.1 – Функціональна блок-схема джерела живлення:

Позначення: Т – силовий трифазний трансформатор; V – силовий тиристорний випрямний блок; ДДЖ – допоміжне джерело живлення для збудження дуги; ВЕ – вимірювальний елемент; L – дросель; G – осцилятор; БФІ – блок формування імпульсів управління тиристорами; БРТ – блок регулювання струму; ТБ – тригерний блок; РБ – релейний блок.

Силовий трифазний трансформатор Т має одну первинну обмотку 1 і дві вторинні обмотки 2 і 2п (рис. 2.2).

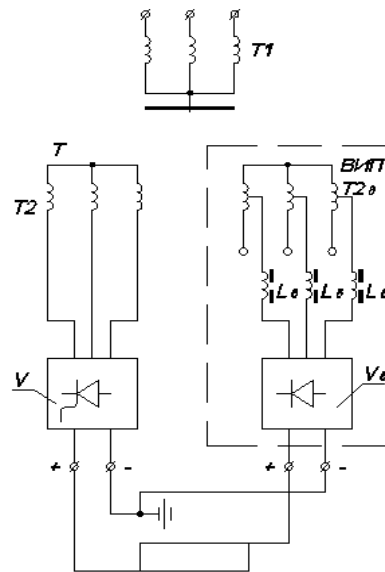


Рисунок 2.2 – Принципова електрична схема силової мережі джерела живлення

Регулювання струму чергуючої дуги при імпульсному зварюванні здійснюється за допомогою імпульсів, які подаються на проміжний транзистор в блоці регулювання, а з нього на резистор регулювання чергового струму, встановлений на пульті управління джерелом, і вихідний транзистор блоку БРТ. На рис. 2.3а наведено зовнішні характеристики джерела живлення.

Електрод підключений до негативного полюса джерела живлення, виріб, що зварюється, а присадковий дріт – до позитивного полюса (рис. 2.3б).

Таким чином нагрівання та плавлення дроту походить від впливу трьох джерел теплоти: теплового випромінювання дуги  $q_u$ , теплоти зварювальної ванни  $q_v$ , а також джоулевої теплоти  $q_{дж}$ , що виділяється в дроті при проходженні через неї струму  $I_n$ .

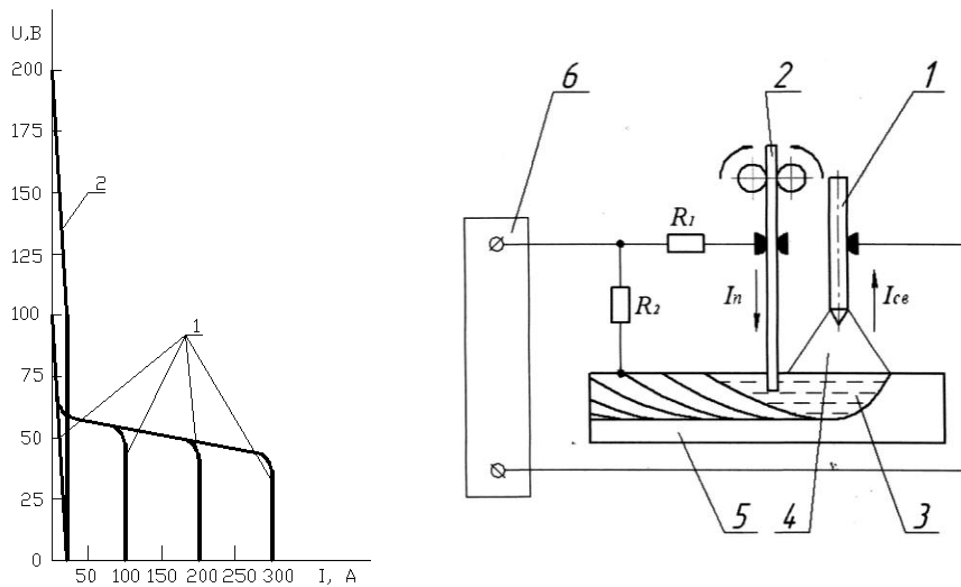


Рисунок 2.3 – Схема вигляду: а – зовнішні характеристики джерела живлення; б – процесу зварювання: 1 – електродний дріт; 2 – присадний дріт; 3 – зварна ванна; 4 – зварна дуга; 5 – виріб; 6 – джерело живлення

Струм  $I_n$ , який протікає через присадний дріт у довільній точці А зварювальної дуги (рис. 2.4) створює магнітне поле  $B$ , яке визначається

$$B = \frac{\mu\mu_0 I_n}{4\pi r_0} (\cos \phi_1 - \cos \phi_2), \quad (2.1)$$

де  $\mu_0$  – постійна магнітна індукція;

$\mu$  – постійна відносна магнітна індукція проникнення;

$r_0$  – відстань від дроту присадки до довільної точки А дуги;

$\phi_1$  і  $\phi_2$  – кути, утворені радіус векторами, проведеними в точку А з початку і кінця струмоведучої частини присадного дроту.

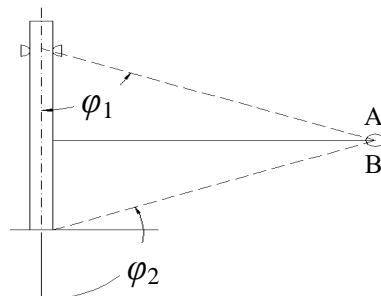


Рисунок 2.4 – До визначення магнітної індукції у довільній точці зварювальної дуги

Це поле впливаючи на дугу як у провідник зі струмом, відключає її «кутом вперед». Чим більше  $I_n$ , тим більше індукція магнітного поля та кут відключення дуги.

Очевидно, що максимального значення останній досягає при  $I_n = I_{3\phi}$ .

Визначення характеру розтікання струму по виробу, для випадку зварювання в стик деталей дугою, зводиться до вирішення диференціального рівняння у часткових похідних еліптичного типу:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \sigma(x, y) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \sigma(x, y) \frac{\partial \phi}{\partial y} \right], \quad (2.2)$$

де  $\sigma(x, y)$  – коефіцієнт електропровідності матеріалу, що є в загальному випадку функцією координат  $x, y$ ;

$\phi$  – потенціал електричного поля.

Нехтуючи неоднорідністю металу електропровідність деталей, що зварюються, визначалася як функція температури  $\sigma(T)$  і обчислювалося за формулою Лоренца:

$$\sigma = \frac{\lambda}{LT}, \quad (2.3)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;

$L$  – коефіцієнт пропорційності.

Температурне  $T(x, y)$  поле приймалося плоскопаралельними і для граничного стану, що встановився, будувалося відповідно до рівняння:

$$T(x, y) = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} r_0 \left( -\frac{V_{3\phi} x}{2a} \right) K_0 \left( r \sqrt{\frac{V_{3\phi}}{4a^2}} \cdot \frac{b}{a} \right) + 273, \quad (2.4)$$

де  $q$  – ефективна теплова потужність дуги;

$\delta$  – товщина пластини;

$V_{3\phi}$  – швидкість зварювання;

$a$  – коефіцієнт температуропровідності;



$K_0$  – функція Бесселя від уявного аргументу другого роду нульового порядку;

$r$  – відстань від центру джерела тепла до точки, що цікавить нас;

$b = \frac{2\alpha}{c\gamma\delta}$  – коефіцієнт температуровіддачі;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;

$c$  – питома теплоємність;

$\gamma$  – густина.

Дослідження вивчення характеру розподілу струму  $J_z$  в зоні зварювання проводилося шляхом реєстрації інтенсивності магнітного поля зондувального струму в різних ділянках високотемпературної області. Необхідність створення в зоні зварювання зондувального струму була викликана тим, що при значеннях зварювального, що встановилися, реєстрація інтенсивності його магнітного поля пов'язана з рядом технічних труднощів.

Зондувальний струм  $J_z = J_a |\sin \omega t|$  змінювався за синусоїдальним законом, де  $J_a$  – амплітуда зондувального струму з циклічною частотою, що дозволяє отримувати необхідну інформацію про розподіл його магнітного поля досліджуваної області. При цьому полярності зварювального та зондувального струмів збігалися.

Уявлення про розподіл магнітного поля зондувального струму одержували за допомогою реєстрації амплітуди, наведеної е.р.с. на обмотці магнітної головки, у різних ділянках досліджуваної області.

Функціональна схема установки на дослідження характеру розподілу струму у зоні зварювання наведено на рис. 2.5.

Вихідний сигнал 7 блоку служить безпосередньо для зварювання. Джерелом зондувального сигналу був генератор 1. Частота і амплітуда сигналу генератора встановлювалися органами регулювання. Розмір останнього параметра вибиралася такою, щоб сигнал магнітної головки 3 мав достатню амплітуду для подальшої якісної обробки. Частота сигналу генератора не перевищувала 500 Гц.

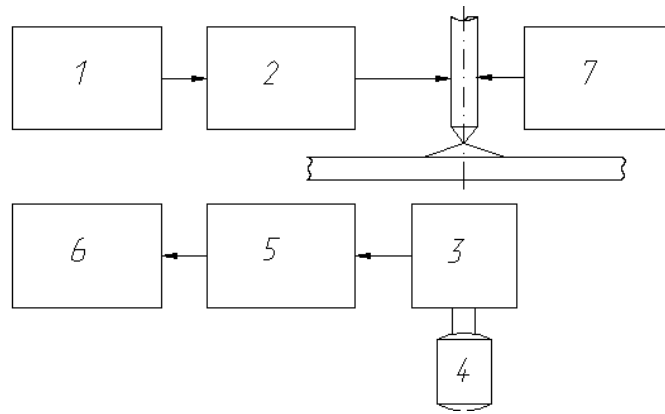


Рисунок 2.5 – Функціональна схема установки для дослідження розподілу струму в зоні зварювання: 1 – звуковий генератор; 2 – узгоджувальний підсилювач; 3 – магнітна головка; 4 – електродвигун; 5 – підсилювач потужності; 6 – шлейфовий осцилограф; 7 – джерело зварювального струму

Вихідний сигнал генератора 1 посилювався узгоджувачем підсилювачем 2 і потім надходив до зони зварювання. Тут зондуєчий струм розподілявся аналогічно зварювальному, відповідно до значень провідності в різних точках.

Реєстрація інтенсивності магнітного поля зондувального струму здійснювалася за допомогою магнітної головки 3, яка встановлювалася на торці валу електродвигуна 4 таким чином, щоб при його обертанні один кінець робочого зазору головки збігався з віссю електрода, а інший описував коло в площині, розташованій паралельно зварюваної площини зразка.

Схема розташування магнітної головки наведено на рис. 2.6.

При такому положенні робочого зазору через магнітопровід головки замикався магнітний потік, відповідний величині зондувального струму, що протікає в області визначається кутом повороту  $\phi$  валу електродвигуна.

Вихідний сигнал магнітної головки, з амплітудою, яка є пропорційною величиною зондувального струму, надходив на вхід підсилювача потужності 5, де необхідний сигнал магнітної головки записувався за допомогою шлейфового осцилографа 6.

В ході експериментів магнітна головка встановлювалася у вихідне положення, що відповідає значенню кута її повороту  $\phi = 0$ , де з настанням встановленого процесу зварювання вихідний сигнал підсилювача потужності 5

реєструвався осцилографом. Потім, протягом процесу зварювання головка поверталася на кут  $\phi = \frac{\pi}{12}$ , де реєстрація сигналу відновлювалася. При  $\phi = 2\pi$  цикл вимірювань завершувався. Осцилограми, які отримані  $\phi = 0$  та  $\phi = 2\pi$ , зіставлялися. При цьому розкид результатів вимірювань не перевищував 4%.

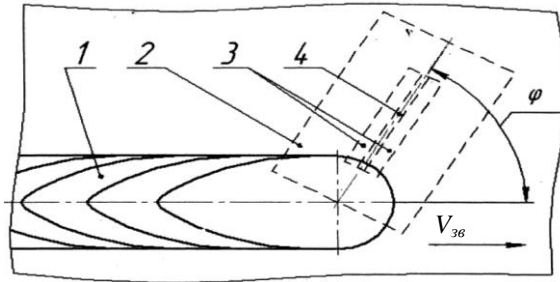


Рисунок 2.6 – Схема розташування магнітної головки: 1 – зварювальна ванна; 2 – магнітна головка; 3 – загнітопровід головки; 4 – робочий зазор головки

## 2.2 Результати досліджень розподілу струму у зоні зварювання

Залежність розподілу струму по деталі в зоні зварювання, що характеризуються відношенням  $\frac{A(\phi)}{\|A(\phi)\|}$ , де  $A(\phi)$  – амплітуда наведеної е.р.с. на обмотці магнітної головки при її повороті на кут  $\phi$ ;  $\|A(\phi)\| = \max |A(\phi)|$ ;  $0 \leq \phi \leq 2\pi$ , від швидкості зварювання  $V_{36}$  та величини струму  $I_n$  у присадному дроті наведені відповідно, на рис. 2.7а, рис. 2.7б та рис. 2.7в.

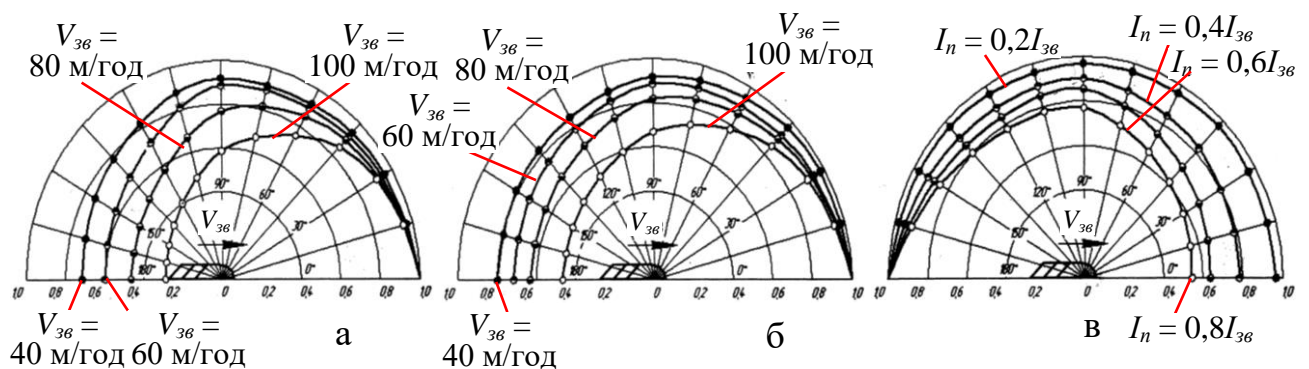


Рисунок 2.7 – Вплив присадкового дроту на розподілення струму по виробу в зоні зварювання: а – без присадного дроту,  $I_n = 0$ ; б, в – з присадним дротом,

$$V_{36} = 100 \text{ м/год}$$

Як впливає з рис. 2.7, у міру підвищення швидкості зварювання, розподіл струму деталю в зоні зварювання збільшується. Так, збільшення швидкості зварювання  $V_{зв}$  від 40 до 60 м/год призводить до зниження величини  $\frac{A(180^\circ)}{\|A(\phi)\|}$  від 0,73 до 0,6; при збільшенні  $V_{зв}$  від 60 до 80 м/год – від 0,6 до 0,48; при збільшенні  $V_{зв}$  від 80 до 100 м/год – від 0,48 до 0,32.

Перерозподіл струму по деталі з підвищенням швидкості зварювання, при незмінному місці струмопроведення, пов'язане зі зміною температурних полів у зоні зварювання [14, 15]. При цьому геометрія звареної ванни, що описується ізотермою плавлення, очевидно, відіграє істотну роль.

Стрибокподібне підвищення питомого опору металів при плавленні говорить про те, що розподіл струму по зварювальній ванні значною мірою визначається її геометрією.

Крім того, без розгляду розтікання струмів по ванні не можна отримати достовірну картинку розподілу струму і в прилеглих до неї ділянках металу, що зварюється.

Користуючись розрахунками теплових процесів під час зварювання оцінимо ступінь витягнутості ванни залежно від швидкості зварювання, при

$$\frac{q}{V_{св}} = const.$$

Для цього скористаємося рівнянням граничного стану процесу поширення тепла при нагріванні пластин без тепловіддачі потужним лінійним джерелом, що швидко рухається.

$$T(y,t) = \frac{q}{V_{св} \cdot \delta \cdot \sqrt{4\pi c \lambda \gamma t}} e^{-\frac{y^2}{4at_г}}. \quad (2.5)$$

Відповідно до формули (3.1) температура точок, розташованих на осі шва, виразиться співвідношенням

$$T(0,t) = \frac{q}{V_{св} \delta \sqrt{4\pi c \lambda \gamma t_г}}. \quad (2.6)$$

З виразу (2.6) можна визначити теоретичну тривалість  $t_e$  перебування в рідкому стані частинок матеріалу, розташованих у площині переміщення джерела, вважаючи, що  $T(0,t) = T_{nl}$

$$t_e = \frac{q^2}{4\pi\lambda c\gamma T_{nl}^2 V_{3\phi}^2 \delta^2}. \quad (2.7)$$

Тоді довжина зварювальної ванни  $L_e = V_{3\phi} \cdot t_e$  визначиться так

$$L_e = \frac{q^2}{4\pi\lambda c\gamma T_{nl}^2 V_{3\phi} \delta^2}. \quad (2.8)$$

Ширину зварювальної ванни, згідно [8] можна виразити наступним чином

$$B = \frac{0,484q}{c\gamma T_{nl} V_{3\phi} \delta}. \quad (2.9)$$

Відповідно до (2.8) і (2.9) ступінь витягнутості зварювальної ванни, що визначається відношенням її довжини  $L_e$  до ширини  $B$ , виражається співвідношенням

$$\frac{L_e}{B} = \frac{q}{1,94\pi\lambda T_{nl} \delta}. \quad (2.10)$$

або, вважаючи, що  $\frac{q}{V_{3\phi}} = q_n$  маємо

$$\frac{L_e}{B} = \frac{q_n V_{3\phi}}{1,94\pi\lambda T_{nl} \delta}. \quad (2.11)$$

З виразу (2.11) випливає, що ступінь витягнутості ванни при заданій товщині металу і  $\frac{q}{V_{3\phi}} = const$  пропорційна швидкості зварювання.

Збільшення ступеня витягнутості ванни, пов'язане з підвищенням швидкості зварювання, повинно призвести до того, що перед дугою, де рідкий прошарок металу зменшується, концентрація струму збільшується, а за дугою, в силу зворотного явища зменшується, що і відображено на рис. 2.7а.

Введення в хвостову частину зварювальної ванни забезпеченого присадного дроту призводить до зменшення її довжини та незначного перерозподілу струму в зоні зварювання (рис. 2.7б).

Так, при швидкості зварювання  $V_{зв} = 40$  м/год величина  $\frac{A(180^\circ)}{\|A(\phi)\|}$  збільшується від 0,6 до 0,73; при  $V_{зв} = 80$  м/год – від 0,48 до 0,63; при  $V_{зв} = 100$  м/год – від 0,32 до 0,46.

Обстановка радикальним чином змінюється, коли по присадковому дроту протікає частина зварювального струму (рис. 2.7в). Так, при  $I_n = 0,2I_{св}$  величина  $\frac{A(180^\circ)}{\|A(\phi)\|}$  зменшується від 1 до 0,97 при  $I_n = 0,4I_{св}$  від 1 до 0,78,  $I_n = 0,6I_{св}$  від 1 до 0,6 і при  $I_n = 0,8I_{св}$  від 1 до 0,5.

### 2.3 Формування швів при зварюванні з присадним дротом

Згідно з даними роботи [15] швидкість газу в катодному струмені дуги з вольфрамовим електродом може мати порядок  $10^2$  мс<sup>-1</sup>, що відповідає числам Маха від 0,1 до 0,2. тому гідродинаміку цього струменя можна досліджувати за допомогою теорії перебігу стисливої рідини.

На підставі висунутих положень [15], розглянемо взаємодію струменя зі зварювальною ванною до моменту утворення кратера під дугою (рис. 2.8).

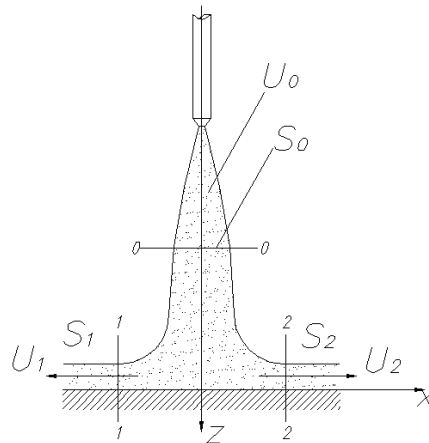


Рисунок 2.8 – Схема взаємодії дугового потоку з деталлю до утворення кратера під дугою

Для вільного струменя тиск на її поверхні дорівнює тиску в газовому просторі, куди вона витікає. Отже, згідно з рівнянням Бернуллі швидкості останньої  $U_0$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ , рівні між собою. Нехтуючи силами тяжіння, складемо рівняння кількості руху для відсіку струменя, обмеженого контрольною поверхнею, що складається з перерізу  $S_0$ , вільної поверхні струменя, перерізів  $S_1$  та  $S_2$  та поверхні ванни:

$$F = \rho Q_0 U_0 - \rho Q_1 U_1 - \rho Q_2 U_2, \quad (2.12)$$

де  $Q_0$ ,  $Q_1$  і  $Q_2$  – витрати через перерізи  $S_0$ ,  $S_1$  та  $S_2$ ;

$\rho$  – щільність дуги.

Вибравши осі координат, як показано на рис. 2.8, проектуємо на них ці сили. З огляду на те, що перешкода симетрична, тобто  $Q_1 = Q_2 = 0,5Q_0$ , отримаємо вираз для проекцій та величини результуючої сили:

$$F_x = 0; F_z = F_0 = \rho Q_0 U_0. \quad (2.13)$$

З утворенням кратера під дугою характер взаємодії дугового потоку із ванною змінюється (рис. 2.9). Проектуючи сили на осі координат, отримаємо:

$$F_x = 0; F_z = F_0 = \rho Q_0 U_0 (1 - \cos\alpha), \quad (2.14)$$

де  $\alpha$  – кут розвороту дугового потоку.

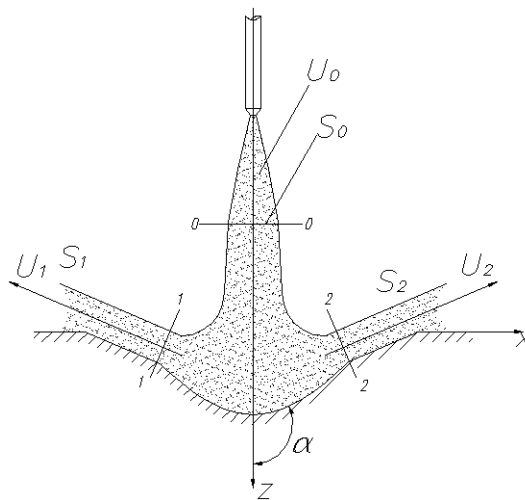


Рисунок 2.9 – Схема взаємодії дугового потоку із ванною після утворення кратера під дугою

З виразів (2.12) та (2.14) випливає, що сила впливу дугового потоку на осесиметричну зварювальну ванну, у міру утворення кратера під дугою, зростає. Максимальне значення сили досягається при  $\alpha = \pi$ . Подальше проплавлення основного металу пов'язане з утворенням розвиненої порожнини кратера та накопиченням рідкого металу у хвостовій частині ванни. Симетрія ванни у діаметральній площині порушується. Дуга зміщується на передню стінку плавлення. Газова та гідродинамічна обстановка в зоні зварювання все більше відповідає процесу формування шва.

Під час зустрічі дуги з передньою стінкою плавлення плазмовий потік розділяється (рис. 2.10). Закономірність поділу витрати можна знайти з проекції сил згідно з рівнянням (2.12) на напрямок швидкості  $U_2$

$$\sin\beta = Q_1 - Q_2, \quad (2.15)$$

де  $\beta$  – кут нахилу передньої стінки плавлення в області критичної точки  $\xi$  до горизонтальної площини та очевидної рівності

$$Q_0 = Q_1 + Q_2. \quad (2.16)$$

Вирішуючи спільно (2.15) та (2.16), отримаємо:

$$Q_1 = 0,5Q(1 - \sin\beta); \quad (2.17)$$

$$Q_2 = 0,5Q(1 + \sin\beta). \quad (2.18)$$

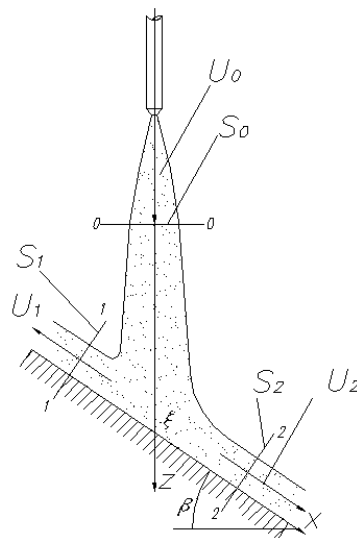


Рисунок 2.10 – Схема взаємодії дугового потоку із передньою стінкою плавлення



Дуговий потік, що обтікає порожнину кратера, є напівобмеженою поверхнею. Силовий вплив цього потоку залежатиме від зміни кількості руху, що визначається кутом розвороту вектора швидкості течії дуги на ділянці, що розглядається.

Складемо рівняння кількості руху для відсіку струменя, обмеженого контрольною поверхнею, що складається з перерізів  $S_3$ ,  $S_4$ , вільної поверхні струменя на ділянці її розвороту у хвостовій частині ванни та поверхні порожнини кратера.

Відповідно до (2.12) і (2.18) отримаємо вираз для сили, з якою дуговий потік діє на рідкий метал, що знаходиться у хвостовій частині зварювальної ванни

$$F = \rho Q_0 \frac{1 + \sin \beta}{2} U_2 - \rho Q_0 \frac{1 + \sin \beta}{2} U_3. \quad (2.19)$$

Вибравши осі координат, як показано на рис. 2.11, проектуємо на них сили рівняння (2.19).

Приймаючи  $U_2 = U_3 = U_0$ , отримаємо вирази для проекцій та величини результуючої сили:

$$F_x = \rho Q_0 U_0 \frac{(1 + \sin \beta)(1 - \cos \gamma)}{2}; \quad (2.19)$$

$$F_z = \rho Q_0 U_0 \frac{(1 + \sin \beta) \sin \gamma}{2}; \quad (2.20)$$

$$F = \rho Q_0 U_0 \frac{(1 + \sin \beta) \sin \gamma}{2}, \quad (2.21)$$

де  $\gamma$  – кут розвороту потоку дуги в хвостовій частині ванни.

Аналіз наведених рівнянь (2.19)-(2.21) показує, що силова дія дугового потоку на ділянці його розвороту в хвостовій частині зварювальної ванни визначається розподілом потоку на передній стінці плавлення, його потужністю та кутом розвороту.

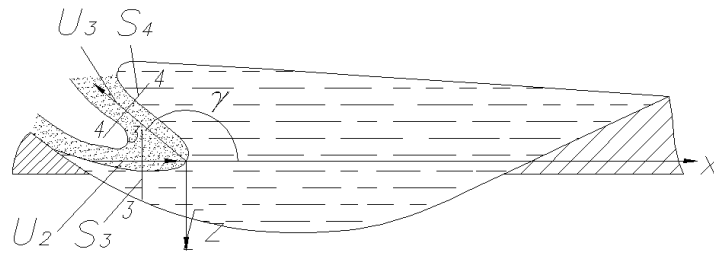


Рисунок 2.11 – Схема взаємодії дугового потоку з рідким металом хвостової частини зварювальної ванни

Вивчення поздовжніх макрошліфів кінцевого кратера показало, що кут нахилу передньої стінки плавлення в інтервалі швидкостей зварювання  $0,5-1,2 \times 10^{-2} \text{ мс}^{-1}$  змінюється незначно, а потім у міру її збільшення до  $1,6-1,2 \times 10^{-2} \text{ мс}^{-1}$ , оголення поверхні плавлення та розвитку порожнини кратера, помітно зменшується (рис. 2.12).

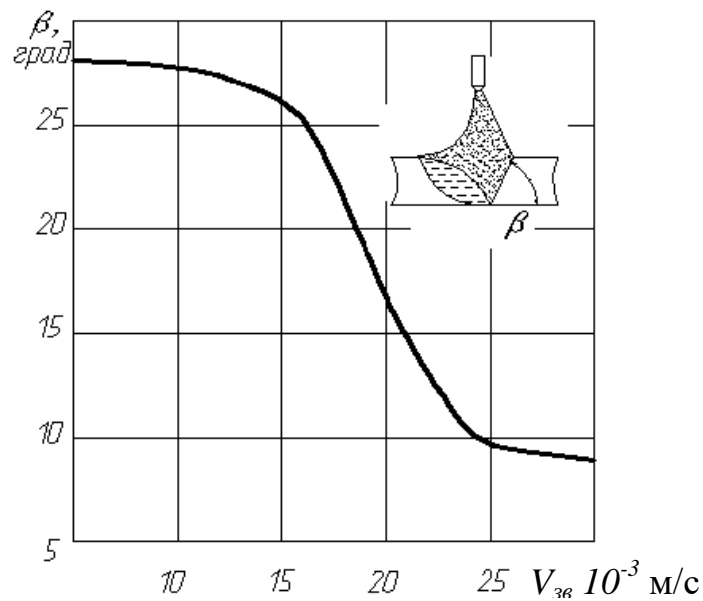


Рисунок 2.12 – Залежність кута нахилу передньої стінки плавлення від швидкості зварювання

При заданій глибині проплавлення основного металу підвищення швидкості зварювання повинно супроводжуватися збільшенням потужності дуги. Зі зростанням останньої, потужність дугового потоку збільшується.

Відповідно до (2.17) та (2.18), зменшення кута  $\beta$  повинно супроводжуватися перерозподілом дугових потоків на передній стінці плавлення.

Збільшення потужності дугового потоку, що обтікає порожнину кратера в хвостовій частині зварювальної ванни, дещо зменшується. При інтервалі швидкостей  $1,2 \times 10^{-2}$  м/с -  $1,6 \times 10^{-2}$  м/с спостерігалось значне зміщення рідкого металу в хвостову частину ванни та її нависання над порожниною кратера ( $\gamma > 90$  град.). У момент закінчення дії зварювального струму положення динамічної рівноваги у ванні порушується. Рідкий метал під впливом масових сил прагнути зайняти своє рівноважне становище, що може супроводжуватися закриванням деякого обсягу, що у порожнини кратера.

З подальшим збільшенням швидкості зварювання ( $V_{зв} > 2,3 \times 10^{-2}$  м/с) і потужності дуги, кут нахилу передньої стінки плавленням практично не змінюється і становить 8-12 град.

В результаті аналізу встановлено, що зварювальна дуга добре керується магнітним полем, що генерується струмом присадного дроту, в межах кута відхилення 0-40 град. (рис. 2.13а), що забезпечує якісне формування швів при суттєвому підвищенні швидкості зварювання (рис. 2.13б).

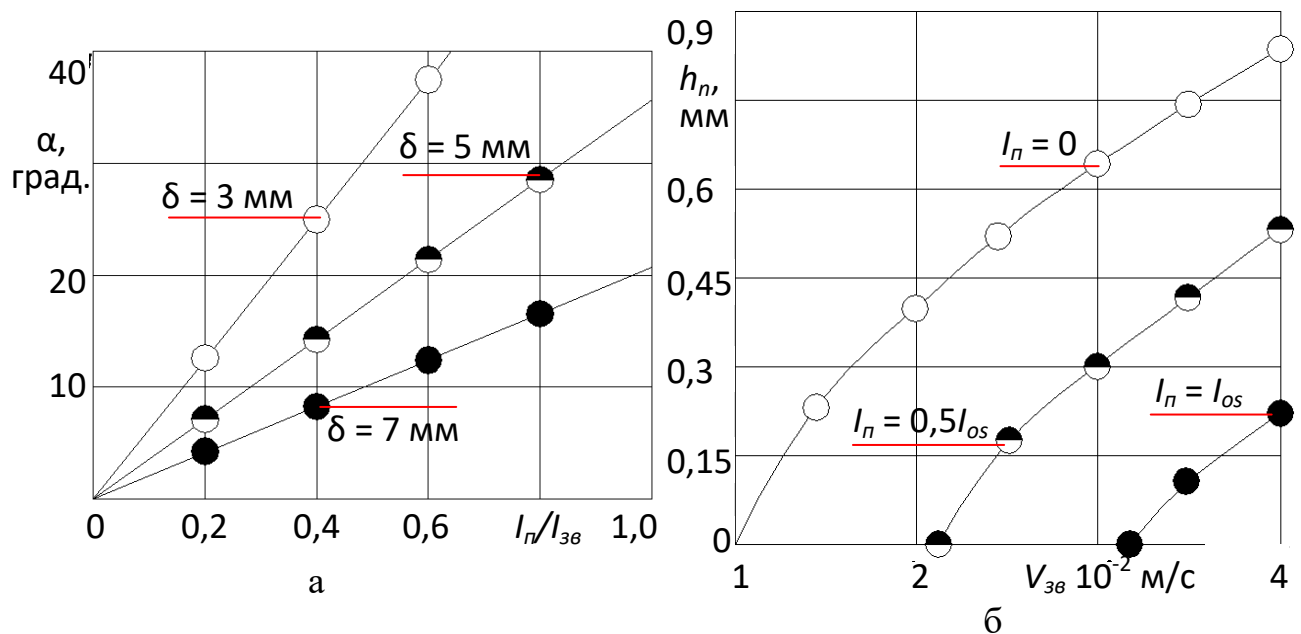


Рисунок 2.13 – Залежність: а – кута відхилення дуги від струму в дроті,  $I_{36} = 240$  А; б – величини підрізу від швидкості зварювання

## ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Аналіз базової технології зварювання

У базовому варіанті зварювання корпусу водяного теплообмінника виробляється, тільки механізованим зварюванням, що позначається на якості зварного шва та часу виготовлення зварної конструкції.

Пропонується замінити механізоване зварювання на автоматичне, завдяки чому знизити час процесу зварювання, підвищиться якість зварних швів, зменшаться витрати на зварювальні матеріали.

В іншому технологічний процес складання та зварювання корпусу водяного теплообмінника залишається без змін.

У рамках виконання дипломного проекту подано рішення поставленого завдання – зниженням трудомісткості та збільшення продуктивності процесу.

Вирішення цього завдання реалізовано переходом з ручного електродугового механізованого зварювання деталей виробу в захисних газах, на автоматизоване електродугове зварювання деталей зварного виробу наступними методами:

- при виконанні стикового поздовжнього шва під час зварювання корпусу водяного теплообмінника використовувати зварювальні установки для зварювання поздовжніх швів обичайок;

- при виконанні зварювання обичайки з трубною дошкою використовувати обладнання зварювальної колони, підвісної зварювальної головки для зварювання в середовищі захисних газів (рис. 3.1), роликів обертачів;

- при виконанні зварювання труб у трубні дошки використовувати орбітальний зварювальний пальник.

Дані покращення дозволяють збільшити продуктивність процесу та знизити його трудомісткість, збільшити якість зварних швів відповідно знизиться і собівартість виготовлення секції теплообмінника.

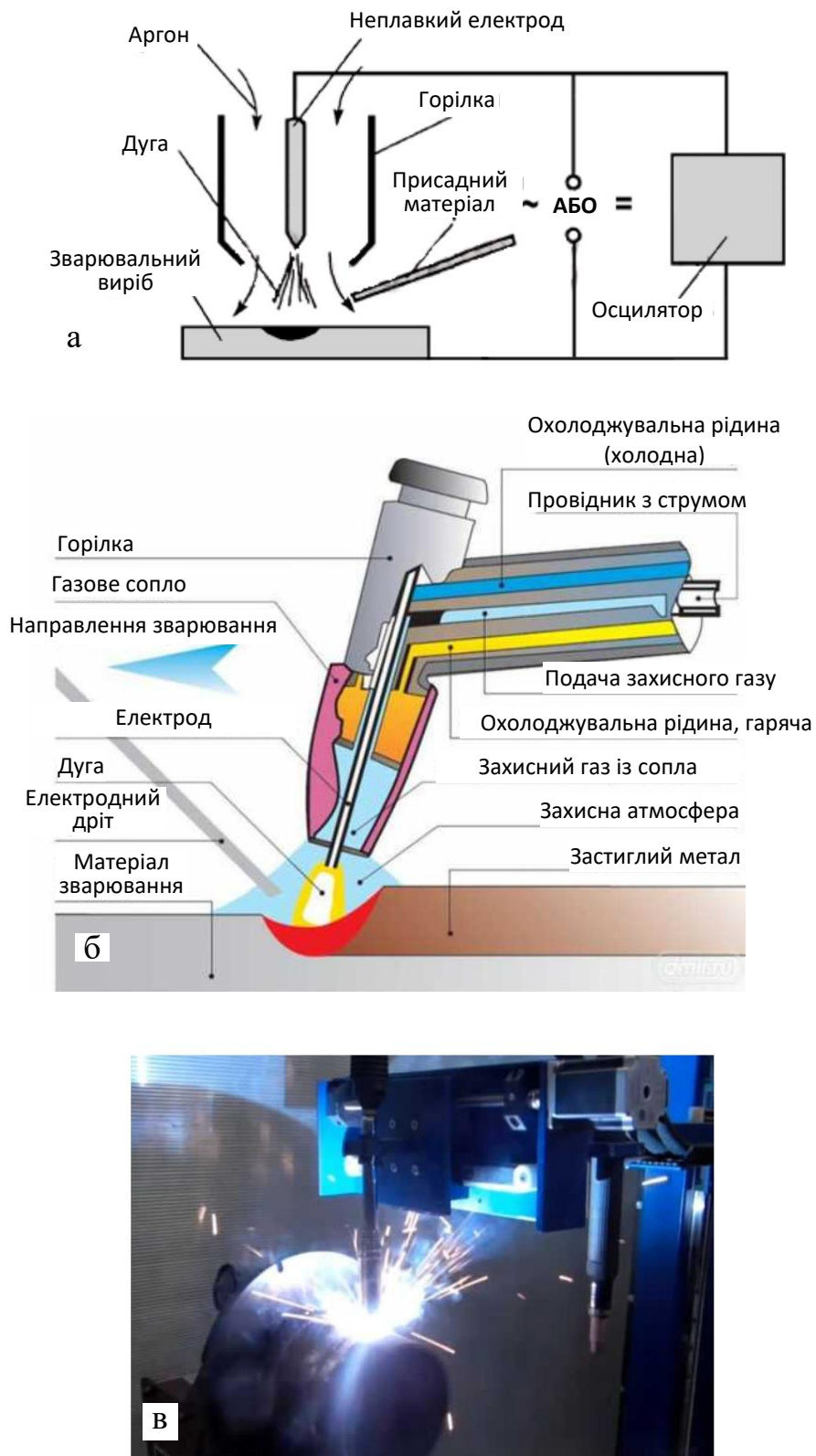


Рисунок 3.1 – Схема електродугового зварювання в середовищі захисного газу: а – ручне аргоно-дугове зварювання неплавким електродом; б – автоматизоване зварювання електродним дротом; в – загальний вигляд автоматизованого аргоно-дугового зварювання

### 3.2 Вибір способу зварювання

#### *Електродугове зварювання.*

Дуга – потужний стабільний розряд електрики в іонізованій атмосфері газів та парів металу. Іонізація дугового проміжку відбувається під час запалення дуги і безперервно підтримується в процесі її горіння.

Процес запалювання дуги здебільшого включає три етапи: коротке замикання електрода на заготовлю, відведення електрода на відстань 3-6 мм та виникнення стійкого дугового розряду.

Коротке замикання виконується для розігріву торця електрода та заготовлі у зоні контакту з електродом. Після відведення електрода з його розігрітого торця (катода) під дією електричного поля починається термоелектронна емісія електронів. Зіткнення швидко рухаються по напрямку до анода електронів з молекулами газів та пар металу призводить до їх іонізації.

У міру розігріву стовпця дуги та підвищення кінетичної енергії атомів та молекул відбувається додаткова іонізація за рахунок їх зіткнення. Окремі атоми також іонізуються в наслідок поглинання енергії, що виділяється при зіткненні інших частинок.

В результаті дуговий проміжок стає електропровідним і через його починається розряд електрики. Процес запалювання дуги закінчується виникненням стійкого дугового розряду.

Джерелом теплоти при дуговому зварюванні служить електрична дуга, яка горить між електродом та заготовлю.

Залежно від матеріалу та числа електродів, а також способу включення електродів та подачі в мережу електричного струму розрізняють такі способи дугового зварювання:

а) зварювання електродом, що не плавиться (графітним або вольфрамовим), дугою прямої дії, при якій з'єднання виконується шляхом розплавлення тільки основного металу, або із застосуванням присадного металу, рис. 3.1а;

б) зварювання електродом, що плавиться (металевим), дугою прямого дії, з одночасним розплавленням основного металу та електрода, який поповнює зварювальну ванну рідким металом, рис. 3.1б;

в) зварювання непрямою дугою, що горить між двома, як правило, електродами, що не плавляться; при цьому основний метал нагрівається та розплавляється теплом стовпа дуги;

г) зварювання трифазною дугою, при якій дуга горить між електродами, а також між кожним електродом та основним металом.

Живлення дуги здійснюється постійним чи змінним струмом. При застосування постійного струму розрізняють зварювання на прямій та зворотній полярності. У першому випадку електрод підключають до негативного полюсу (катод), у другому – до позитивного (анод).

Недоліки ручного дугового зварювання:

- великий термін, що витрачається на підготовку кваліфікованих зварювальників (1-2 роки);
- залежність якості зварювання від зварювальника;
- наявність шлаку зі зворотного боку шва при односторонньому зварюванні замикаючих швів для деяких конструкцій, в яких внутрішня поверхня покривається захисними неорганічними покриттями.

*Автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу.*

Для автоматичного дугового зварювання під флюсом (рис.1.3, рис. 3.2) використовують непокритий електродний дріт та флюс для захисту дуги та зварювальної ванни повітря. Подача та переміщення електродного дроту механізовані. Автоматизовано процеси запалювання дуги та заварки кратер в кінці шва.

У процесі автоматичного зварювання під флюсом дуга горить між дротом та основним металом. Стовп дуги та металева ванна рідкого металу з усіх боків щільно закриті шаром флюсу завтовшки 30 – 35мм. Частина флюсу розплавляється, внаслідок чого навколо дуги утворюється газова порожнина, а на поверхні розплавленого металу – рідка ванна шлаку.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд автоматизованого електродугового зварювання під шаром флюсу

Для зварювання під флюсом характерно глибоке проплавлення основного металу. Дія потужної дуги і дуже швидкий рух електрода вздовж заготовки обумовлюють відтиснення розплавленого металу убік, протилежному напрямку зварювання. У міру поступального руху електрода відбувається затвердіння металеві та шлакової ванн з утворенням зварного шва, покритого твердою шлаковою кіркою.

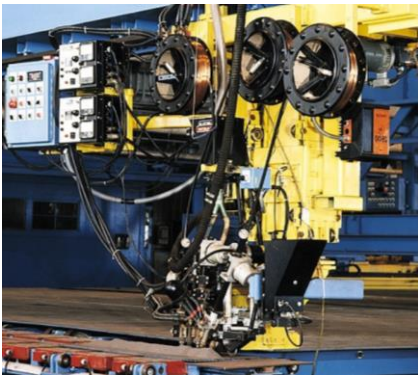
Дріт подають у дугу і переміщують її вздовж шва за допомогою механізмів подачі та переміщення. Струм до електрода надходить через струмопровід.

Дугове зварювання під флюсом виконують зварювальними автоматами (рис.3.3а), зварювальними головками (рис. 3.3б) або самохідними тракторами (рис. 3.3в), такими, що переміщуються безпосередньо по виробу. Автоматичне зварювання широко застосовують при виготовленні котлів, резервуарів для зберігання рідин та газів, корпусів суден, мостових балок та інших виробів.

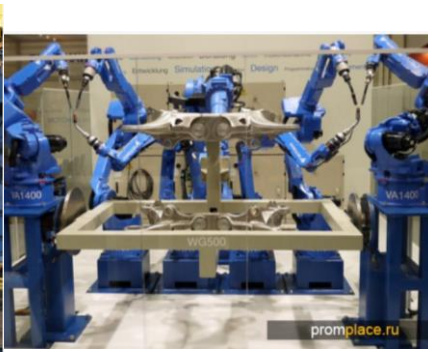
Переваги зварювання під флюсом:

- під час з'єднання деталей практично відсутній ефект розбрикування металу;
- втрати електродного металу зводяться до мінімальної кількості;
- високий рівень продуктивності;





а



б



в

Загальний вигляд електродугового зварювання: а – зварювальним автоматом; б – зварювальною головкою; в – зварювальними машинами (трактором)

- захист зони зварювання відмінно захищений від зовнішніх негативних факторів;

- метал охолоджується з низькою швидкістю, що сприяє отриманню високих показників механічних властивостей одержуваного шва;

- не потрібно використовувати додаткові пристрої, які захищають від світлового випромінювання, оскільки горіння дуги відбувається під шаром флюсу;

- варильна ванна стає практично не чутливою до дії оксидів.

Недоліки зварювання під флюсом:

- шкідливий вплив газів, під вплив яких потрапляє оператор автоматичної машини;

- розплавлений флюс і метал мають підвищену рідку плинність;

- флюс має високу ціну, що підвищує собівартість створення шва;

- дуже важко скоригувати положення дуги щодо кромки основного металу;

- апарат має обмежені можливості, так що не всі з них можуть виконувати зварювання у всіх просторових положеннях;

- місце зварювання знаходиться під товстим шаром флюсу, що не дозволяє його розглянути при звичайному огляді результатів без спеціальних приладів;

- тут потрібно особливу увагу приділити складання кромки під зварювання, так як якщо робиться збільшений зазор, то розплавлений метал може витікати між кромками, що призведе до утворення дефектів.

*Зварювання плавким і неплавким електродом в середовищі захисного газу.*

Зварювання електродом, що плавиться і не плавиться, в інертних газах є методом дугового зварювання плавленням, який використовується в основному для зварювання алюмінію, магнію та їх сплавів, нержавіючої сталі, нікелю, міді, бронзи, титану, цирконію та інших феромагнітних металів.

Схема такого зварювання наведена на рис. 3.4.

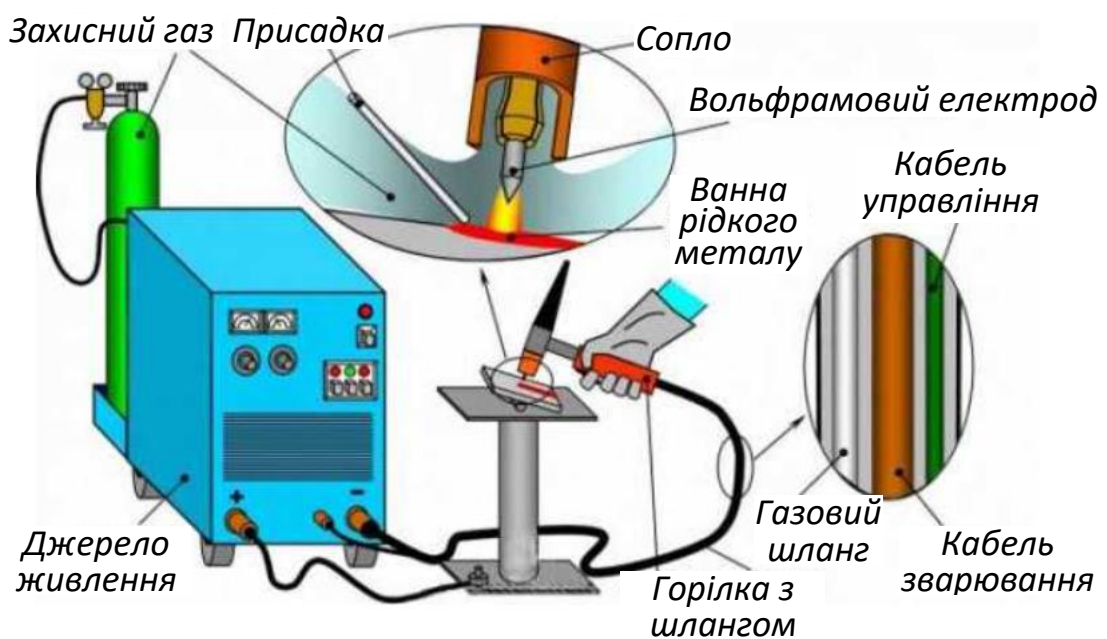


Рисунок 3.4 – Схема ручного електродугового зварювання в середовищі захисного газу

Техніка зварювання схожа на газове (автогенне) зварювання, отже, вимагає висококваліфікованого зварювальника. Застосуванням даного технологічного процесу можна отримати зварні шви та зварні вироби високої якості.

Однак показники продуктивності при використанні цього методу для ручного зварювання, виявляються дуже низькими і не можуть суперничати зі зварюванням плавким електродом в атмосфері захисного газу, особливо із застосуванням зварювальних напівавтоматів або роботів.

Спосіб характеризується двома аспектами. Перший полягає в використанні вольфрамових електродів (рис. 3.5), що неплавляться, які виготовляються з чистого вольфраму або ж вольфрам додають у вибраний сплав. По-друге, використання інертних газів, які захищають як зварювальну ванну, так і власне електрод. У деяких випадках, крім аргону чи гелію використовується водень чи азот.

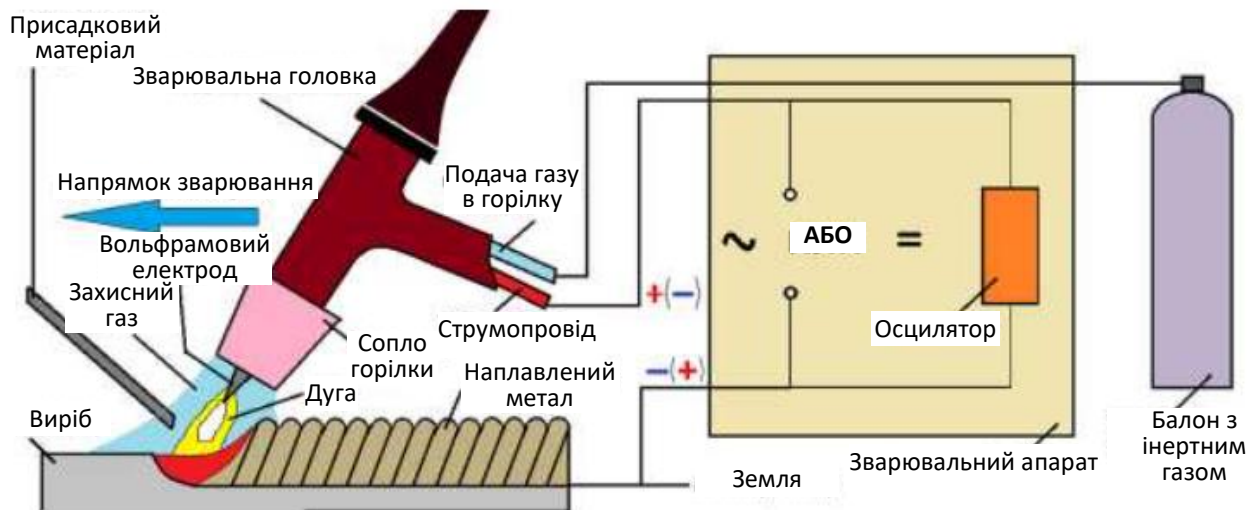


Рис. 3.5 – Схема електродугового зварювання в середовищі захисного газу з використанням вольфрамового електрода

При зварюванні електродом, що не плавиться, в захисному газі в зону дуги, палаючої між електродом, що не плавиться, і виробом через сопло подається захисний газ, що захищає електрод, що не плавиться, і розплавлений основний метал від дії активних газів атмосфери. Теплотою дуги розплавляються кромки виробу, що зварюється. Розплавлений метал зварювальної ванни, кристалізуючись, утворює зварний шов.

Електрод, що не плавиться, виготовляють з графіту, вольфраму, міді, міді із вставкою із тугоплавкого металу - вольфраму, цирконію, гафнію.

Захисний газ повинен бути інертний до металу електрода зварюваного металу. Як захисний газ при зварюванні вольфрамовим електродом застосовують аргон, гелій, суміш аргону та гелію; для зварювання міді мідним електродом або мідним електродом із вставкою з гафнію (цирконію) можна застосувати азот.

До переваг можна віднести:

- мінімальні деформації в металах, що зварюються, через маленьку зони прогріву;
- висока якість з'єднання за рахунок захисту зварювальної ванни аргоном, що витісняє кисень;
- значна швидкість виконання робіт;
- низький поріг входження, що дозволяє швидко освоювати цю техніку;
- не вимагає трудовитрат на пост обробку шва;
- ширший спектр матеріалів, що зварюються в порівнянні з ММА.

Недоліки:

- складність роботи на вулиці під час вітряної погоди; вітер видуває захисний газ із зони зварювання, боротися з цим можна використовуючи загородження або збільшуючи подачу газу, що призведе до його збільшення витрати;
- потрібна якісніша підготовка металів перед зварюванням в порівнянні ММА;
- конструкція пальника робить не дуже зручним зварювання деталей під гострим кутом;
- після розпалювання поза зоною зварювання залишається слід, який необхідно зачищати.

### **3.3 Вибір зварювальних матеріалів**

*Вибір електродного дроту.*

Правильний вибір марки електродного дроту для зварювання – один з головних елементів розробки технології автоматизованого зварювання під флюсом. Хімічний склад електродного дроту визначає хімічний склад сталі, що зварюється, та вимоги до складу металу шва його механічним властивостям.

При автоматизованому зварюванні серед захисних газів стали 16ГС використовують дріт Св-08Г2С, що випускається промисловістю.

Хімічний склад електродного дроту Св-08Г2С наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад електродного дроту Св-08Г2С в %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N
0.05 – 0.11	0.7 - 0.95	1.8 – 2.1	до 0,25	до 0,025	до 0,03	до 0,2	до 0,01

При автоматизованому зварюванні серед захисних газів сталі 08Х18Н10Т використовують сталевий електродний зварний дріт, що випускається промисловістю ГОСТ 2246 – 70. Згідно з даними для зварювання цієї сталі приймемо зварювальну дріт Св-08Х25Н13БТЮ

Хімічний склад сталевий електродного зварювального дроту Св-08Х25Н13БТЮ наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад сталевий електродного зварювального дроту Св-08Х25Н13БТЮ в %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Nb	Al
до 0,1	0,6 - 1	до 0,55	12 - 14	до 0,02	до 0,03	24 - 26	1 – 1,4	0.7 – 1.1	0,4 – 0,9

#### *Вибір захисного газу.*

У зв'язку з постійно зростаючими вимогами до якості зварних з'єднань, проблема вибору захисного газу для зварювальних процесів стає дедалі більш актуальною. Вибір захисного газу також важливий для досягнення найкращого результату, як і вибір присадкового матеріалу, обладнання та кваліфікації зварювальника.

Правильний вибір захисного газу багато в чому визначає, як механічні властивості, так і зовнішній вигляд зварного з'єднання, а також наявність бризок і шлаку при зварюванні. Як захисні гази при зварюванні плавленням застосовують інертні гази, активні гази та їх суміші.

Чисті гази, що використовуються для зварювання, це аргон, гелій, і вуглекислий газ. Ці гази можуть мати як позитивний, так і негативний вплив на дуговий процес зварювання та поява дефектів у зварювальному шві.

Аргон 100% зазвичай використовуються для аргоно-дугового TIG зварювання для всіх матеріалів та MIG зварювання кольорових металів. Аргон хімічно інертний, що робить його придатним для зварювання хімічно активних та тугоплавких металів.

Цей газ має низьку теплопровідність та потенціал іонізації, що призводить до низької передачі тепла на зовнішню зварювальну область дуги. У результаті формується вузький стовп дуги, який у свою чергу створює традиційний для зварювання в чистому аргоні профіль зварювального шва: глибокий та відносно вузький.

Для проведення більшості електрозварювальних робіт на сьогоднішній день потрібно застосування зварювальної суміші, ціна якої лише небагато перевищує традиційне середовище захисних газів. Найкращою вважається зварювальна суміш у балонах, на основі аргону.

Використання зварювальних сумішей на основі аргону замість традиційної вуглекислоти дозволить істотно підвищити якість зварювання без модернізації обладнання та зміни технологій.

*Газова суміш – К-18.*

Газова суміш К-18 забезпечує зварювання металоконструкцій з хорошим проплавленням та плавкою бічних стінок зварних швів, особливо при зварюванні товстих металів.

Це зменшує кількість дефектів у зоні зварного шва, скорочуючи кількість бракованих деталей.

Високий рівень вмісту діоксиду вуглецю сприяє очищенню поверхні матеріалу від нафти, іржі або вологи, знижуючи при цьому, як необхідність очищення металу перед зварюванням, так і рівень виробничих матеріальних витрат.

Хімічний склад газової суміші К-18 наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад газової суміші К-18 в %

Газова суміш К-18	Ar	CO <sub>2</sub>
	82	18

### 3.4 Розрахунок параметрів режимів зварювання кожухотрубної секції

При виборі з'єднання керуємося такими вимогами, як повне проплавлення металу, виключення пропалу при проході першого шва, при проході другого шва частковим проплавленням першого проходу та проплавлення та оброблення кромки.

Параметри режиму дугового зварювання серед захисних газів електродом, що плавиться:

- діаметр електродного дроту  $d_{e.d}$ ;
- зварювальний струм  $I_{зв}$ ;
- швидкість зварювання  $V_{зв}$ ;
- щільність струму  $J$ ;
- напруга на зварювальній дузі  $U_d$ ;
- виліт електродного дроту  $l_e$ ;
- швидкість подачі електродного дроту  $V_{n.d}$ ;
- витрата захисного газу  $q_{з.г}$ .

#### 3.4.1 Розрахунок стикового зварного з'єднання для зварювання поздовжнього шва обичайки

Зварювання виконуємо автоматично в середовищі захисних газів на постійному струмі зворотної полярності.

Ескіз стикового зварного з'єднання для зварювання поздовжнього (стику) шва обичайки за ГОСТ 14771–76 С8 наведено на рис. 3.1.

*Розрахунок площі наплавленого металу.*

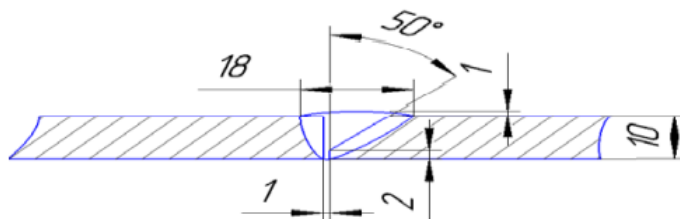


Рисунок 3.1 – Ескіз стикового зварного з'єднання для зварювання поздовжнього стику шва обичайки

Розрахуємо площу наплавленого металу  $F_n$  за формулою (3.1)

$$F_n = Sb + 0,5(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,75eg, \quad (3.1)$$

де:  $F_n$  - площа наплавленого металу,  $\text{мм}^2$ ;

$S$  – товщина металу, 10 мм;

$b$  – зазор, 1 мм;

$c$  – притуплення обробки кромки, 2 мм;

$\alpha$  – кут обробки кромки,  $50^\circ = 1.19$ ;

$e$  – катет шва, 18 мм;

$g$  – підсилення шва, 1 мм.

$$F_n = 10 \cdot 1 + 0,5(10 - 2)^2 \cdot 1.2 + 0,75 \cdot 18 \cdot 1 = 62 \text{ мм}^2.$$

Оскільки для даного зварного з'єднання існує можливість пропалювання при автоматичному зварюванні через відсутність підкладних пластин або попередньо виконаного підварювального шва, пропонується виконати зварювання в два проходи, прийнявши для розрахунку площу перерізу ( $F_1$ ) кожного проходу рівною  $31 \text{ мм}^2$ .

*Розрахунок діаметра електродного дроту.*

Діаметр електродного дроту  $d_{e.d}$  розраховуємо за відомою площею наплавленого металу відповідного проходу за формулою (3.2)

$$d_{e.d} = K_\delta F_n^{0,625}, \quad (3.2)$$

де  $K_\delta$  – коефіцієнт зварювання.

При цьому коефіцієнт зварювання  $K_\delta$  вибираємо в залежності від положення шва та способу зварювання за рівнем автоматизації.

Значення коефіцієнта  $K_\delta$  наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Значення коефіцієнта  $K_\delta$

Положення шва	Зварювання	
	автоматизоване	механічне
«Човник», нижнє	0,149...0,409	0,149...0,409



$$d_{e,\delta} = 0,149 \cdot 31^{0,625} = 0,149 \cdot 8,55 = 1,27 \text{ мм};$$

$$d_{e,\delta} = 0,409 \cdot 31^{0,625} = 0,409 \cdot 8,55 = 3,49 \text{ мм}.$$

Приймаємо  $d_{e,\delta} = 1,6 \text{ мм}$ .

Для виконання розрахунку параметрів режиму зварювання необхідно схему з'єднання з обробкою кромки привести до схеми зварювання без оброблення кромки з нульовим проміжком. Припущення з умови, що загальна висота зварного шва для з'єднань з різною обробкою залишається однією і тією ж величиною при однакових параметрах режимів зварювання [1].

Розрахуємо наведене значення глибини проплавлення  $h'_p$  (мм) прийнявши площу перерізу  $F_n = 31 \text{ мм}^2$  за формулою (3.3):

$$h'_p = (f + c) - g; \quad (3.3)$$

$$f'_n = \sqrt{2F_n / \text{tg}\alpha}; \quad (3.4)$$

$$f'_n = \sqrt{2 \cdot 31 / 1,2} = 7,2 \text{ мм}.$$

При  $f' = 7,21 \text{ мм}$ ,  $e = 8,63 \text{ мм}$ .

Розрахуємо величину опуклості  $q$  (мм) наплавленого валика із схеми приведення до стандартного розрахунку за формулою (3.5):

$$q = F_n / 0,75e; \quad (3.5)$$

$$q = 31 / 0,75 \cdot 8,63 = 4,8 \text{ мм}.$$

Тоді

$$h'_p = (7,2 + 2) - 4,8 = 4,4 \text{ мм}.$$

Розрахуємо дійсну глибину проплавлення  $h_p$  (мм) з урахуванням зазору за формулою (3.6):

$$h_p = 0,7h'_p - 0,5c; \quad (3.6)$$

$$h_p = 0,7 \cdot 4,4 - 0,5 \cdot 1 = 2,6 \text{ мм}.$$

Визначаємо силу зварювального струму  $I_{зв}$  (А) за формулою

$$I_{зв} = 100h_p / K_h, \quad (3.7)$$

де  $K_h$  – коефіцієнт пропорційності [4].

Тут  $K_h = 1,75$ . При цьому

$$I_{3\phi} = 100 \cdot 2,6 / 1,75 = 148 \text{ А.}$$

Визначаємо виліт  $l_{e.d}$  (мм) електродного дроту за формулою

$$l_{e.d} = 10d_{e.d} \pm 2d_{e.d}. \quad (3.8)$$

$$l_{e.d} = 10 \cdot 1,6 \pm 2 \cdot 1,6 = 16 \pm 3,2 = 19,2(12,8) \text{ мм.}$$

Приймаємо  $l_{e.d} = 13 \text{ мм.}$

$$\alpha_p = 6,78 + 0,0702 I_{3\phi} d_e^{-1,505}. \quad (3.9)$$

$$\alpha_p = 6,78 + 0,0702 \cdot 148 \cdot 1,6^{-1,505} = 11,9 \text{ г/А год.}$$

Визначаємо коефіцієнт наплавлення дроту  $\alpha_n$  (г/А год) за формулою

$$\alpha_n = \alpha_p (100 - \psi_{np}) / 100, \quad (3.10)$$

де  $\psi_{np}$  – коефіцієнт втрат на угар і розбризкування під час автоматичного зварювання.

Приймаємо  $\psi_{np} = 0,1$  (при зварюванні в середовищі захисних газів коефіцієнт знаходиться в межах  $\psi_{np} = 0,1 \pm 0,15$ ).

Тоді

$$\alpha_n = 11,9 \cdot (100 - 0,1) / 100 = 11,8 \text{ г/А год.}$$

Швидкість зварювання  $\mathcal{G}_{3\phi}$  (м/год) визначаємо з виразу за формулою

$$\mathcal{G}_{3\phi} = \frac{\alpha_n I_{3\phi}}{3600 F_n \rho}, \quad (3.11)$$

де  $\rho$  – щільність наплавленого металу зварного шва,  $\rho = 7,82 \text{ г/см}^3$  [3].

$$\mathcal{G}_{3\phi} = \frac{11,8 \cdot 148}{3600 \cdot 7,82 \cdot 0,31} = 0,2 \text{ см/с, або } \mathcal{G}_{3\phi} = 7,2 \text{ м/год.}$$

Приймаємо  $\mathcal{G}_{3\phi} = 8 \text{ м/год.}$

Значення напруги дуги  $U_\delta$  (В) зварювання визначимо за формулою

$$U_\delta = 14 + 0,05 I_{3\phi}. \quad (3.12)$$

Тоді

$$U_{\delta} = 14 + 0,05 \cdot 148 = 21,4 \text{ В.}$$

Приймаємо  $U_{\delta} = 22 \text{ В.}$

Визначаємо погонну енергію  $q_n$  (Дж/см<sup>2</sup>) згідно з виразом

$$q_n = I_{зв} U_{\delta} \eta_e / \mathcal{G}_{зв}, \quad (3.13)$$

де  $\eta_e = 0,7$  – ефективний ККД нагрівання виробу дугою.

Тоді

$$q_n = 148 \cdot 22 \cdot 0,7 / 0,2 = 11995 \text{ Дж/см}^2.$$

Визначимо щільність струму  $j$  (А/мм<sup>2</sup>) за формулою

$$j = 4I_{зв} / \pi d_e^2, \quad (3.14)$$

або

$$j = 4 \cdot 148 / 3,14 \cdot 1,6^2 = 73,7 \text{ А/мм}^2.$$

Коефіцієнт форми проплавлення металу визначимо згідно виразу (3,15)

$$\psi_{np} = K' (19 - 0,1I_{зв}) \frac{d_e U_{\delta}}{I_{зв}}, \quad (3.15)$$

де  $K'$  – коефіцієнт, який залежить від характеристик струму зварювання.

При щільності постійного струму  $j < 120 \text{ А/мм}^2$  зварювання та зворотної полярності струму коефіцієнт  $K'$  визначають за формулою

$$K' = 0,367 j^{0,1925}, \quad (3.16)$$

тобто:

$$K' = 0,367 \cdot 2,29 = 0,84;$$

$$\psi_{np} = 0,84 (19 - 0,1 \cdot 148) \frac{1,6 \cdot 22}{148} = 3,5.$$

Виконаємо перевірку глибини проплавлення  $h_{pn}$  (мм) за формулою (3.17)

$$h_{pn} = 0,081 \sqrt{q_n / \psi_{np}}. \quad (3.17)$$

$$h_{pn} = 0,081 \sqrt{11995 / 3,5} = 4,74 \text{ мм.}$$

Таким чином,  $h_{pn} = 4,74 > h_p = 2,6$  (мм), тобто перевірна глибина проплавлення металу перевищує розрахункову. В цьому випадку необхідно виконати корегування розрахунків в такій послідовності.

1. Знаходимо погонну енергію за (3.13) для  $h_p = 2,6$  мм, тобто

$$q_n = (2,6 / 0,081)^2 \cdot 3,5 = 3606 \text{ Дж/см}^2.$$

2. Визначимо швидкість зварювання з формули (3.13)

$$g_{3\epsilon} = \frac{148 \cdot 22 \cdot 0,7}{3600} = 0,63 \text{ см/с, або } g_{3\epsilon} = 22,7 \text{ м/год.}$$

3. Розраховуємо швидкість  $g_{n.d}^{(+)}$  подачі електродного дроту за відомою формулою

$$g_{n.d}^{(+)} = 0,53 \frac{I_{3\epsilon}}{d_e^2} + 6,94 \frac{I_{3\epsilon}^2}{d_e^3}. \quad (3.18)$$

$$g_{n.d}^{(+)} = 0,53 \frac{148}{1,6^2} + 6,94 \frac{148^2}{1,6^3} = 34,3 \text{ мм/с, або } g_{n.d}^{(+)} = 123 \text{ м/год.}$$

4. Визначимо розхід захисного газу з залежності (3.19)

$$q_{3,\epsilon} = 0,2 I_{3\epsilon}^{0,75}. \quad (3.19)$$

$$q_{3,\epsilon} = 0,2 \cdot 148^{0,75} = 8,5 \text{ л/хв.}$$

### 3.4.2 Розрахунок режимів зварювання таврового з'єднання для зварювання кільцевого шва обичайки з трубною дошкою

Ескіз зварного з'єднання наведено на рис. 3.2.

Розрахуємо площу наплавленого металу  $F_n$  за формулою (3.1), при цьому  $S = 10$  мм;  $b = 2$  мм;  $c = 2$  мм;  $tg\alpha = 1$ ;  $e = 14$  мм;  $g = 3$  мм.

Тоді

$$F_n = 10 \cdot 2 + 0,5 \cdot (10 - 2)^2 \cdot 1 + 0,75 \cdot 14 \cdot 3 = 74 \text{ мм}^2.$$

Пропонується виконати зварювання в два проходи, прийнявши для розрахунку площу перерізу ( $F_1$ ) кожного проходу рівною  $30 \text{ мм}^2$ .

Діаметр електродного дроту  $d_{e,d}$  розраховуємо за формулою (3.2)

$$d_{e,d} = 0,149 \cdot 30^{0,625} = 0,149 \cdot 8,55 = 1,2 \text{ мм;}$$

$$d_{e,d} = 0,409 \cdot 30^{0,625} = 0,409 \cdot 8,55 = 3,4 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $d_{e,d} = 1,2 \pm 3,4$  мм.

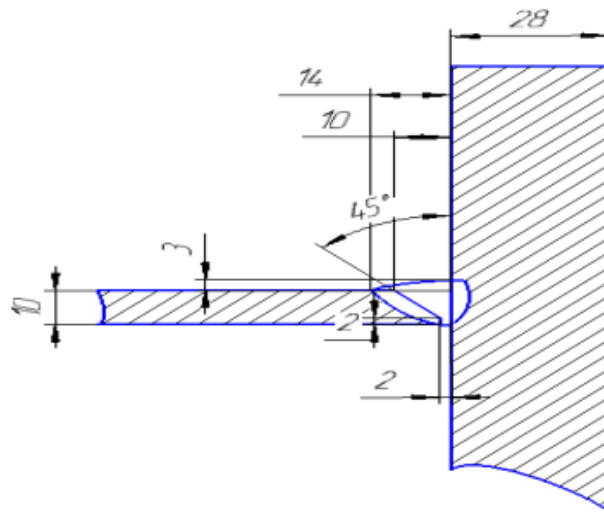


Рисунок 3.2 – Ескізна схема зварного з'єднання

Розрахуємо наведене значення глибини проплавлення  $h'_p$  (мм) прийнявши площу перерізу  $F_H = 30 \text{ мм}^2$  за формулою (3.3)

$$h'_p = (7,7 + 2) - 5,3 = 4,4 \text{ мм.}$$

Розрахуємо дійсну глибину проплавлення  $h_p$  (мм) за формулою (3.6)

$$h_p = 0,7 \cdot 4,4 - 0,5 \cdot 2 = 2,1 \text{ мм.}$$

Визначаємо силу зварювального струму  $I_{зв}$  (А) за формулою (3.7)

$$I_{зв} = 100 \cdot 2,08 / 1,75 = 118 \text{ А.}$$

Визначаємо виліт  $l_{e,d}$  (мм) електродного дроту за формулою (3.8)

$$l_{e,d} = 10 \cdot 1,2 \pm 2 \cdot 1,2 = 12 \pm 2,4 = 14,4(9,8) \text{ мм.}$$

Визначаємо коефіцієнт наплавлення дроту  $\alpha_n$  (г/А год) за формулою (3.10)

$$\alpha_n = 10,85 \cdot (100 - 0,1) / 100 = 10,75 \text{ г/А год.}$$

Швидкість зварювання  $g_{зв}$  (м/год) визначаємо з виразу за формулою (3.11)

$$g_{зв} = \frac{10,75 \cdot 118}{3600 \cdot 7,82 \cdot 0,3} = 0,15 \text{ см/с, або } g_{зв} = 5,4 \text{ м/год.}$$

Значення напруги дуги  $U_o$  (В) зварювання визначимо за формулою (3.12)

$$U_o = 14 + 0,05 \cdot 118 = 19,2 \text{ В.}$$

Визначаємо погонну енергію  $q_n$  (Дж/см<sup>2</sup>) згідно з виразом (3.13)

$$q_n = 118 \cdot 19 \cdot 0,7 / 0,2 = 10462 \text{ Дж/см}^2.$$

Визначимо щільність струму  $j$  (А/мм<sup>2</sup>) за формулою (3.14)

$$j = \frac{4 \cdot 118}{3,14 \cdot 1,2^2} = 184 \text{ А/мм}^2.$$

Коефіцієнт форми проплавлення металу визначимо згідно виразу (3.15), при цьому коефіцієнт  $K'$  визначаємо з (3.16), тобто:

$$K' = 0,367 \cdot 2,19 = 0,8;$$

$$\psi_{np} = 0,8(19 - 0,1 \cdot 118) \frac{1,2 \cdot 20}{118} = 3,84.$$

Виконаємо перевірку глибини проплавлення  $h_{pn}$  (мм) за формулою (3.17)

$$h_{pn} = 0,081 \sqrt{\frac{10462}{3,84}} = 4,22 \text{ мм.}$$

Таким чином,  $h_{pn} = 4,22 > h_p = 2,1$  (мм), тобто перевірна глибина проплавлення металу перевищує розрахункову. В цьому випадку необхідно виконати корегування розрахунків в такій послідовності.

1. Знаходимо погонну енергію для  $h_p = 2,1$  мм.

$$q_n = (2,1 / 0,081)^2 \cdot 3,84 = 2532 \text{ Дж/см}^2.$$

2. Визначимо швидкість зварювання з формули (3.13)

$$g_{зв} = \frac{118 \cdot 19 \cdot 0,7}{2532} = 0,61 \text{ см/с, або } g_{зв} = 22,0 \text{ м/год.}$$

3. Розраховуємо швидкість  $g_{n.d}^{(+)}$  подачі електродного дроту за формулою (3.18)

$$g_{n.d}^{(+)} = 0,53 \frac{118}{1,2^2} + 6,94 \frac{118^2}{1,2^3} = 26,8 \text{ мм/с, або } g_{n.d}^{(+)} = 97 \text{ м/год.}$$

4. Визначимо розхід захисного газу з залежності (3.19)

$$q_{з.г} = 0,2 \cdot 118^{0,75} = 7,2 \text{ л/хв.}$$

## 4 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

### 4.1 Вибір зварювального обладнання

Для автоматизації зварювального процесу необхідно виконувати умови:

- автоматичне переміщення електричної дуги (зварювальної ванни) по зварювальному шву,
- подача основного (зварювальний дріт) та допоміжного (захисний газ) зварювального матеріалу в зону зварювання;
- зменшення трудомісткості робіт, підвищення продуктивності праці, полегшення умов праці;
- підвищення точності робіт, покращення якості продукції, збереження заданої форми виробів, що зварюються, шляхом відповідного закріплення їх для зменшення деформацій при зварюванні.

За результатами розрахунків параметрів режиму автоматичного зварювання в середовищі захисних газів поздовжніх швів вибираємо:

- для зварювання поздовжніх швів обичайок: установку для зварювання поздовжніх швів обичайок; зварювальний апарат ALPHA Q551; зварювальну автоматичну головку Мультитрак А2;
- для зварювання кільцевих швів обичайки з трубною дошкою: зварювальна колона; автоматична зварювальна головка Мультитрак А2; зварювальний апарат ALPHA Q551; зварювальний роликотач HGK-S1000;
- для зварювання трубок в трубну дошку – орбітальну зварювальну головку POINTEC 80 та програмоване джерело струму Pipemaster 515.

*Установка для зварювання поздовжнього шва обичайки.*

Установка призначена для зварювання поздовжніх швів стикових з'єднань циліндричних деталей, рис. 4.1. Використання пристроїв для збирання є обов'язковим, тому що ними забезпечується правильне розташування частин, що збираються.

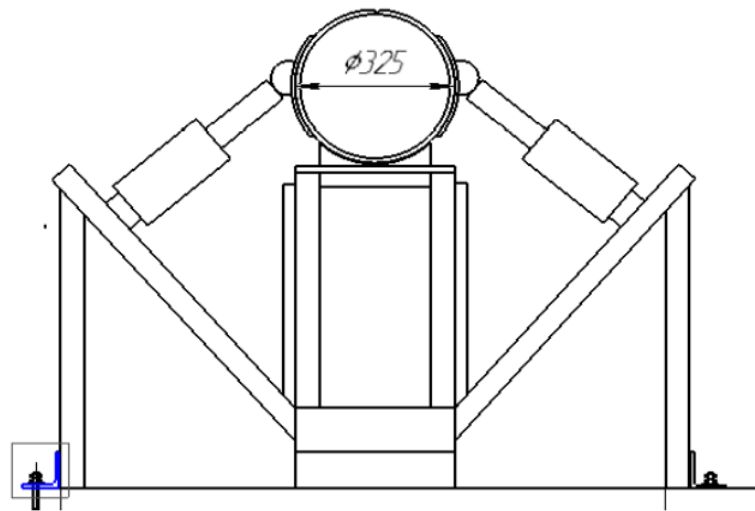


Рисунок 4.1 – Установка для зварювання поздовжніх швів

Застосування пристроїв створює ретельність підгонки зварюваних деталей, а також рівномірність швів, що накладаються.

Основні показники технічної характеристики установки для зварювання поздовжніх швів наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні показники технічної характеристики установки для зварювання поздовжніх швів

Найменування показника	Значення показника
Довжина заготовки зварювання, мм	1000-2000
Внутрішній діаметр виробу, мм	200-1000
Маса заготовки зварювання, кг	До 500
Притискання виробу пневматичними пристроями	За допомогою 2-х ножних педалів

*Зварювальна головка Мультитракт А2 (GMAW).*

Зварювальна головка Мультитрак А2 (GMAW) розроблена для механізації та збільшення продуктивності зварювання в захисному газі.

Компоненти виготовлені із міцних матеріалів, що робить зварювальну головку дуже надійною під час роботи у важких виробничих умовах.

Зручне регулювання дозволяє встановити наконечник зварювальної головки для зварювання будь-якого з'єднання. Надійний блок подачі зварювального дроту із зворотним зв'язком забезпечує стабільну подачу дроту навіть при зміні навантаження на привід.



Попереднє налаштування та контроль зварювальних параметрів здійснюється на пульті керування. Цифрова система управління дозволяє швидко налаштовувати зварювальні параметри, заносити їх на згадку машини (до 255 осередків пам'яті). Параметри зварювання відображаються на РК-дисплеї.

Зварювальна головка може бути оснащена двома типами пальників для зварювання в захисному газі А2 GMAW (рис. 4.2) та МТW 600. МТW 600 спеціально розроблена для інтенсивного високопродуктивного зварювання та має посилену систему водяного охолодження пальника.

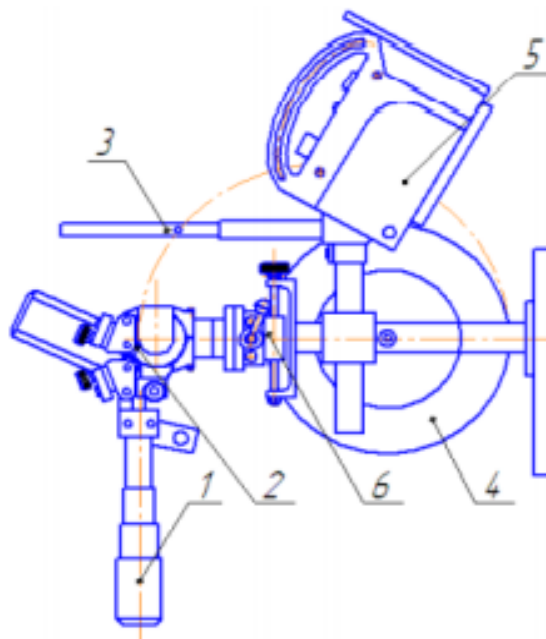


Рисунок 4.2 – Схема зварювальної головки Мультитрак А2 (GMAW): 1 – горілка; 2 – подавальний механізм; 3 – проміжний ролик подачі дроту; 4 – касета з дротом; 5 – блок управління; 6 – маховик регулювання положення горілки відносно шва

Основні показники технічної характеристики зварювальної головки Мультитрак А2 (GMAW) наведено в табл. 4.2.

Ефективне рідинне «вихрове» охолодження охолоджує не тільки контактний пристрій головки, та її корпус.

Усі необхідні підводки знаходяться у верхній частині пальника, що оберігає їх від впливу тепла та радіації зварювальної дуги.

Таблиця 4.2 – Основні показники технічної характеристики зварювальної головки Мультитрак А2 (GMAW)

Найменування показника	Значення показника
Максимальний струм зварювання за ПР 100% в суміші газу Ar, А	600
Максимальний струм зварювання за ПР 100% в суміші газу CO <sub>2</sub> , А	650
Напруга живлення трифазної мережі, В	380
Діаметр електродного дроту, мм	1,2-2,4
Швидкість подачі електродного дроту, м/хв	2-25
Швидкість зварювання, м/хв	0,1-1,7
Кут нахилу горілки поперек шва, град.	± 15
Маса, кг	25

*Зварювальний апарат ALPHA Q551.*

Зварювальний апарат ALPHA Q551 (рис. 4.4) належить до моделей інноваційних зварювальних апаратів нового покоління, розробленого на основі надійної та випробуваної інверторної технології EWM.

Область застосування апарату охоплює весь спектр виробничих завдань, забезпечуючи високу якість зварювання багатьох матеріалів та сплавів для виготовлення зварних з'єднань. Великий резерв потужності, що досягається за рахунок високої тривалості включення, дозволяє зменшити теплове навантаження на всі компоненти та збільшити термін служби апарату.



Рисунок 4.4 – Загальний вигляд зварювального апарату ALPHA Q 551

Плавне регулювання силової динаміки зварювальної дуги (дроселювання). Економія електроенергії завдяки високому ККД та функції енергозбереження.

*Орбітальна зварювальна головка POINTEC 80.*

Орбітальна зварювальна головка POINTEC 80 (рис. 4.5) дозволяє вварювати труби в трубну дошку в горизонтальному або вертикальному положенні. Фіксоване з'єднання кабелю з контролером.

Поворотне вбудоване з'єднання дозволяє зробити нескінченну кількість оборотів. Сумісність з усіма типами центруючих картриджів та оправок дозволяє використовувати голівку у всьому діапазоні труб.



Рисунок 4.5 – Загальний вигляд зварювальної головки POINTEC 80 для зварювання труб в трубні дошки

Технічні характеристики зварювальної головки POINTEC 80 для зварювання труб в трубні дошки наведені у табл. 4.3.

*Програмоване джерело струму Pipemaster 515 для орбітального зварювання.*

Pipemaster 515 – джерело живлення, яке забезпечує високу точність, повторність і надійність, рис. 4.6.

При цьому: забезпечує точність встановлених режимів зварювання; вбудований перемикач дозволяє зупинити зварювання при припиненні подачі газу в пальник; цифрові технології назавжди усувають необхідність періодичного калібрування зварювальної головки – швидкість обертання двигунів та вихідні характеристики залишаються точними та стабільними незалежно від зносу та умов експлуатації;

- можливість міняти зварювальні головки без витрати часу на калібрування.

Таблиця 4.3 – Основні показники технічної характеристики зварювальної головки POINTEC 80

Найменування показника	Значення показника
Тип зварного процесу	MIG/MAG
Положення зварювання	Горизонтальне / вертикальне
Струм зварювання, А	До 300
Швидкість подачі електродного дроту, м/хв	2-15
Кут нахилу горілки поперек шва, град.	± 30
Довжина головки зварювання, мм	320 без картриджа
Діаметр головки зварювання, мм	169
Мінімальний діаметр труби зварювання, мм	10
Максимальний діаметр труби зварювання, мм	80 при куті нахилу горілки 15 град.
Охолодження	Рідинне
Допустиме регулювання зварювання по осі, мм	+ 5
Кабель з'єднання з джерелом струму:	
- довжина, мм	4
- маса, кг	3,5
Напруга живлення моторів, В	24
Маса, кг	7,6

Технічні характеристики Pipemaster 515 наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Основні показники технічної характеристики джерела струму Pipemaster 515 для орбітального зварювання

Найменування показника	Значення показника
Контрольовані функції	Зварний струм Обертання головки Швидкість подачі електродного дроту Регулювання напруги дуги зварювання
Діапазон регулювання струму зварювання, А	0-200
Кількість вбудованих програм, шт.	100
Максимальна напруга холостого ходу, В	80
Напруга живлення мережі, В	115-230
Маса, кг	35



Рисунок 4.6 – Загальний вигляд джерела струму Pipemaster 515 для орбітального зварювання

*Зварювальна колона BCZQ 2x2.*

Зварювальні колони служать для переміщення та позиціонування зварювальної головки у процесі автоматизованого зварювання. Зварювальна колона дозволяє переміщати голівку по трьох осях.

Зварювальна колона BCZQ 2x2 складається з приводної платформи для поздовжнього, переміщення зі зварювальною та маршовою швидкостями.

На вертикальній стойці колони змонтована консоль, що висувається, яка іще переміщається по висоті та у поперечному напрямку.

Поперечне переміщення також здійснюється зі зварювальною та маршовою швидкостями.

Загальний вигляд зварювальної колони BCZQ 2x2 для зварювання кожухотрубної секції теплообмінника наведено на рис. 4.7.

Основні показники технічної характеристики зварювальної колони BCZQ 2x2 наведено в табл. 4.5.

*Ролик-обертач.*

Ролик-обертач призначений для встановлення циліндричної форми виробів в зручне для зварювання положення та обертання зі швидкістю зварювання.

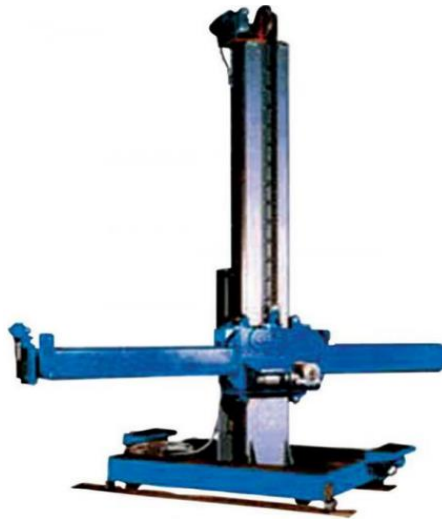


Рисунок 4.7 – Загальний вигляд зварювальної колони BCZQ 2x2

Таблиця 4.5 – Основні показники технічної характеристики зварювальної колони BCZQ 2x2

Найменування показника	Значення показника
Модель	BCZQ 2x2
Ефективне вертикальне переміщення, мм	2000
Ефективне горизонтальне переміщення, мм	2000
Швидкість вертикального переміщення, мм/хв	1000
Швидкість горизонтального переміщення, мм/хв	120-1200
Мінімальна висота консолі, мм	400
Вантажна здатність, кг	200

Загальний вигляд ролика-обертача моделі NHTR-1000 для зварювання кожухотрубної секції теплообмінника наведено на рис. 4.8.



Рисунок 4.8 – Загальний вигляд ролика-обертача моделі NHTR-1000

Основні показники технічної характеристики ролика-обертача моделі NHTR-1000 наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Основні показники технічної характеристики ролика-обертача моделі NHTR-1000

Найменування показника	Значення показника
Модель	NHTR-1000
Напруга живлення мережі при частоті струму 50 Гц, В	АС 110/220V 50/60HZ, 1 phase
Витрати потужності електродвигунів приводу обертання, кВт/год	0,06
Довжина приводної / не приводної / секції, мм	542 / 450
Ширина приводної / не приводної / секції, мм	320 / 160
Висота секції, мм	335
Вантажна здатність, кг	1000
Діапазон діаметрів зварювальних виробів, мм	20-800
Швидкість обертання, м/хв	0,08-1,6
Зовнішній діаметр роликів, мм	200

Таким чином, у дипломному проекті розглянуто питання складання та зварювання кожухотрубної секції водяного теплообмінника із сталі марки 16ГС та 08Х18Н10Т.

За базовим варіантом виготовлення кожухотрубної секції водяного теплообмінника виконувалося механізованим зварюванням в середовищі захисного газу Ar.

За проектованою технологією механізоване зварювання замінюється на автоматичне зварювання в середовищі захисного газу Ar. Це призведе до зниження витрат на зварювальні матеріали, підвищиться якість зварних з'єднань, значно збільшиться продуктивність за рахунок впровадження нового обладнання.

Базовий варіант:

- зварювальний напівавтомат ВС – 350 – 2 шт, механізм подачі дроту – 2 шт., зварювальний пальник – 2 шт;
- зварювальний дріт – СВ-04Х19Н11М3 Ø 1 мм, Св-08Г2С Ø 1,6 мм;
- ролик-обертач – 1 шт.

Проектований варіант:

- установка для зварювання поздовжніх швів;
- зварювальна головка для зварювання труб у трубні дошки;
- джерело живлення PIPEMASTER 515;
- підвісна зварювальна головка Мультитрак А2;
- джерело живлення ALPHA Q515;
- зварювальний дріт – Св-07Х18Н9ТЮ;
- зварювальний дріт СВ -08 Г2С.

## 4.2 Контроль якості

Якість зварювання можна забезпечити за умови, якщо якість вихідних матеріалів (основного металу, електродів, зварювального дроту, захисного газу і т.п.) задовольняє вимогам, що висуваються до них.

Насамперед, встановлюють відповідність сертифікатних даних на все вихідні матеріали даним, необхідним згідно з технологічним процесу зварювання конструкцій. Потім оглядають матеріали та додатково перевіряють їх якість відповідно до нормативної документації.

Якість зварних з'єднань більшою мірою залежить від справної роботи зварювального обладнання.

Мета та призначення даного виду контролю – забезпечити підтримку зварювального обладнання у робочому стані відповідно до паспортних даних.

Устаткування для дугового зварювання має забезпечувати стійке горіння дуги, необхідну точність та правильність регулювання режиму зварювання ( $I_{зв}$ ,  $U_0$ ,  $V_n$  і т.д.). Ці параметри підлягають ретельній перевірці щоразу перед пуском обладнання та процесі виробництва.

Значною мірою якість зварного з'єднання залежить від якості використовуваного спеціального оснащення та пристроїв. Складальні пристосування повинні забезпечувати: необхідну міцність та жорсткість; точне, швидке і надійне закріплення елементів зварної конструкції; необхідний



ступінь точності всіх розмірів деталі, що зварюється, вузла, виробу; встановлення зварюваного об'єкта в положення, зручне для зварювання тощо.

Велике значення для забезпечення якості продукції, що випускається має контроль у процесі виробництва. Уважне та безперервне спостереження за станом обладнання, апаратури, пристроїв, приладів та інструментів, а також за ходом виконання зварювальних операцій кожним зварником дозволяє своєчасно виявити дефекти зварювання та вжити заходів щодо усунення причин їх утворення.

Контроль технології виготовлення зварних виробів включає перевірку підготовлених до зварювання заготовок, справності зварювальних пристроїв, збирання виробів під зварювання, стану зварювальних матеріалів, зварювального обладнання та дотримання встановлених режимів зварювання. У підготовлених до зварювання заготовок перевіряють форму, розміри та геометрію обробки кромки, а також відсутність їх поверхнях забруднень, іржі, вологи.

Перевіряють якість підготовки кромки під зварювання та збирання заготовок. До основних контрольованих розмірів зібраних під зварювання деталей відносять зазор між кромками та притуплення кромки – для стикових з'єднань без обробки крайки, притуплення крайки і кут їх обробки – для з'єднань з обробкою кромки. Для вимірювання та перевірки, зазначених вище параметрів застосовують спеціальні шаблони або універсальний інструмент.

#### **4.2.1 Контроль за зовнішнім оглядом**

Зовнішнім оглядом неозброєним оком або за допомогою лупи виявляють насамперед дефекти швів у вигляді тріщин, підрізів, свищів, пропалів, напливів, непроварів у нижній частині швів.

Багато з цих дефектів, як правило, неприпустимі і підлягають виправленню. Під час огляду виявляють дефекти форми швів, розподіл лусочок та загальний характер розподілу металу у посиленні шва.

Зварні шви часто порівнюють на вигляд зі спеціальними стандартами. Геометричні параметри швів вимірюють за допомогою шаблонів та вимірювальних інструментів.

Тільки після зовнішнього огляду виріб піддають будь-яким фізичним методам контролю визначення внутрішніх дефектів.

Ретельний зовнішній огляд - зазвичай дуже проста операція - може, тим не менш, служити високоефективним засобом попередження та виявлення дефектів.

#### **4.2.2 Ультразвукова дефектоскопія**

Даний контроль зварних з'єднань відноситься до неруйнівних методів контролю. Він є обов'язковим для виробів, що зазнали термічної обробки. Поверхня виробів має бути підготовлена під проведення неруйнівного методу контролю. Ширина зачистки зварних швів повинна дорівнювати ширині шва плюс не менше 20 мм навколошовної зони з кожного боку. На поверхні, підготовленої під УЗК, не повинно бути зовнішніх дефектів, шлаку, бризок металу, окалини.

Ультразвукова дефектоскопія виробляється з метою виявлення зварних з'єднань внутрішніх дефектів (тріщин, непроварів, пор, шлакових включень та ін.). Ехо-імпульсний метод - це використання відображення ультразвукових хвиль від несплошностей контролюваного виробу, які мають відмінний від основного металу акустичний опір, де змінюється і реєструється відбита хвиля.

Ультразвуковий контроль слід проводити після зовнішнього огляду з'єднання. При виявленні зовнішніх дефектів їх зазвичай усувають до ультразвукового контролю.

Спочатку здійснюється підготовка до ультразвукового контролю, яка включає в себе: вибір основних параметрів контролю та методів сканування, налаштування дефектоскопа за контрольними зразками, очищення поверхні, нанесення контактуючого мастильного матеріалу.

Схема ехо-імпульсного контролю якості зварних з'єднань представлена на рис. 4.9.

Озвучування об'єкта проводиться короткими уривчастими імпульсами. Ознакою дефекту є поява на екрані приймача луна-сигналу.

Ехо-імпульсний метод використовується для контролю всіх основних видів зварних з'єднань

Для УЗК використовуємо імпульсний луна-метод з використанням дефектоскопа УД2-12, рис. 4.10.

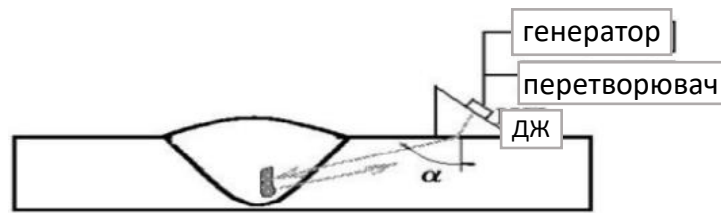


Рисунок 4.9 – Схема ехо-імпульсного контролю

Дефектоскоп УД2-12 призначений для контролю продукції на наявність дефектів (порушення суцільності та однорідності матеріалів, напівфабрикатів, готових виробів та зварних з'єднань), вимір глибини та координат їх залягання, вимір відносин амплітуд сигналів від дефектів.



Рисунок 4.10 – Загальний вигляд дефектоскопа УД2-12

Основні характеристики дефектоскопа УД2-12 наступні:

- діапазон товщин контрольованого матеріалу по сталі від 1 до 999 мм по цифровому індикатору та від 1 до 5000 мм по екрану ЕЛТ;
- дефектоскоп експлуатується за температури навколишнього повітря від -10 до 50 0С;

- маса дефектоскопа з акумуляторною батареєю – не більше 8,4 кг;
- габаритні розміри – не більше 170x280x350 мм;
- робоча частина екрану ЕПТ дефектоскопа по вертикалі та горизонталі, відповідно 60x80 мм;
- електричне живлення: мережа змінного струму напругою (24 +2,4/-3,6); (36+3,6/-5,4); (220+22/-33) Частотою (50+/-1) Гц;
- автономне джерело живлення – акумуляторна батарея 12 В.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Аналіз характеристик потенційних небезпек та шкідливих умов під час виготовлення виробу

Виготовлення кожухотрубною секції теплообмінника супроводжується виникненням ряду шкідливих факторів, які створюють несприятливі мови для організації виробничого процесу. До них слід перед усім віднести динамічні процеси функціонування систем, та їх деякі наслідки небезпечного характеру: забруднення навколишнього середовища продуктами обробки деталей, виникнення виробничих шумів та вібрацій, вплив світлових та теплових випромінювань і т.д.

Пил, забруднюючи повітря, шкідливо діє на дихальні шляхи і легені (проникає в лімфатичні шляхи і затримується в бронхіальних залозах), очі, зуби, ясна, органи травлення та слуху, викликаючи подразнення та гострі і хронічні запальні процеси; проникаючи в контактуючі частини механізмів пришвидшує їх зношення, а потрапляючи на обмотки електродвигунів може призвести до короткого замикання.

Основним методом оцінки запиленості повітря являється ваговий метод у поєднанні з визначенням розміру пилу (при диханні пилинки розміром 5-10 мкм затримуються в дихальних шляхах частково, а розміром менше 0,3 мкм не затримуються).

Гранично допустима концентрація чавунного пилу у повітрі на ділянці повинна становити  $6 \text{ мг/м}^3$ , що відповідає четвертому класу небезпеки.

Роботи технологічного та допоміжного обладнання на ділянці супроводжується значними шумами та вібраціями, які шкідливо впливають на працездатність і здоров'я людей. Так, діючи на центральну нервову систему, вони впливають на весь організм людини: втрачається гострота зору, змінюється ритм дихання і серцевої діяльності, підвищується внутрішньочерепний та кров'яний тиск, уповільнюється процес травлення.

Шум та стрясання діють на кору головного мозку як подразники, прискорюючи процес втоми та уповільнюючи психічні реакції. Через шум робітники не можуть своєчасно реагувати на звукові запобіжні сигнали (мостового крану, транспортних засобів та інших), що збільшує ймовірність нещасних випадків.

По частотній характеристиці шум на даній ділянці можна віднести до II класу: найбільші рівні шумів в спектрі знаходяться нижче частоти 800 Гц. Значення величини вібрацій на робочому місці на протязі 8-и годинного робочого дня не повинно перевищувати  $1 \div 2,4$  Гц.

Освітлення виробничих приміщень – важливий захід гігієни та охорони праці і підвищення її продуктивності. Відповідне освітлення підвищує продуктивність очей, зменшує стомлюваність робітників, знижує травматизм і випадки браку.

Величини нормованої освітленості встановлюється в залежності від того, які використовуються джерела світла і системи освітлення.

Згідно СНиП 11-4-79, виконувани на ділянці роботи по степені точності відносяться до III-го розряду, а при бічному освітленні коефіцієнт освітленості повинен становити 2,0.

Величина мінімальної освітленості встановлюється згідно умов зорової роботи, які визначаються мінімальними розмірами об'єкта розпізнавання, контрастністю та фоном і характером фона, які для даної ділянці мають наступні значення: мінімальний розмір об'єкта розпізнавання 0,3-0,5 мм; під розряд зорової роботи – 8; контраст відмінності з фоном – середній; штучна освітленість при загальному освітленні – 300 лк; природна освітленість при боковому освітленні  $K = 2 \%$ ; суміщення освітленості при верхньому і боковому – 1,2 %; фон – світлий.

Однією з причин травматизму на ділянці є ураження електричним струмом, внаслідок несправності електроустановок, випадкові дотики (безпосередньо або через металеві і інші предмети) до струмоведучих частин, несправність виконання заземлення.

Під час механічної обробки деталі та її зварювання виникає багато небезпечних зон. Небезпечною зоною називається певний простір, у якому організм людини або окремі органи можуть потрапити під дію факторів, що здатні викликати порушення цілісності організму або його фізіологічних функцій.

На даній ділянці можна виділити такі небезпечні зони:

- а) простір вражаючої дії випромінювання під час зварювання деталі;
- б) простір під вантажем при переміщенні його краном;
- в) простір навколо рухомих деталей на конвеєрі та рухомих елементів системи потокової лінії.

Щоб повністю усунути можливість потрапляння людей у небезпечні зони слід застосовувати інженерно-технічні заходи (огорожі, блокування та інше) та організаційно-технічні (спеціальне навчання, інструктаж попередній та біля небезпечної зони, попереджуючі, нагадуючі, забороняючі та інші надписи біля небезпечних зон, правильне розміщення устаткування та інші).

## **5.2 Дія вібрації на організм людини і розробка заходів для їх зниження**

При сучасному розвитку автоматизації та механізації, застосуванні потужних механічних установок, неодмінною умовою роботи цехів машинобудівних заводів є наявність сильних коливальних рухів – вібрацій, які позначаються на стані здоров'я працюючих.

Вібрація впливає на клітинну будову органів тіла, викликаючи зміни у тканинах, м'язах, зокрема в серцевих, а також на нервову систему, порушуючи регуляцію діяльності внутрішніх органів і обмін речовин. В результаті вібрації може послабитись реакція організму на подразнення зовнішнього середовища.

Дія вібрації на організм людини залежить від її частоти та амплітуди. Чим більша амплітуда чим більша амплітуда, тим більша енергія коливального руху і тим сильніший вплив на людський організм.

При інтенсивних та частих вібраціях у робітників може виникнути невроз рук, захворювання суглобів. Значна вібрація є професійною шкідливістю.

Отже, вібрація є шкідливою для здоров'я, вона може призвести до виробничого травматизму і професійних захворювань, а тому треба усувати їх як у виробничих приміщеннях, так і на території заводу, і вживати проти них захисних заходів.

У цьому плані існує безліч різноманітних засобів. Один з них – заміна вібраційного процесу без вібраційним, ударні дії – безударними. Наприклад, ретельне складання всіх рухомих частин агрегату, при якому зводяться до мінімуму помилки у зчленуванні деталей (перекоси, неправильна відстань між центрами та інші), сприяє зменшенню співударяння, виникнення шуму та вібрацій.

Якщо не можна зменшити їх у самому джерелі утворення до допустимого рівня, в конструкцію агрегату слід включити пристрої, що перешкоджають поширенню назовні, тобто ізолюють чи вбирають вібрацію.

Наприклад, добрим засобом ізоляції фундаментів будівлі від коливань є акустичні розриви, розташовані по периметру фундаменту. Акустичним розривом називається щілина між вібруючою масою і тією масою, яку необхідно захистити від струсів. Щілина йде по всьому периметру фундаменту і є його повітряним ізолятором. Заповнюють її матеріалами, які слабо проводять звук і коливання (повстю, пергаміном, пакетами з толлі чи руберойду, тирсою, шлаком); при цьому утворюється так званий акустичний шов.

Крім цього, щоб запобігти руйнуванню будівельних конструкцій від даного впливу, виробниче устаткування встановлюємо на спеціальні віброізолюючі фундаменти (див. рис. 5.1).

Проведемо розрахунок амортизатора робочого обладнання, використовуючи методологію підручника [27], враховуючи що  $n_{\max} = 800$  об/хв.;  $P = 120$  кН. Приймаємо загальну масу фундаменту 500 кН (маса фундаменту повинна бути не менша ніж у три рази більша маси установки).



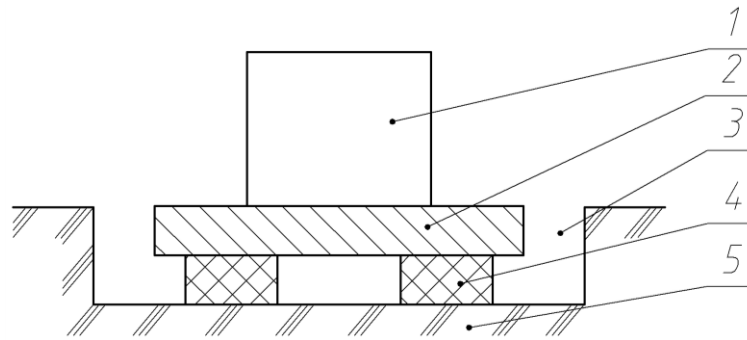


Рисунок 5.1 – Схема встановлення верстата: 1 – верстат; 2 – перекриття; 3 – акустичний шов; 4 – амортизатор; 5 – фундамент.

Вибираємо амортизатори із гуми марки ИРП-1346, у якої:  $\sigma = 3 \cdot 10^5$  Па;  
 $E_{\delta} = 3,9 \cdot 10^6$  Па.

Визначаємо частоту власних коливань установки на амортизаторах:

$$f_0 = \frac{n}{3 \cdot 60}, \quad (5.1)$$

де  $n$  – кількість обертів на установці,  $n_{\max} = 800$  об/хв.

$$f_0 = \frac{800}{3 \cdot 60} = 4,44 \text{ об/с.}$$

Колова частота коливань установки рівна:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= 2\pi f_0 \\ \omega_0 &= 2 \cdot 4,44 \cdot \pi = 28 \text{ Гц} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Загальна жорсткість усіх амортизаторів у вертикальному напрямку визначається за формулою:

$$K_z = m \cdot \omega_0^2, \quad (5.3)$$

де  $m$  – маса ізолюючої установки,  $m = 500 \cdot 10^3 / (10 \cdot 9,81) = 5096,84$  Н·с<sup>2</sup>/м;

$$K_z = 5096,84 \cdot 28^2 = 3995922 \text{ Па/м}$$

Площа поперечного перерізу усіх амортизаторів визначається за формулою:

$$F_p = P / \sigma. \quad (5.4)$$

$$F_p = \frac{50000}{3 \cdot 10^5} = 0,1666 \text{ м}^2.$$

Робоча висота амортизатора рівна:

$$H = \frac{E_{\partial} \cdot F_p}{K_z} \quad (5.5)$$

$$H = \frac{3,9 \cdot 10^6 \cdot 0,1666}{3995922} = 0,1627 \text{ м}$$

При шести амортизаторах площа одного рівна  $0,1666/6 = 0,028 \text{ м}^2$ .

Якщо амортизатор квадратний, то розмір його сторони рівний  $\varepsilon = \sqrt{0,028} = 0,1673 \text{ м}$ .

Таким чином, розрахований верстата амортизатор повинен забезпечити необхідну віброізоляцію.

Слід відзначити, що на даній ділянці джерелом коливань є також і транспортна обладнання. У зв'язку з цим для послаблення так званих корпусних вібрацій крізь перекриття останні слід робити у вигляді плаваючих конструкцій, шляхом вкладання підлог на пружну основу (див. рис. 5.2).

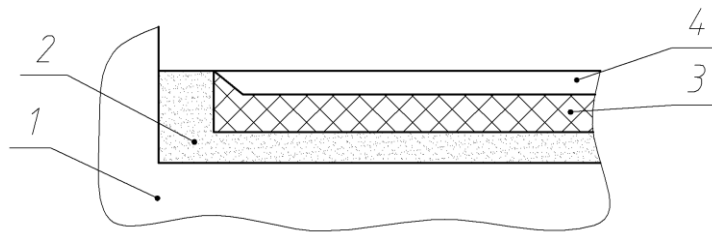


Рисунок 5.2 – Схема плаваючої підлоги на монолітній бетонній несучій основі: 1 – несуча конструкція перекриття; 2 – пружний матеріал; 3 – плаваюча підлога; 4 – верхнє покриття

Необхідною умовою для зниження дії вібрації на організм людини є дотримання основних вимог:

- одягати м'які рукавиці з подвійною прокладкою на долонній поверхні;
- для зменшення відчуття вібрації і стрясань органів черевної порожнини слід щільно оперізувати живіт та користуватись спеціальним взуттям на товстій зубчастій гумовій подошві.

### 5.3 Розрахунок повітрообміну в приміщенні дільниці зварювання деталей

Розрахунок необхідної кількості повітря для приміщення з тепловиділеннями проводиться по надлишках явного тепла. Дану кількість повітря необхідно визначити окремо для теплого і холодного періодів року.

Визначимо кількість явного тепла що виділяється в приміщенні дільниці в теплий період року, з урахуванням таких джерел тепловиділення: робітників, сонячної радіації, штучного освітлення, верстатів, систем ЧПУ верстатами.

Кількість тепла, що виділяється людиною, при легкій категорії виконуваної роботи складає 150 Вт. При одночасній роботі чотирьох працівників кількість явного тепла буде дорівнює:

$$Q_{я.люд.} = 4 \times 150 = 600 \text{ Вт.} \quad (5.6)$$

Кількість тепла від сонячної радіації, визначається за формулами:

$$Q_{скл.рад.} = F_{скл} \times q_{скл} \times A_{скл}; \quad (5.7)$$

$$Q_{n.рад.} = F_n \times q_n \times K_n, \quad (5.8)$$

де  $F_{скл}$  і  $F_n$  - площа заскленої поверхні і поверхні покриття,  $m^2$ ;  $q_{скл}$  - тепловиділення через  $1 m^2$  заскленої поверхні, воно залежить від географічної орієнтації і характеристики вікон, приймається рівним у межах від 70-210 Вт/ $m^2$ ;  $A_{скл}$  - коефіцієнт засклення, його значення лежить у межах 0,25-1,15, у залежності від виду засклення і його сонцезахисних властивостей.

Через те, що приміщення знаходиться не на останньому поверсі корпусу і має капітальні стіни, тепlopоступлення від сонячної радіації через них можна не враховувати. Воно лежить у межах 6-24 Вт. Розрахуємо  $Q_{скл}$  за формулою:

$$Q_{скл.рад.} = 4 \times 1,8 \times 3,5 \times 100 \times 1 = 2520 \text{ Вт.}$$

Теплоту, що виділяється штучним освітленням можна виизначити за формулою (5.9):

$$Q_{oc} = N_{oc} \times n \times l, \quad (5.9)$$

де  $N_{oc}$  - потужність ламп;  $n$  - частка тепла, що надходить у приміщення  $n = 0,4-0,7$  для люмінесцентних ламп,  $l$  - коефіцієнт використання лампи, у теплий період він дорівнює  $0,4-0,8$ .

Розрахуємо  $Q_{oc}$  для загального числа світильників, при використанні в них люмінесцентних ламп потужністю 40 Вт за формулою:

$$Q_{oc} = 12 \times 2 \times 40 \times 0.5 \times 0.5 = 3840 \text{ Вт.}$$

Визначимо сумарну кількість тепла:

$$Q_{\text{сум}} = Q_{EOM} + Q_{oc} + Q_{\text{скл}} + Q_{\text{люд}} = 520 + 3840 + 2520 + 600 = 7480 \text{ Вт.}$$

Розрахуємо втрати тепла через стіни і вікна за формулою

$$Q_{\text{втр}} = F_{\text{огр}} \times (T_{\text{вн}} - T_{\text{зов}}) \times R, \quad (5.10)$$

де  $F_{\text{огр}}$  - поверхня огороження;  $T_{\text{вн}}$  - температура повітря в приміщенні;  $T_{\text{зов}}$  - розрахункова температура зовнішнього повітря;  $R$  - опір теплопередачі конструкції.

Внаслідок того, що в теплий період часу, нормальна (середня) температура в Україні складає  $T_{\text{нор}} = 22,3^\circ \text{ C}$  і практично збігається з необхідною температурою в приміщенні, розрахунок теплових втрат у приміщенні, яке проектується, можна не проводити через мінімальну різницю  $T_{\text{вн}}$  і  $T_{\text{зов}}$ .

Визначимо кількість явного тепла, що виділяється в приміщенні в холодний період року, з урахуванням таких джерел тепла: операторів, мініЕОМ, штучного освітлення, батарей центрального опалення. Кількість тепла що виділяється першими трьома джерелами тепла, не змінилося, у порівнянні з літнім періодом. Тому потрібний розрахунок кількості тепла що виділяється тільки батареями центрального опалення. Усього в приміщенні чотири батареї, кожна з яких можна уявити у виді сукупності вертикальних і горизонтальних труб.

Тепловий потік від поверхні нагрітих тіл можна визначити за формулою:

$$Q_m = (k_{\epsilon} + k_{\kappa}) \times (T_n - T_{n\epsilon}) \times F, \quad (5.11)$$

де  $F$  - площа тіла;  $T_n$  - температура поверхні тіла;  $T_{n\epsilon}$  - температура навколишнього повітря;  $k_{\epsilon}$ ,  $k_{\kappa}$  - коефіцієнти випромінювання і конвекції.

Визначимо значення  $M$  за по формулою (5.12) [2]:

$$M = C_{np} \times [(273 - T_n/100) - (273 + T_{\epsilon}/100)] / (T_n - T_{\epsilon}). \quad (5.12)$$

де  $C_{np}$  - приведений коефіцієнт випромінювання тіл у приміщенні, прийнятий рівним 4,9.

Знайдемо  $M$ :

$$M = 4.9 \times [(273 - 50/100) - (273 + 22/100)] / (50 - 22) = 32.$$

Визначимо значення  $T_o$  за формулою:

$$T_o = A \times (T_n - T_{\epsilon}), \quad (5.12)$$

де  $A$  - коефіцієнт, що приймає значення для горизонтальних труб 0,17, для вертикальних труб 0,21.

Знайдемо значення  $T_o$ :

$$T_{o.гор} = 0,17 \times (50 - 22) = 4,8;$$

$$T_{o.вер} = 0,21 \times (50 - 22) = 5,8.$$

Кожна батарея складається з двох горизонтальних труб, довжиною 920мм і діаметром 80мм і 22 вертикальних труб, довжиною 540мм і діаметром 60мм.

Розрахуємо тепловий потік від однієї батареї за формулою (5.13):

$$Q_{бат} = 2 \cdot (M + T_{o.гор}) \cdot (T_n - T_{\epsilon}) \cdot \pi \cdot D_{гор} \cdot L_{гор} + 22 \cdot (M + T_{o.вер}) \cdot (T_n - T_{\epsilon}) \cdot \pi \cdot D_{вер} \cdot L_{вер} =$$

$$3,14 \cdot (T_n - T_{\epsilon}) \cdot (2 \cdot (32 + 4,8) \cdot 0,08 \cdot 0,92 + 22 \cdot (32 + 5,8) \cdot 0,06 \cdot 0,54) = 2846 \text{ Вт.}$$

Від чотирьох батарей, відповідно:

$$Q_{бат,4} = 4 \cdot 2846 = 11386 \text{ Вт.}$$

Визначимо сумарну кількість тепла, що надходить:

$$Q_{сум} = 11386 + 3840 + 520 + 600 = 16346 \text{ Вт.}$$

Обчислимо втрати через стіни і вікна будівлі за формулою, прийнявши  $T_{зов} = -15^\circ \text{C}$ :

$$Q_{втр} = (F_{стін} \cdot -F_{вікон}) \cdot (T_{вн} - T_{зов}) \cdot K_{ір} \cdot L_{кір} + F_{вікон} \cdot (T_{вн} - T_{зов}) \cdot (B_{скл} \cdot L_{скл} + E_n \cdot L_n) = 33,64 \cdot (22+15) \cdot 1,2 \cdot 0,7 + 9,36 \cdot (22+15) \cdot (2 \cdot 0,7 \cdot 0,002 + 0,15 \cdot 0,7) = 1054,7 \text{ Вт.}$$

Визначимо необхідний повітрообмін для теплого і холодного періодів року за формулою:

$$L = 3,6 \cdot Q \cdot C \cdot P \cdot (T_{вн} - T_{зов}), \quad (5.13)$$

де  $C$  - питома теплоємність повітря, при постійному тиску, вона дорівнює 1кДж/кг,

$P$  - щільність повітря 1,2 кг/м.куб.

Для теплого періоду необхідний повітрообмін:

$$L_m = 3,6 \cdot 7480 / 12000 \cdot (23 - 22,3) = 32,057 \text{ м.куб/год.}$$

Для холодного періоду року необхідний повітрообмін:

$$L_x = 3,6 \cdot 15799 / 12000 \cdot (22 + 15) = 1,4 \text{ м.куб/год.}$$

Норма повітрообміну для приміщення вузла, обумовлена СНіП II-68-75 складає 30 м.куб/год на одне робоче місце, і, відповідно, для чотирьох робочих місць, складе 120 м.куб/год:

$$L_{норм} = 4 \cdot 30 = 120 \text{ м.куб/год.}$$

Вимоги СНіП II-68-75, більш жорсткі, ніж запропоновані для забезпечення відводу явного тепла, як для холодного, так і для теплого періодів року:

$$L_{норм} = 120 > L_m = 32,057 > L_x = 1,4.$$

Тому перевіримо виконання більш жорсткої вимоги, шляхом розрахунку повітрообміну, забезпеченого природною вентиляцією, із застосуванням дифлектора і порівнянням отриманого результату з необхідним.

Розмір повітрообміну, організований дифлектором можна розрахувати, користуючись формулою (5.14):

$$D = 0,0188 (L_d / V_d)^{1/2}, \quad (5.14)$$

де  $V_{\partial}$  - середня швидкість вітру в даній місцевості,  $V_{\partial} = 3,4$  м/хв;

$L_{\partial}$  - продуктивність дефлектора;

$D$  - діаметр патрубка.

Знаючи площу прямокутного патрубка, підведеного до приміщення, розрахуємо ефективний діаметр за формулою:

$$D_{ef} = S_{natp.} / \pi = 0.24 \cdot 0,18 / 3,14 = 0,0137 \text{ м.}$$

По розрахованому ефективному діаметрі, визначимо продуктивність нашого дефлектора:

$$L_{\partial} = \underline{V_{\partial}} \cdot (D_{ef} / 0,0188) = 3,4 \cdot (0,0137 / 0,0188) = 0,18 \text{ м.куб/с.}$$

Реальний повітрообмін у помешканні вузла приблизно на 10% менше розрахованого, через втрати у повітропроводах і патрубках і складає приблизно 0.16 м.куб/с:

$$L_{orp} = L_{\partial} \cdot 0,9 = 0.16 \text{ м.куб/с.}$$

Порівняємо  $L_{orp}$  з  $L_{norm}$ :

$$L_{orp} = 0.16 > L_{norm} = 120 / 3600 = 0,03 \text{ м.куб/с.}$$

Отже, застосування дефлектора дозволяє забезпечувати всі нормовані СНіП II-68-75 параметри мікроклімату у приміщенні, яке проектується.

## ВИСНОВКИ

У ході роботи над дипломним проектом було розроблено технологію та комплектування обладнання для зварювання корпусу теплообмінника.

Було досягнуто поставлених завдань:

- проаналізовано базовий варіант виготовлення корпусу водяного підігрівача;
- підібрано та обґрунтовано проектований спосіб зварювання корпусу водяного підігрівача;
- проведено необхідні розрахунки режимів зварювання;
- обрано та обґрунтовано зварювальне та складальне обладнання;
- розроблено технологію складання-зварювання виробу;

Таким чином, у дипломному проекті в технологічній частині основі аналізу базового варіанту розроблено проектований варіант технологічного процесу із заміни механізованого зварювання на автоматичне зварювання у середовищі захисного газу.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбань Ю.І. Результати досліджень розподілу струму у зоні зварювання: тези доп. XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 7-8 грудня 2022 р. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2022. С. 47 – 48.
2. Луканин В. Н. Теплотехника. М.: «Высшая школа», 2002.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии, «Химия». М., 1971. 784 с.
4. Марочник сталей и сплавов : справочник / В.Г. Сорокин, А.В.Волосникова, С. А. Вяткин и др. / под ред. В.Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.
5. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов. - 2-е изд., испр. и доп. / А.И. Акулов, В.П. Алехин, С.И. Ермаков и др. /Под ред. А.И. Акулова. М: Машиностроение, 2003. 560 с.
6. Овчиннико, В. В. Основы теории сварки и резки металлов. М.: КноРус, 2011. 248 с.
7. Мотяхов М.А. Электродуговая сварка металлов. М.: Высш. школа, 1975.
8. Глизманенко Д.Д. Сварка и резка металлов: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1975. 479 с.
9. Гурев, С.М. Справочник по сварке металлов. Наукова думка, 1981. 608с.
10. Джевага, И.И. Механизованная электродуговая сварка под флюсом. М., 1968. 360 с.
11. Юхин Н.А. Механизованная дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах. Изд. «СОУЭЛО». Москва, 2008. 73 с.
12. Чвертко А.И., Патон В.Е., Тимченко В. А. Оборудование для механизированной дуговой сварки и наплавки. М.: Машиностроение, 1981. 264 с.

13. Юхин Н.А. Выбор сварочного электрода. Издательство «СОУЭЛО». Москва, 2003. 69 с.
14. Николаев Г.А. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. М.: Машиностроение, 1978.
15. Шебеко Л.П. Оборудование и технология автоматической и полуавтоматической сварки. М.: Высш. Школа, 1975. 344 с.
16. Троицкий В.А. Неразрушающий контроль качества сварных конструкций. К.: Техника, 1986. 196 с.

## **ДОДАТКИ**



**ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПЛУЮЯ**

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗВАРЮВАННЯ КОРПУСУ  
КОЖУХОТРУБНОЇ СЕКЦІЇ ВОДЯНОГО ТЕПЛООБМІННИКА**

*(Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня магістр)*



**Кафедра інжинірингу машинобудівних  
технологій**

**Спеціальність: 131 Прикладна механіка**

**Студент: Горбань Ю.І., гр. МПм-61**

**Керівник:**

**Д.т.н., професор Барановський В.М.**

**Тернопіль – 2022**

# 1

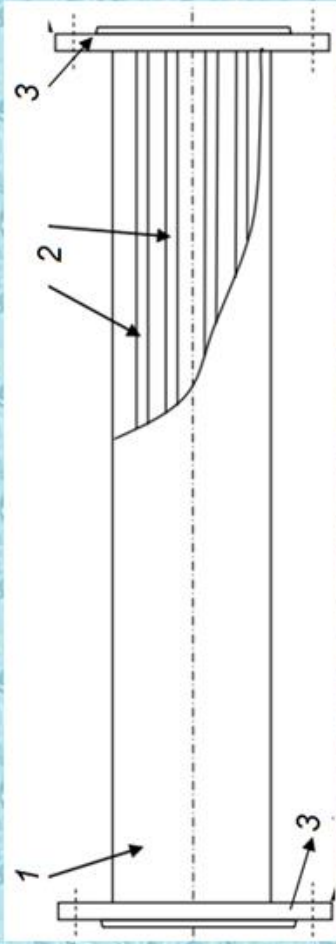
**Мета роботи:**  
обґрунтування параметрів  
автоматизованого процесу дугового  
зварювання кожухотрубної секції водяного  
теплообмінника.

**В кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі завдання:**

- ❖ проаналізувати умови роботи кожухотрубної секції;
- ❖ підібрати та обґрунтувати проектований спосіб зварювання металоконструкції;
- ❖ здійснити необхідні розрахунки режимів зварювання;
- ❖ розробити технологію складання-зварювання корпусу кожухотрубної секції;
- ❖ вибрати та обґрунтувати заготівельне, зварювальне та складальне обладнання;
- ❖ розглянути питання безпеки життєдіяльності та охорони праці.

# 2

## ЕСКІЗНИЙ ПРОЕКТ ЗВАРНОГО ВИРОБУ



1 – обичайка;

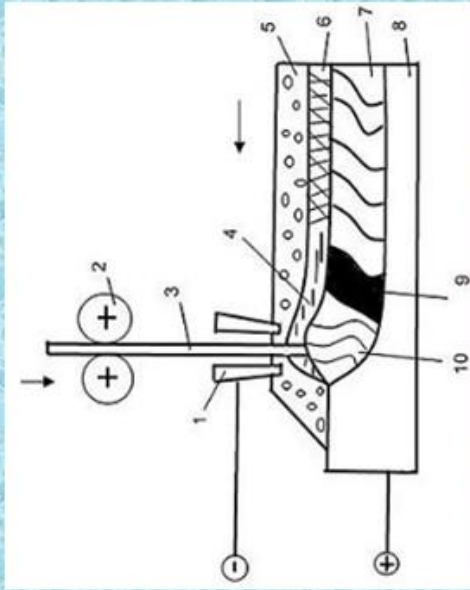
2 – трубки;

3 – трубна дошка

Найменування параметра	Значення параметра
Тип апарату	ТН з жорстким кожухом і нерухомими трубними решітками
Робочий тиск, МПа	1,6
Тиск розрахунковий, МПа	1,8
Тиск при гідровипробуванні, МПа	2,3
Середовище нагрівання	Вода з центральної системи опалення
Середовище підігрівання	Вода з центральної системи подачі холодної води
Матеріал основних деталей зварювання	Сталь 16ГС Сталь 08Х18Н10Т
Діаметр кожуха зовнішній, мм	325
Діаметр кожуха внутрішній, мм	305
Температура середовища нагрівання та підігрівання, °С	0-150
Довжина теплообмінних труб, мм	2000
Зовнішній діаметр теплообмінних труб, мм	20
Товщина стінки теплообмінних труб, мм	2
Число ходів по трубам	2
Схема розташування труб в трубних решітках і перемичках	По вершинах рівносторонніх трикутників

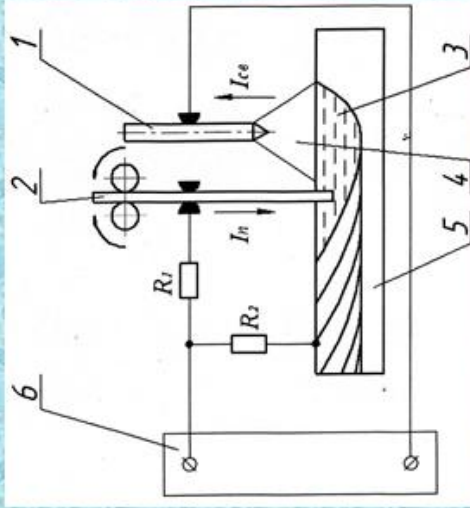
# 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ КОЖУХОТРУБНОЇ СЕКЦІЇ



**Схема електродугового зварювання низьколегованих сталей під шаром флюсу**

- 1 – струмопровід;
- 2 – механізм переміщення дроту;
- 3 – дріт;
- 4 – рідкий шлак;
- 5 – флюс;
- 6 – шлакова кірка;
- 7 – зварний шов;
- 8 – основний метал;
- 9 – рідкий метал;
- 10 – електрична дуга



**Схема процесу автоматизованого зварювання**

- 1 – електродний дріт;
- 2 – присадний дріт;
- 3 – зварна ванна;
- 4 – зварна дуга;
- 5 – виріб;
- 6 – джерело живлення

### Магнітна індукція B

$$B = \frac{\mu\mu_0 I_n}{4\pi r_0} (\cos\phi_1 - \cos\phi_2), \quad (1)$$

де  $\mu$  – постійна магнітна індукція;

$\mu_0$  – магнітна індукція проникнення;

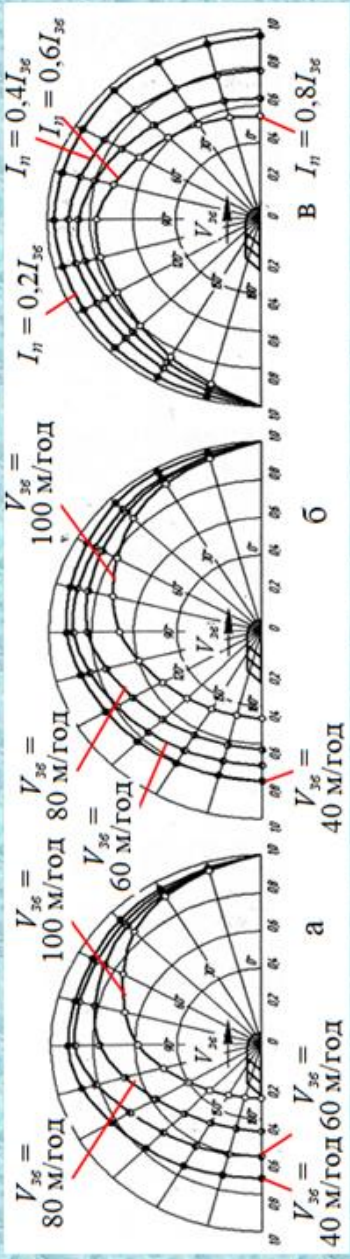
$r_0$  – відстань від дроту до точки A;

$\phi_1, \phi_2$  – кути, утворені радіусами-векторами

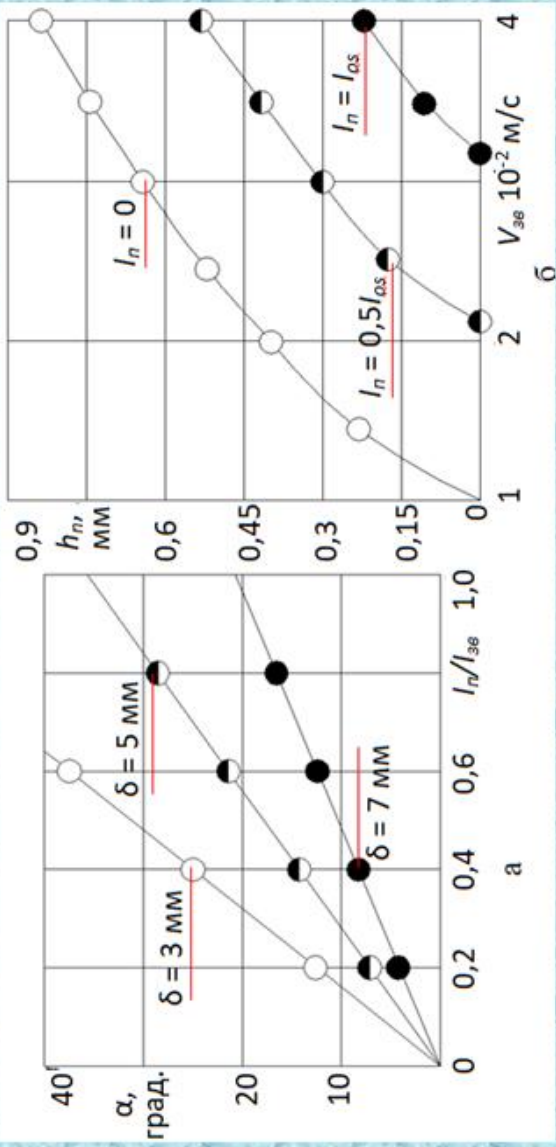


**Схема до визначення магнітної індукції у довільній точці зварювальної дуги**

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ



Залежність зміни розподілення струму в зоні зварювання від  $A(\phi) / \|A(\phi)\|$  :  
 а – без присадного дроту,  $I_n = 0$ ; б, в – з присадним дротом,  $V_{36} = 100$  М/год

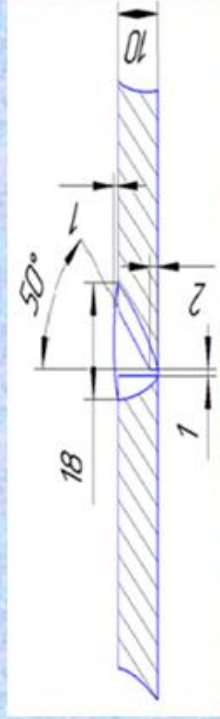


Залежність: а – кута відхилення дуги від струму в дроті,  $I_{36} = 240$  А;  
 б – величини підрізу від швидкості зварювання



# 5

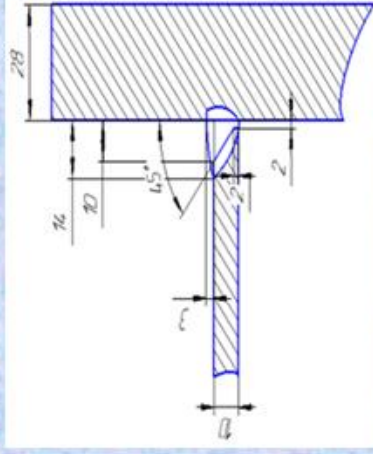
## ПАРАМЕТРИ ТА РЕЖИМИ ЗВАРЮВАННЯ



**Схема стыкового зварного з'єднання поздовжнього стику шва обичайки**

*Параметри та режими зварювання деталей в середовищі захисних газів*

Найменування	Значення
Зварювальний струм, А	148
Діаметр електродного дроту, мм	1,6
Виліт електроду, мм	13
Напруга на дузі, В	22
Швидкість зварювання, см/с	0,2
Швидкість подачі електродного дроту, см/с	3
Погонна енергія зварювання, Дж/см	11995
Глибина проплавлення основного металу, мм	2,6
Ширина шва, мм	18
Висота підсилення шва, мм	2
Коефіцієнт наплавлення дроту, г/А год.	11,8
Коефіцієнт форми проплавлення металу	3,5
Розхід захисного газу, л/хв.	8,5



**Схема зварного з'єднання**

*Параметри та режими зварювання кільцевого шва з трубною дошкою*

Найменування	Значення
Зварювальний струм, А	118
Діаметр електродного дроту, мм	1,8
Виліт електроду, мм	15
Напруга на дузі, В	20
Швидкість зварювання, см/с	0,15
Швидкість подачі електродного дроту, см/с	2,8
Погонна енергія зварювання, Дж/см	10462
Глибина проплавлення основного металу	2,1
Ширина шва, мм	10,0
Площа наплавленого металу, мм <sup>2</sup>	74
Розхід захисного газу, л/хв.	7,2

## СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ

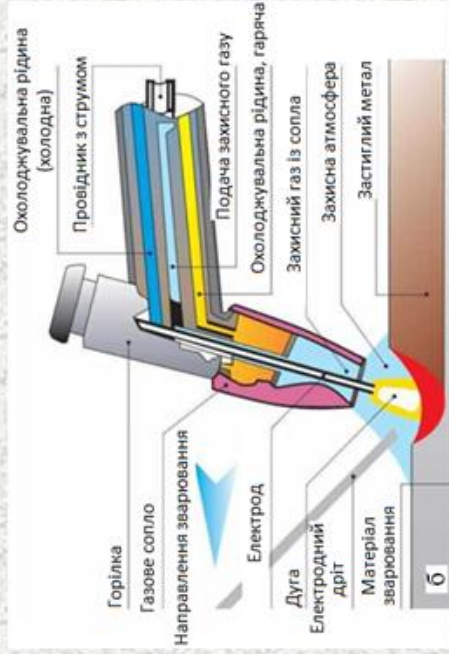
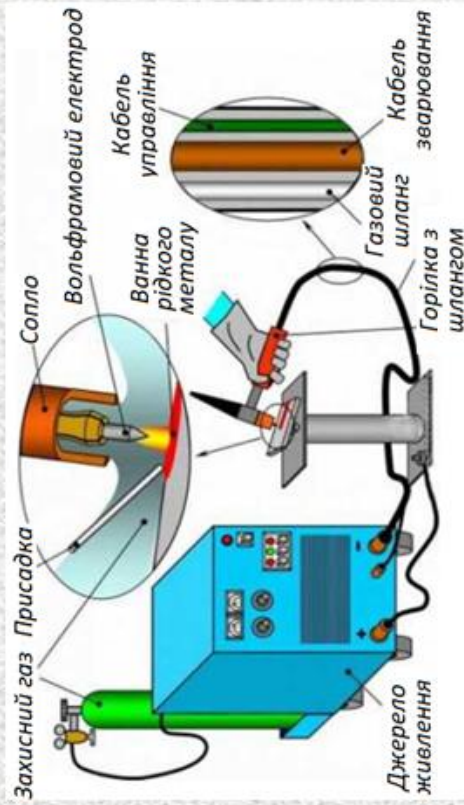


Схема електродугового зварювання в середовищі захисного газу: а – ручне аргано-дугове зварювання несплавним електродом; б – автоматизоване зварювання електродним дротом



а

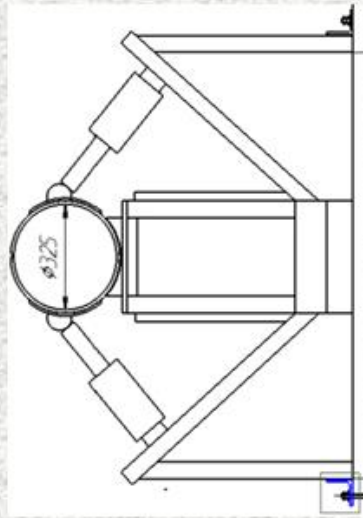
б

в

Загальний вигляд електродугового зварювання: а – зварювальним автоматом; б – зварювальною голівкою; в – зварювальними машинами (трактором)

# 7

## ЗВАРЮВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ



Установка для зварювання  
поздовжніх швів

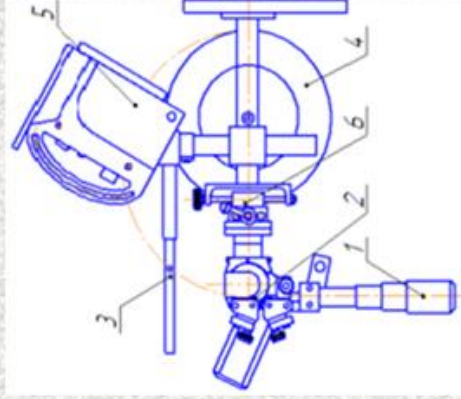


Схема зварювальної головки  
Мультитрак А2 (GMAW):  
1 – горілка; 2 – подавальний  
механізм; 3 – проміжний ролик  
подачі дроту; 4 – касета з  
дротом; 5 – блок управління;  
6 – маховик регулювання  
положення горілки відносно  
шва



Загальний вигляд  
зварювального  
апарату ALPNA Q 551



Загальний вигляд джерела  
струму PipeMaster 515 для  
орбітального зварювання



Загальний вигляд  
зварювальної головки  
ROINTEC 80 для  
зварювання труб в трубі  
дошки