

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ І УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему «**Обґрунтування параметрів процесу автоматичного  
зварювання деталей з нержавіючої сталі**»

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-62

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

Павло ЮЗЬВАК  
(Ім'я та прізвище)

Керівник: к.т.н., доцент Петро КОРУНЯК  
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ І УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

Рівень вищої освіти – другий магістерський  
Спеціальність 133 - Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
Машинобудування  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ (підпис)

професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ  
(прізвище та ініціали)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

\_\_\_\_\_ Юзьваку Павлу Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Обґрунтування параметрів процесу автоматичного зварювання деталей з нержавіючої сталі»

Керівник роботи \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Коруняк Петро Степанович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЛНУП від 28 квітня 2023 року №133/к-с

2. Строк подання студентом роботи до 19. 01. 2024 року

3. Вихідні дані до работ: довідкова література, технічні характеристики установок для автоматичного зварювання, каталоги зварювального обладнання, методики розробки технологічних процесів, типові технологічні процеси зварювання, методики розрахунку режимів зварювання, інструкції з охорони праці, технічні характеристики зварювальних апаратів та додаткової оснастки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Стан питання та задачі досліджень; 4.2. Технологічна частина; 4.3. Обґрунтування вибору зварювального обладнання; 4.4. Охорона праці; 4.5. Техніко-економічне обґрунтування.

5. Перелік графічного матеріалу:

Графічні матеріали до роботи виконати у вигляді презентації в середовищі PowerPoint обсягом 10-12 листів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		Завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	Коруняк П.С. доц. каф. машинобудування			
4	Городецький І.М. доц. каф. УПБВ			

7. Дата видачі завдання 28. 04. 2023 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Стан питання та задачі досліджень	26.05.23	
2	Технологічна частина	30.06.23	
3	Обґрунтування вибору зварювального обладнання	28.07.23	
4	Охорона праці	25.08.23	
5	Техніко-економічне обґрунтування	15.09.23	
6	Оформлення пояснювальної записки	29.09.23	
7	Оформлення графічної частини	10.10.23	

Студент

\_\_\_\_\_ Павло ЮЗЬВАК \_\_\_\_\_  
( підпис )

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Петро КОРУНЯК \_\_\_\_\_  
( підпис )

**Юзьвак П.П.** «Обґрунтування параметрів процесу автоматичного зварювання деталей з нержавіючої сталі». /Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 68 с.

Проведено аналіз існуючих нержавіючих сталей та технологій їх зварювання. Проаналізовано основні види обладнання, яке використовується для автоматизації процесів виготовлення виробів зварюванням з нержавіючої сталі. Розглянуто особливості процесів електродугового зварювання нержавіючих хромованих сталей вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу, вплив полярності на процес зварювання, особливості техніки виконання зварних швів та вибору захисних газів.

Описано обладнання, яке використовувалось для проведення досліджень, його конструкцію та органи керування. Наведено послідовність підготовки обладнання, методикку та результати обґрунтування режимів зварювання, а також результати досліджень та їх аналіз.

Розглянуто питання охорони праці під час виконання операцій зварювання.

Визначено собівартість технологічного процесу виконання автоматичного зварювання нержавіючої сталі на установці AWS 1100 в середовищі аргону.

Табл. 2; рис. 35; бібліогр. джерел 30.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 СТАН ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ І ПРАКТИЦІ	8
1.1 Аналіз та класифікація нержавіючих сталей	8
1.2 Аналіз процесів зварювання нержавіючої сталі	11
1.3 Аналіз обладнання для автоматизованого зварювання	16
1.3.1 Установки для зварювання повздовжніх швів	17
1.3.2 Установки для зварювання повздовжніх та кільцевих швів	20
1.3.3 Зварювальні колони	22
2 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ TIG ЗВАРЮВАННЯ	24
2.1 Особливості електродугового зварювання вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу	24
2.2 Полярність зварювання	26
2.3 Техніка автоматичного зварювання неплавким електродом у захисних газах	28
2.4 Захист металу під час зварювання від навколишнього середовища	32
3 ОБЛАДНАННЯ, МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
3.1 Експериментальне обладнання	39
3.2 Підготовка системи AWS 1100 для зварювання повздовжніх швів до роботи	46
3.3 Розрахунок параметрів режиму зварювання	48
3.4 Параметри режимів зварювання та межі їх регулювання	50
3.5 Аналіз отриманих результатів досліджень	52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1 Аналіз потенційних небезпек	57
4.2 Моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час зварювання	58

5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	62
	ВИСНОВКИ	65
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	66

## ВСТУП

Висока популярність нержавіючої сталі в світі є незаперечною для більшості застосувань виробництва та обслуговування. Коли перевіряються механізми руйнування металів, можна легко згадати згубний вплив корозійних руйнувань. Отже, одним із найбільш бажаних методів запобігання корозії можна вважати перевагу нержавіючих сталей для цільових продуктів.

Важливість нержавіючої сталі добре відома більшості ентузіастів техніки. Однак методи з'єднання нержавіючої сталі автоматичним зварюванням вивчені не повністю. Однією з найскладніших частин етапу виробництва зварювальної продукції вважається процес складання. Нержавіюча сталь має високі міцнісні властивості, тому процеси деформації нержавіючої сталі можуть бути доволі складними. Однак зварювання нержавіючої сталі є саме тим рішенням для більшості процесів складання, які не можуть досягти бажаної форми виробів за допомогою методів пластичного формування. Зварювання нержавіючої сталі дозволяє виробникам створювати найрізноманітніші вироби складної форми. Крім того, зварювання нержавіючої сталі можна використовувати для окремих ділянок цільових виробів.

Чудові характеристики нержавіючих сталей створили для них широку область використання, тому зварювання такої сталі стало необхідністю для більшості інженерних застосувань. Зварювання нержавіючої сталі має деякі відмінні властивості, але методи, які використовуються для зварювання нержавіючої сталі, дуже схожі на методи зварювання звичайної вуглецевої сталі.

Метою даної роботи було обґрунтування практичних рекомендацій виготовлення металоконструкцій з нержавіючої сталі методом автоматизованого зварювання.

## 1 СТАН ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ І ПРАКТИЦІ

### 1.1 Аналіз та класифікація нержавіючих сталей

Нержавіючими називаються сталі, які володіють високою стійкістю проти атмосферної корозії, а також деяких газових, водних, сольових та лужних середовищах.

Основним легуючим елементом, який забезпечує корозійну стійкість таких сталей є хром. Він у чистому вигляді має високу хімічну стійкість.

Під час легування сталі хромом 11,7 % і більше утворюються його тверді розчини із залізом, що забезпечує збільшення її корозійної стійкості. Чим вищим є вміст хрому в сплаві, тим вища його корозійна стійкість.

Інші легуючі елементи, які вводять до сталі, можуть покращувати або погіршувати її антикорозійні властивості. Так, наприклад, вуглець, який зв'язує хром у карбіди, призводить до зменшення вмісту хрому у твердому розчині. Тому для збереження необхідної корозійної стійкості до сталі додають більше хрому. Наприклад, за вмісту вуглецю 0,15–0,20 % до сплаву необхідно додавати не менше 13–14 % хрому [6].

Значне підвищення антикорозійних властивостей сталі забезпечує додавання нікелю. Залізонікелеві аустенітні сталі зберігають свою корозійну стійкість лише в середовищах розведених розчинів сірчаної кислоти або киплячих лугів.

Згідно ГОСТ 5632-72 класифікують наступні групи нержавіючих корозійностійких сталей:

- Хромисті;
- Хромонікелеві й нікелеві;
- Хромомарганцеві й хромомарганцевонікелеві.

Властивості корозійностійких хромистих сталей регламентуються ГОСТ 5632-72. Згідно даного стандарту існують марками мартенситного (20X13,



30X13), мартенсито-феритного (12X13) і феритного (08X13, 12X17, 08X18T1) класів.

Хромисті сталі містять 13 % Cr і мають досить високу стійкість проти атмосферної корозії, а також впливу слабоагресивних середовищ (слабких розчинах кислот і солей) при кімнатній температурі.

Значного покращення корозійної стійкості сталі досягають шляхом збільшенні вмісту хрому до 17 % і більше. Так отримують нержавіючі сталі феритного класу. Вміст хрому 17 % забезпечує достатню корозійну стійкість в 65 % розчині азотної кислоти. Підвищення вмісту хрому до 25–28 % додатково збільшує корозійну стійкість нержавіючої сталі в азотній кислоті.

Група хромонікелевих й нікелеві сталей знайшла найширше застосування й найбільшу питому вагу у промисловості. Дана група налічує більше півсотні марок. Сталь поставляється у вигляді поковок, сортового й листового прокату, гарячекатаних і холоднокатаних труб, фасонних профілів і виливків.

Хромонікелеві сталі ділять на такі підгрупи:

- аустенітні сталі з низьким вмістом вуглецю (в тому числі стабілізовані титаном або ніобієм);
- кислотостійкі аустенітні сталі із присадкою молібдену й міді;
- окалиностійкі сталі з високим вмістом хрому й нікелю;
- сталі аустеніто-мартенситного класу;
- сталі аустеніто-феритного класу.

Найбільш поширеними з поміж них є аустенітні сталі типу 18–8, (00X18H10, 0X18H10, X18H9, 0X18H11, 2X18H9), сталі стабілізовані титаном (00X18H10T, 0X18H10T, X18H9T, X18H10T, X18H12T, X17H13M2T, 0X17H16M3T, X17H13M3T) і ніобієм (0X18H10B, 00X16H15M3B, 0X16H15M3B) та інші. Сталі різних марок даного типу відрізняються між собою різним вмістом вуглецю, що в свою чергу, впливає на їх корозійну стійкість.

Сталі вищевказаних марок широко використовуються для виготовлення обладнання для хімічної промисловості. Сталі, стабілізовані титаном, призначені до використання в агресивних середовищах, а також для виготовлення виробів, які працюють за температур до 600 °С.

Сталі, стабілізовані ніобієм також рекомендуються для використання в агресивних середовищах, а також у вигляді присадкового матеріалу для зварювання інших видів хромонікелевих сталей.

Сталі, які містять присадку молібдену і стабілізовані титаном, застосовуються у високоагресивних середовищах.

Аустенітоутворюючим елементом у хромомарганцевонікелевих та хромомарганцевих сталях є марганець (Mn) і нікель (Ni). Аустенітну структуру в таких сталях одержують при вмісті марганцю більше 15,0 % і хрому менше 15 %.

Хромомарганцеві та хромомарганцевонікелеві сталі у більшості агресивних середовищ мають високу корозійну стійкість. Сталі 10X14AG15, 10X14M14N4T застосовують в торговельному й харчовому машинобудуванні. Крім них можна також використовувати сталі 20X13N4M9 та 12X17M9AN4.

Під час виробництва пластмас, склопластику, скловолокна, добрив, а також інших хімічних продуктів які створюють агресивні кислотні середовища машини та інша технологічна апаратура мають бути виготовлені з кислотостійких сталей. Розглянуті вище нержавіючі сталі дуже часто виявляються недостатньо стійкими в кислотних і лужних середовищах високої агресивності.

В машинобудування для виготовлення таких машин і обладнання використовують сплави, які називаються кислотостійкими сталями на залізонікелевій основі 04XН40МДТЮ, нікельмолібденовій основі Н70МФ, хромонікелевій основі ХН58В та хромонікельмолібденовій основі ХН65МВ, ХН60МБ.

## 1.2. Аналіз процесів зварювання нержавіючої сталі

У машинобудівній промисловості країни та за кордоном для нержавіючих сталей можуть застосовуватися декілька різновидів процесів зварювання. Основними з них є: газове, контактне, електронно-променеве, радіочастотне, електрошлакове, дифузійне та електричне дугове зварювання.

Газове (ацетилено-кисневе) зварювання – це простий і універсальний спосіб з'єднання деталей з нержавіючої сталі. Воно широко застосовувалося під час виготовлення конструкцій з тонколистових нержавіючих сталей до освоєння електродугового зварювання в захисних газах. До його переваг можна віднести: простоту виконання швів у всіх просторових положеннях; можливість зварювання тонких металів без пропалу; задовільні механічні властивості металу шва та зварного з'єднання. В даний час для зварювання нержавіючих сталей газове зварювання практично не застосовують.

Електричне дугове зварювання в наш час є найпоширенішим видом зварювання у всіх галузях промисловості. Згідно класифікації процесів дугового зварювання розрізняють кілька його видів, способів та методів [18].

Головною характеристикою будь-якого процесу зварювання є спосіб зварювання. З нього починається назва всіх процесів у технічних та технологічних документах (наприклад, ручне дугове зварювання неплавким електродом з присадкою в аргоні тощо).

Способи зварювання нержавіючої сталі в захисних газах поділяться на дві групи в залежності від типу електрода - зварювання неплавким (вольфрамовим або вугільним) і плавким (металевим) електродом.

До способів зварювання неплавким електродом відносяться ручне, механізоване і автоматичне, а плавким – тільки механізоване та автоматичне.

Ручне аргонодугове зварювання широко застосовується під час виготовлення відповідальних вузлів з труб і тонколистової нержавіючої сталі. Схема аргонодугового зварювання показана на рис. 1.1.

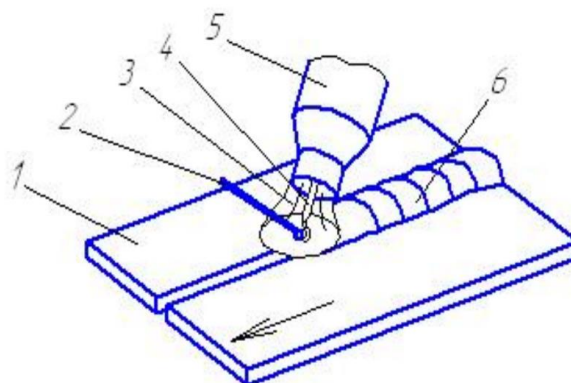


Рисунок 1.1 - Схема аргонодугового зварювання

1 – виріб, що зварюється; 2 – присадковий матеріал; 3 – захисний газ;  
4 – вольфрамовий електрод; 5 – сопло пальника; 6 – зварнийшов

Електрична дуга горить між неплавким електродом і виробом.

Оскільки електрод не розплавляється, то зварювальнику легко підтримувати постійну довжину дуги, а отже, легше керувати зварювальною ванною. Завдяки даному способу стало можливим виконувати зварювання тонких листів і тонкостінних труб (товщиною 0,5-2 мм). Коливання при цьому довжини дуги в межах 3 мм не призводить до утворення розриву ванни та пропалювання [4, 8].

Основні переваги аргонодугового зварювання:

- можливість зварювати тонкостінні вироби;
- простота техніки зварювання та можливість спостереження за процесом;
- можливість механізації та автоматизації процесу;
- добрі властивості металу шва та зварного з'єднання завдяки хорошему захисту зварювальної ванни, електрода та присадкового металу від дії навколишнього повітря.

Недоліки цього зварювання – низька продуктивність праці та відносно більша вартість аргону.

Аргонодугове зварювання широко застосовується при зварюванні трубопроводів. Завдяки даному способу істотно підвищилася якість швів.

При зварюванні тонкостінних виробів спостерігається тенденція до застосування імпульсного ручного аргонодугового зварювання. На відміну від звичайного використовується дві дуги: одна – «чергова» – горить безперервно, інша – переривчасто, імпульсами. «Чергова» дуга є допоміжною, струм при цьому не перевищує 6...10 А. Струм імпульсу може змінюватися в широких межах починаючи від 10 до 200 А.

Величина імпульсів та тривалість їх включення можуть змінюватися в широких межах. Практично використовують дрібні пульси (2–3 імпульси на секунду). Пульсуюча дуга має змінну потужність, а кількість тепла, яка надходить в метал, коливається. В результаті зварювальна ванна виходить не суцільною, а точковою, оскільки рідкий метал у період паузи встигає закристалізуватися. Це значно полегшує керування рідким металом.

Механізоване зварювання неплавким електродом у захисних газах застосовується для з'єднання листових конструкцій при виконанні швів, розташованих на похилій, вертикальній та горизонтальній стінках, а також кільцевих швів. На відміну від ручного аргонодугового зварювання, коли присадка подається у зварювальну ванну зварювальником вручну, при напівавтоматичному зварюванні подача присадкового матеріалу механізована. Усі відповідальні вузли з нержавіючої сталі рекомендується зварювати механізованим або автоматичним зварюванням в аргоні. Якість швів при цьому вища, а продуктивність процесу приблизно вдвічі вища, ніж під час ручного аргонодугового зварювання.

Для аргонодугового зварювання застосовують вольфрамові електроди, які потребують захисту розігрітого кінця від повітря інертним газом (аргоном, гелієм тощо).

Вугільні електроди не потребують захисту від повітря, проте ід час зварювання нержавіючих сталей необхідно захищати від повітря ванну розплавленого металу і тому електрод захищають заодно з розплавленим металом. Найчастіше при зварюванні вугільним електродом як захисний газ застосовують вуглекислий газ [15].

Автоматичне зварювання неплавким електродом у захисних газах широко застосовується в технологічних процесах виготовлення серій однотипних конструкцій, які мають стикові та кутові з'єднання, доступні для зварювання автоматами. При виконанні багатопрохідних швів, коли об'єм робіт із зачистки поверхні валиків від шлаку помітно збільшується, ефективність автоматичного зварювання в захисних газах зростає.

Найбільшого застосування цей спосіб зварювання набув під час з'єднання тонких листів. Як і при механізованому зварюванні, в даному способі використовують вольфрамові електроди, а в якості захисного газу – аргон, гелій чи їх суміші з вуглекислим газом.

Автоматичне зварювання може виконуватись звичайною або імпульсною дугою. Застосування імпульсів сприяє кращому формуванню зворотного валика при виконанні однопрохідних швів чи корневих валиків на швах.

Механізоване зварювання плавким електродом у захисних газах застосовується переважно для кутових і таврових з'єднань листових конструкцій і стикових з'єднань товстостінних труб.

В якості електрода використовують зварювальний дріт діаметром 0,8–2 мм тієї ж марки, що й марка зварюваної сталі.

Схема процесу механізованого зварювання плавким електродом у захисних газах показана на рис. 1.2.

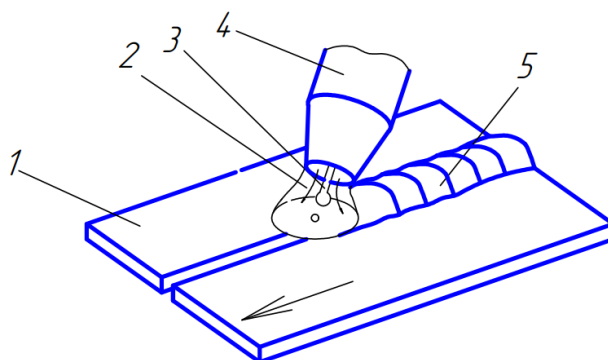


Рисунок 1.2 - Схема зварювання плавким електродом в захисних газах

1 – зварний виріб; 2 – струмінь захисного газу; 3 – плавкий електрод;

4 – сопло пальника; 5 – зварний шов

Для захисту від впливу повітря під час аргонодугового зварювання використовують інертні гази, а саме аргон, гелій, неон та їх суміші з вуглекислим газом. Застосування виду захисного газу визначається технічними вимогами до зварного вузла, а також економічними міркуваннями.

Якщо до зварних конструкцій з нержавіючих сталей ставляться високі вимоги щодо стійкості до корозії, для захисту швів використовують інертні гази (аргон, гелій та їх суміші) [19].

Вуглекислий газ у чистому вигляді для зварювання нержавіючих сталей не застосовується. Хоч він забезпечує задовільний захист нагрівання і рідкого металу від впливу повітря, при зварюванні у вуглекислому газі частково окислюються легуючі елементи: хром, титан, кремній, марганець та ін. Окислення хрому та титану призводить до зниження стійкості швів проти міжкристалітної корозії. Під час зварювання окислюються також шкідливі домішки (сірка, фосфор та водень), що сприяє підвищенню стійкості зварних швів проти утворення гарячих тріщин і пор.

Під час напівавтоматичного та автоматичного зварювання плавким електродом можливі три варіанти протікання процесу: струменевий, крупнокрапельний і короткими замиканнями. Відрізняються ці процеси характером перенесення металу розплавленого дроту у зварювальну ванну.

При струменевому процесі досягається велика теплова потужність у дуговому проміжку завдяки великим значенням струму та напруги на дузі. Цей процес можливий лише в одноатомних інертних газах: аргоні та гелії. Також ці гази сприяють відділенню дрібних крапель від розплавленого кінця дроту і прискореному їхньому руху через дуговий проміжок у ванну.

Якщо поступово зменшувати струм, може настати момент, коли струменевий процес перенесення металу припиняється, і нижче за певне значення (критичний струм) почне протікати великокраплинний процес.

Величина критичного струму залежить від марки матеріалу, діаметра дроту, складу захисного газу та полярності зварювального струму. При зварюванні в аргоні дротом із сталі 08X18H10T діаметром 1 мм на зворотній

полярності критичний струм  $I_{кр} = 190$  А. Додавання до аргону близько 1% кисню знижують критичний струм до  $I_{кр} = 160$  А.

Якщо одночасно зменшувати швидкість подачі дроту та напругу на дузі, почнеться процес зварювання у режимі коротких замикань. Цей процес успішно протікає у всіх газах, які рекомендуються для зварювання нержавіючих сталей, а також їх сумішей, наприклад, 80% аргону та 20% вуглекислого газу або аргону з киснем (від 1 до 10% кисню).

Сучасні зварювальні апарати забезпечують можливість створення комбінованого процесу. Цей вид зварювання називається імпульсно-дуговим.

Імпульсно-дугове зварювання – це такий процес, коли на малий, так званий фоновий струм накладаються потужні пульси струму малої тривалості. Максимальне значення струму імпульсу встановлюється більшим за критичний струм, що забезпечує струменеве перенесення, а тривалість імпульсу підбирається таким, щоб його енергії було достатньо для відриву краплі металу з кінця дроту та переміщення її у зварювальну ванну. При малих енергіях імпульсів зберігається крупнокрапельне перенесення, а при надто великих – краплі металу з великою силою падають у ванну, що призводить до розбризкування.

### 1.3 Аналіз обладнання для автоматизованого зварювання

Усі установки для автоматизованого електродугового зварювання можна поділити на три основні групи:

- 1 – зварювальні колони;
- 2 – установки для зварювання повздовжніх швів;
- 3 – установки для зварювання повздовжніх та кільцевих швів.

Нижче розглянемо кілька прикладів установок для автоматизованого зварювання та визначимо основні їх характеристики.



### 1.3.1 Установки для зварювання поздовжніх швів

На рис. 1.3 представлено автоматичні установки для зварювання поздовжніх швів оболонок, труб і листів фірми Creative (Чехія) [1].



Рисунок 1.3 – Автоматичні установки для зварювання поздовжніх швів оболонок, труб і листів

Установки для автоматичного зварювання поздовжніх швів серії AWL мають покращену механічну конструкцію, яка в поєднанні з високими допусками забезпечує більшу точність зварювання. Для зварювання зварну конструкцію поміщають на підкладний циліндр і притискають незалежними клавішними важелями притискача за допомогою пневматичних циліндрів.

Хороше тепловідведення дозволяє виконувати зварювання тонких матеріалів. Каскадна система продувки забезпечує підведення захисних газів через кілька клапанів, які спрямовують його безпосередньо в зону, де перебуває зварювальний палик, що дозволяє економити до 70% споживання захисного газу.

Затискна планка установки забезпечує позиціонування і фіксацію матеріалів різної товщини.

Необхідна точність і плавність переміщення зварювального пальника забезпечується завдяки кроковому двигуну і черв'ячній передачі приводу.

Установка забезпечує якісне з'єднання листового матеріалу при швидкості зварювання від 100 до 3000 мм/хв. З метою зменшення часу холостих переходів і швидкого повернення пальника до початку зварювання установка має можливість переміщення зі швидкістю 5000 мм/хв.

Установки серії AWL LCS06 оснащені цифровою системою управління, розробленою спеціально для установок зварювання поздовжніх швів. Вона може працювати в наступних режимах:

- Повністю автоматичний режим;
- Ручний режим зварювання, який підходить для штучного виробництва;
- Режим без зварювання - полегшує налаштування параметрів зварювання і усього робочого циклу;

В налаштуваннях установки доступні наступні режими зварювання:

- Безперервне зварювання;
- Інтервальний режим;
- Режим точкового зварювання;
- Точковий з інтервалами;
- Режим зі зміщенням початку зварювання;
- Режим старту в центрі;
- Режим старту з прихваткою.

Під час роботи установка має наступні робочі функції:

- Установка попередньої подачі поддувочного газу;
- Встановлення місця старту зварювання;
- Встановлення затримки руху пальника для розігріву основного металу;
- Установка довжини зварювання;
- Установка вимикання зварювального апарату;
- Функція зшивання дозволяє зробити будь-яку кількість точок або стібків в будь-якому місці;
- Програмування зварювального джерела.

Система дозволяє користувачеві зберігати складні налаштування певного режиму в блоці пам'яті.

Установка володіє наступними додатковою функцією підтвердження зварювальної дуги. Її суть полягає в тому, що установка чекає сигналу від зварювального апарату, і тільки після надходження відповідного сигналу починає виконувати запрограмований робочий цикл. Ця функція є ефективною під час зварювання тонких матеріалів. Також в налаштуваннях доступна функція центрування зварного шва. Вона дозволяє зварювати з'єднання від центра вправо, а потім зварювальна головка повертається в центр і переміщується вліво.

До цього ж типу машин відносяться установки для зварювання зовнішніх і внутрішніх стикових швів системи SWC. Дана установка призначена для виконання зовнішніх і внутрішніх стикових швів оболонок круглого і прямокутного перерізу або листового матеріалу. Максимальний діаметр заготовки під час зварювання внутрішніх швів не обмежується самою установкою, а у мінімальний діаметр обмежується технічними характеристиками машини. Розглянута установка призначена для виконання стикових швів листів або оболонок круглого і прямокутного перерізу товщиною від 0,5 до 10 мм і довжиною від 500 до 6000 мм.



Рисунок 1.4 – Установка для зварювання зовнішніх і внутрішніх стикових швів системи SWC

Система SWC може виконуватися зварювання одним із чотирьох методів зварювання: MIG/MAG; TIG; PLASMA і SAW (зварювання під флюсом).

Напрямна машини для встановлення оболонок виготовлена з мідного сплаву, який добре поглинає і розсіює тепло вздовж зварювального з'єднання чим запобігає деформації деталей та їх пропалюванню. В мідна напрямній виконані канали для охолоджуючої рідини з давачем температури і додаткової подачі захисного газу з метою запобігання окисленню зварювальної ванни і забезпечення повного проплавлення.

Установка системи SWC оснащена кольоровим сенсорним дисплеєм керування з ЧПК.

До функцій оператора входить закріплення оболонки в оправці. Регулювання, підтискання і зведення кромки здійснюється завдяки спеціальним пневматичним приладам, які працюють з притискними штифтами.

### 1.3.2 Установки для зварювання повздовжніх та кільцевих швів

На рис. 1.5 представлено загальний вигляд установок для автоматичного зварювання кільцевих і поздовжніх швів HWR LEADER 3152.108.H HST фірми Creative (Чехія) [1].



Рисунок 1.5 – Установки для автоматичного зварювання кільцевих і поздовжніх швів

Установки серії HWR доступні в трьох версіях кожна (Мк.І, Мк.ІІ, Мк.ІІІ), з різною вантажопідйомністю до 5200 кг. Це промислові установки для штучного і масового виготовлення металевих резервуарів та тіл обертання діаметром до 1500 мм.

Пересувний механізм дозволяє встановлювати блок подачі дроту з тримачем пальників для TIG MIG зварювання. Шпинделі установок мають прохідний отвір 78-108 мм і мають стандартні 250 і 350 мм затискні патрони. Обертання валу забезпечують 1 або 2 синхронізовані крокові двигуни через планетарний редуктор у передній і задній бабці.

Задня бабка установки встановлена у пересувній стійці. Притискання задньої бабки здійснюється пневматичним циліндром.

Рух тримача зварювального пальника забезпечує привід з зубчастим пасомм і планетарним редуктором. Переміщення супорта пальника по осі Х можна змінювати програмними модулями «Pendel» (цифровий блок коливачів) і «спіраль» (зварювання по спіралі, зварювання шнеків та наплавлення).

Агрегат створений для промислового використання з високим навантаженням. Завдяки універсальності установки можна проводити зварювання всіх видів кільцевих швів. Програмне забезпечення розширює можливості до абсолютної автоматизації серійного виробництва.

Пустотілий шпиндель установки дозволяє встановлення для зварювання негабаритних трубчастих виробів і виконувати зварювання з внутрішньої продувкою.

Установки цього типу можуть працювати в автоматичному режимі, коли робочий цикл повністю керує установкою. В автоматичному режимі відбувається контроль не лише за обертанням, але й за роботою допоміжних пристроїв (коливання, нахил і рух зварювального пальника, його переміщення по осі Х тощо). Оператор виконує тільки встановлення заготовок та видалення готових виробів.

В ручному режимі оператор може безпосередньо керувати всіма функціями установки з контролера. Також оператор має можливість

перевіряти програму перед зварюванням (коли джерело зварювання вимкнено). При цьому оператор вводить основні параметри процесу, а саме: діаметр виробу і система керування автоматично встановить необхідну швидкість обертання.

Блок керування підтримує функцію обміну даними з джерелом зварювання, наприклад, для виклику збережених програм зварювання. Крім того, він видає команди на запуск і зупинку зварювання, дозволяє оператору записувати нові програми для різних виробів.

Функція коливання має точний математичний алгоритм для переміщення зварювального пальника по траєкторії обертання. Це ідеальне рішення для широкого кола завдань.

Контроль поздовжнього рух зварювального пальника і синхронізацію його переміщення з обертанням позиціонера забезпечується завдяки функції «Вісь Х». Завдяки їй оператор має можливість виконувати зварювання в різних точках виробу або виконувати спіральне зварювання.

Завдяки функції піддуву газу оператор має можливість точно контролювати кількість поддувочного газу і забезпечити якісний захист кореня шва.

В технологічних процесах TIG або плазмового зварювання з необхідністю подачі присадкового матеріалу застосовують спеціальний блок подачі холодної дроту. Він наявний тільки в установках типу HST і оснащений цифровим керуванням, що дозволяє синхронізувати його роботу з модулем керування.

### 1.3.3 Зварювальні колони

Зварювальні колони є ідеальними машинами для виготовлення ємностей з нержавіючої, вуглецевої сталі та легких сплавів. Вони використовуються в технологічних процесів автоматичного MIG зварювання, дугового зварювання під флюсом, TIG або плазмового зварювання [16].

Колона може встановлюватися стаціонарно (F) або рухомо на рейковій направляючій (M). Їх застосовують для зварювання поздовжніх і кільцевих швів, як всередині так і зовні виробу.

Залежно від процесу зварювання і розмірів зварного виробу зварювальні колони підбирають різних розмірів і навантаження на стрілу (XS, S, L, XL.)

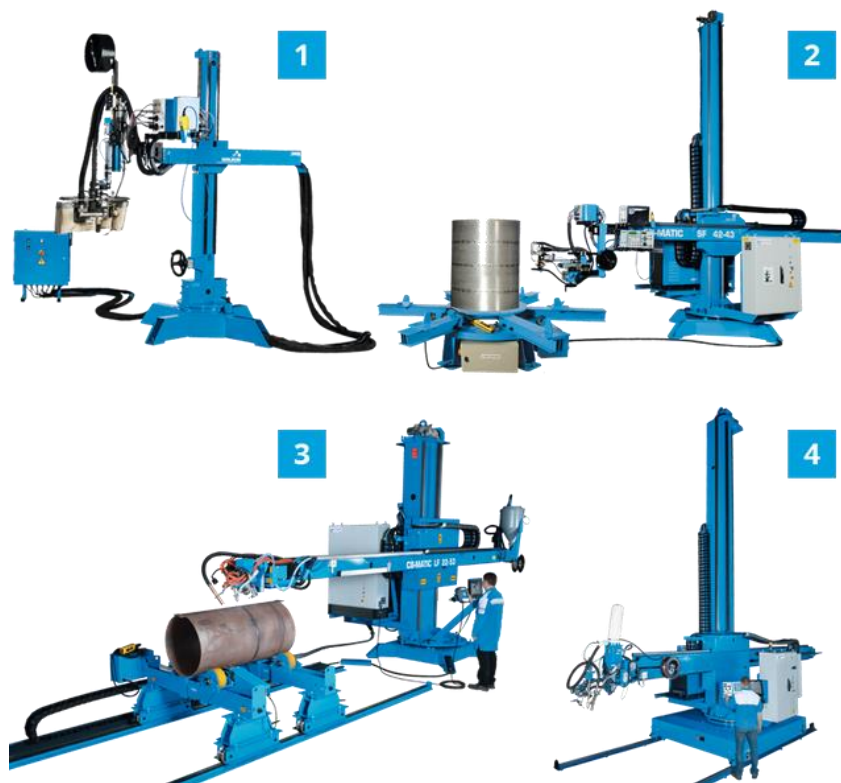


Рисунок 1.6 – Типи зварювальних колон

1 – стаціонарна; 2 – стаціонарна з обертачем; 3 – стаціонарна з обертачем на рейках; 4 – мобільна на рейках

Колони можуть бути обладнані зварювальними головками, які дозволяють виконувати зварювання на постійному струмі (DC) на спадаючій і жорсткій вольт-амперній характеристиці (ВАХ) та зварювання на змінному струмі (AC) на спадаючій ВАХ.

Установки можуть оснащуватись програмним забезпеченням для аналізу і запису параметрів процесу зварювання (струм зварювання, напруга на дузі). Також до їх складу може входити пристрій стеження за зварювальним швом TRACKMATIC, який гарантує точне позиціонування зварювальної головки відносно шва без втручання оператора. Керування здійснюється через

тактильний щуп або індуктивний давач, який виявляє помилки позиціонування і вносяться необхідні корективи для правильної траєкторії руху головки.



## 2. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ TIG ЗВАРЮВАННЯ

### 2.1 Особливості електродугового зварювання вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу

Технологія електричного зварювання вольфрамовим електродом у середовищі інертного газу в різних країнах позначається різними термінами (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Варіанти позначення зварювання вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу

Країна	Назва та позначення
Міжнародний стандарт DIN EN ISO 4063	Метод зварювання під номером 141
Німеччина	Wolfram-Inertgasschweißen (WIG-Schweißen)
Великобританія	Tungsten Inert Gas Welding (TIG-W)
США	Gas Tungsten Arc Welding (GTA-W)

Зварювання TIG є універсальним, відноситься до технологій зварювання плавленням та характеризується широким діапазоном застосування. TIG зварювання може виконуватися вручну або автоматично і забезпечує найвищі вимоги якості з'єднань.

Під час TIG зварювання використовується концентрована стабільна зварювальна дуга, яка горить в середовищі інертного захисного газу. Це дозволяють забезпечувати високу чистоту обробки матеріалу. Захисний газ забезпечує захист розплавленого металу від контакту з киснем, присутнім в повітрі. Завдяки якісному захисту вдається отримати високу якість металу зварного шва та рівну його поверхню, уникнути бризок металу. Перевагою TIG зварювання є відсутність утворення зварювальних парів, що менше

шкодить здоров'ю зварювальника. Ще однією перевагою даної технології є те, що під час TIG зварювання часто можна обійтися без використання присадкового металу.

Технологія TIG зварювання широко використовується для зварювання алюмінію та його сплавів, нікелю, титану, а також тонколистового алюмінію та нержавіючої сталі.

TIG зварювання може виконуватись як на постійному струмі різних полярностей, так і на змінному струмі. Джерела живлення мають два полюси, до одного з яких від'єднується заготовка, а до іншого – зварювальний пальник з вольфрамовим електродом [8].

Температура, необхідна для розплавлення кромek деталей при TIG зварюванні створюється електричною дугою. Дуга являє собою прошарок повітря або газу, через якому проходить електричний струм. Необхідний зварювальний струм подається до вольфрамового електрода, який є термостійким і не розплавляється. Між електродом та заготовкою створюється зварювальна дуга, яка нагріває та розплавляє метал. Захисний газ подається через сопло, яке охоплює вольфрамовий електрод (рис. 2.1).

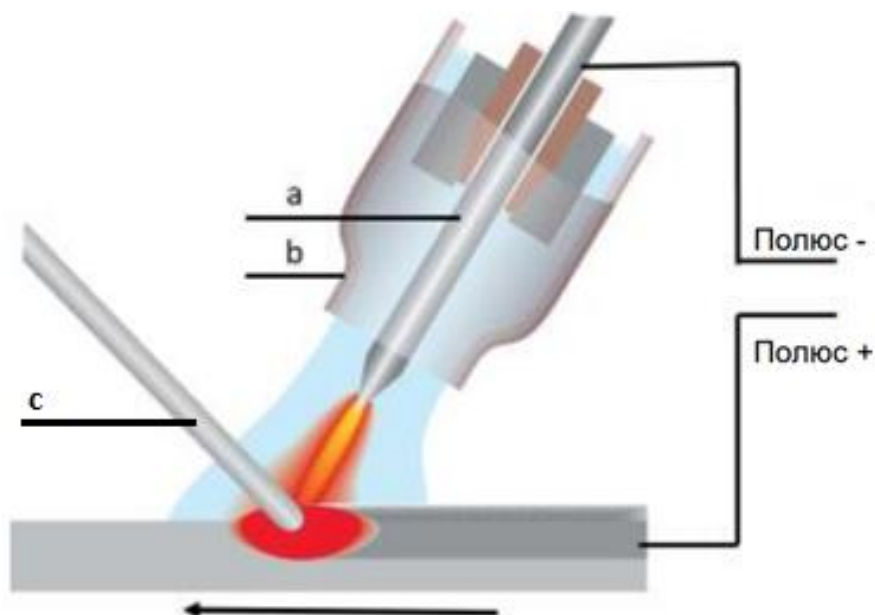


Рисунок 2.1 – Вид зварювального пальника у розрізі

a – вольфрамовий електрод; b – керамічне сопло подачі газу;

c – присадковий матеріал

Захисний інертний газ, який виходить із сопла, захищає нагрітий метал від хімічної реакції з повітрям. Це забезпечує необхідну міцність та еластичність металу зварного шва.

Для TIG зварюванні в якості захисного газу використовуються інертні гази аргон та гелій або їх суміші [25].

Так як вольфрамовий електрод не розплавляється, то під час зварювання присадковий метал подається вручну або в автоматично зовнішнім механізмом подачі зварювального дроту. Зварювальний дріт, як і вольфрамовий електрод протягом усього часу зварювання також має перебувати у середовищі захисного газу. Якщо лінія стику деталей дуже вузька, то такі шви можна виконувати без використання присадного металу.

## 2.2 Полярність зварювання

Позитивний полюс зварювальної дуги завжди має більшу температуру ніж негативний.

Зварювання постійним струмом також називається зварюванням TIG DC. При зварюванні на постійному струмі вольфрамовий електрод підключається до холоднішого негативного полюса. Це означає, що електрод не буде перевантажуватися та утворюватиметься стабільна зварювальна дуга. До більш гарячого позитивного полюсу підключається деталь. Так як вільні електрони переміщуються в стовпі дуги від вольфрамового електрода до деталі, більшість тепла буде зосереджуватися на кромках деталі, а електрод нагріватиметься менше.

Зварювання на постійному струмі характерні завдяки стабільному горінню дуги дозволяє отримати вузький зварний шов із повним проплавленням. Під'єднання електрода до позитивного полюсу вимагає використання вольфрамових електродів більшого діаметру ( $> 4$  мм). Використання тонких електродів буде супроводжуватися перегрівом вольфраму, поганим проплавленням та нестабільністю дуги.

При підключенні електродів до негативного полюсу необхідно використовувати вольфрамові електроди діаметром 1,6-2,4 мм. В результаті вольфрамовий електрод не буде перегріватися, досягатиметься повне проплавлення та висока стабільність дуги.

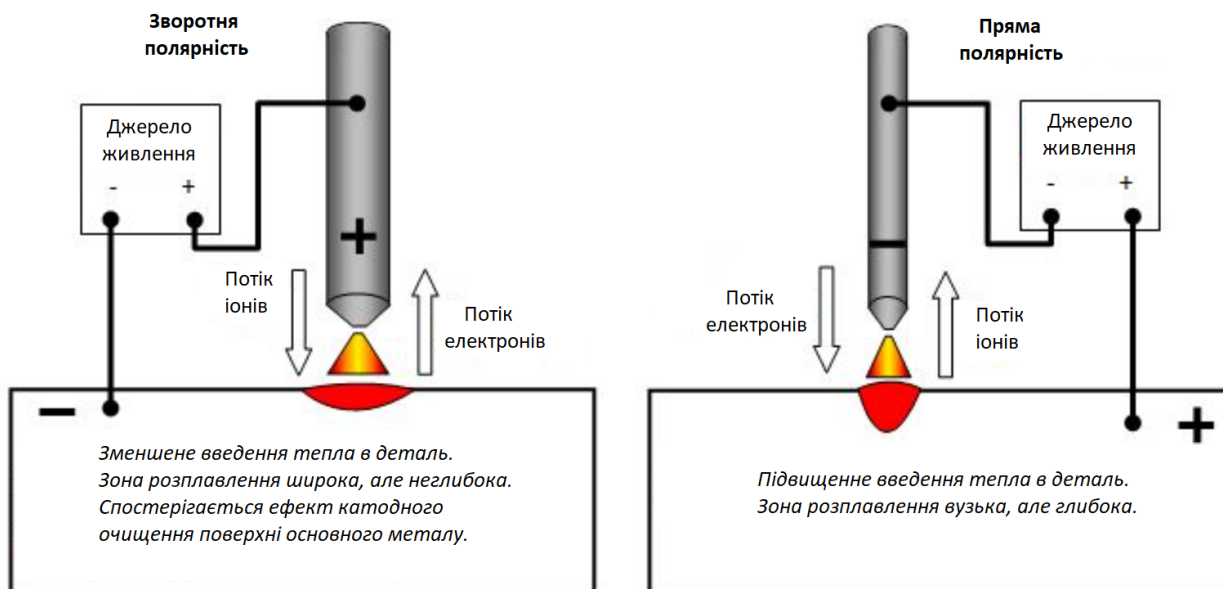


Рисунок 2.1 – Полярність зварювання

TIG зварювання на постійному струмі використовується для з'єднання майже будь-яких металів. Особливо добре дана технологія проявляє себе під час з'єднання легованих сталей та кольорових металів, наприклад, латуні чи міді. Винятком є зварювання алюмінію, магнію та інших легких металів. Для їх з'єднання використовується зварювання на змінному струмі.

TIG зварювання змінним струмом використовується для з'єднання алюмінію та магнію. Це пов'язано з тим, що для алюмінію характерним є миттєве утворення оксидного шару на всіх поверхнях, які контактують з повітрям [9].

Температура плавлення оксидного шару ( $Al_2O_3$ ) приблизно дорівнює 2050 °C, тоді як температура плавлення алюмінію приблизно дорівнює 650 °C.

Коли на металі утворюється оксидний шар, стає неможливим сформувати зварний шов через стікання крапель металу. Змінний струм

сприяє знищенню або заміщенню оксидного шару, що робить зварювання можливим.

Зварювання на змінному струмі також називається зварюванням TIG AC.

В процесі зварювання на змінному струмі «півперіод очищення» (електрод підключений до позитивного полюсу) чергується з «півперіодом охолодження» (електрод підключений до негативного полюсу). Внаслідок такого чергування оксидна плівка знищується, а електрод одночасно заряджається до досить високої сили струму [26].

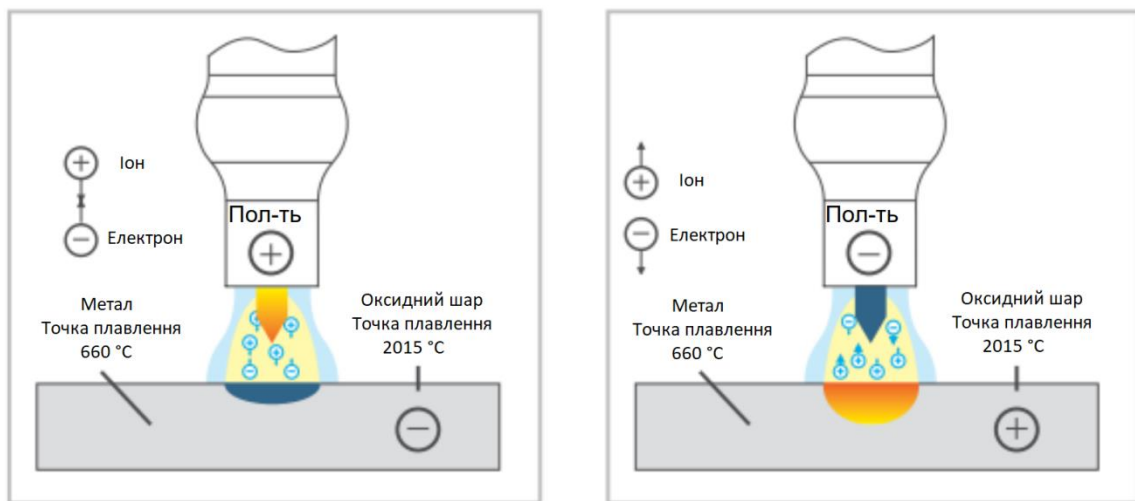


Рисунок 2.3 – Схема процесу зварювання на змінному струмі

а – півперіод очищення; б – півперіод охолодження

У деяких виняткових випадках для з'єднання легких металів може використовуватися зварювання на постійному струмі. В таких випадках вольфрамовий електрод необхідно підключати до негативного полюсу, і в якості захисного газу використовувати гелій.

### 2.3 Техніка автоматичного зварювання неплавким електродом у захисних газах

Техніка автоматичного зварювання неплавким електродом у захисних газах має свої характерні особливості. Під час автоматичного зварювання, як і

під час ручного аргонодугового зварювання після включення захисного газу до запалювання дуги витримується час, необхідний для продування шланга і пальника автомата. Якщо зварюються відповідальні конструкції, до включення аргону для зварювання слід подати газ для захисту зворотної сторони шва. У більшості автоматів підготовчі операції з увімкнення подачі газу, продувки та подачі його на піддув зворотного боку шва виконуються автоматично за заздалегідь заданою програмою.

Підготовку процесу зварювання слід розпочинати з регулювання вильоту кінця електрода та виставлення його відносно осі шва (лінії переміщення). Зміщення електрода на 1 мм від лінії стику призводить до непровару деталей по всій довжині стику. Якщо під час зварювання труб вісь автомата не збігається з віссю труби, електрод на окремих ділянках шва буде віддалятися від кромки і відбуватиметься непровар. Похибка у налаштуванні та встановленні електрода особливо позначається під час зварювання на низьких струмах (40...50 А). Наприклад, при зварюванні труб 12×1 через зміщення електрода на 0,5 мм відбувається непровар по всій довжині шва. Збільшення довжини дуги або зміщення її по відношенню до виступаючої кромки навіть на 0,5 мм при неправильному положенні зварювальної головки відносно труби також призводить до непровару або несплавлення кромки на значній ділянці шва.

З метою уникнення непроварів, необхідно користуватися пристроєм для автоматичної підтримки довжини дуги або ретельно регулювати копіюючий пристрій, а також перевірити положення електрода відносно лінії стику під час холостого руху зварювальної головки.

Якщо в конструкції автомата не передбачено пристрою для автоматичного відстежування контура з'єднання, зварювальник-автоматчик під час зварювання площинних конструкцій з прямолінійними швами регулює положення електрода вручну.

Значні дефекти можуть призвести до замикання між електродом і кромкою зварюваної деталі. Щоб уникнути замикання при значних "люфтах",

слід збільшувати довжину дуги. Тоді теплова потужність дуги зростатиме і похибка установки електрода відіграватиме меншу роль. Ширина шва збільшуватиметься, а глибина провару зменшуватиметься. Однак зі збільшенням довжини дуги погіршується якість захисту металу шва.

На початку автоматичного зварювання зварювальні кромки треба прогріти та розплавити. Тому після запалення дуги зварювальна головка автомата деякий час стоїть нерухомо. Тривалість затримки регулюється за допомогою реле часу. Для різних типів зварних з'єднань ця затримка є різною і залежить в основному від товщини зварних кромок. Якщо затримка замала, зварювання кромок не відбуватиметься - кожна кромка при цьому оплавляється, а зазор між ними збільшується. Довга затримка на початку процесу призводить до надмірного проплавлення, схожого на кратер. Тому перед початком зварювання необхідно точно відрегулювати затримку, що забезпечить нормальне проплавлення для кожної товщини деталей.

Величина затримки на початку зварювання листових і трубних конструкцій впливає на утворення пор. Помічено, що в більшості випадків пори утворюються на початку шва. Причина цього є недостатній прогрів кромок у місці утворення зварювальної ванни. Після запалювання дуги електрод повинен стояти на місці до тих пір, поки метал не нагріється достатньо і всі бульбашки газів не встигнуть вийти на поверхню ванни. Подальший рух дуги з оптимальною швидкістю забезпечує достатній рівень теплонасичення металу, так як незварені кромки заздалегідь прогріваються.

Великий вплив на якість шва під час автоматичного зварювання має правильність установки присадки. Якщо присадка торкається поверхні виробу, дуга горить між електродом і присадкою. Достатньо змістити присадку убік на 1-2 мм, як дуга теж зміститься за нею, і шов виходитиме криволінійним. Внаслідок цього може утворюватися непровар або незаповнення оброблених кромок - дефект типу підрізу. Такий недолік найчастіше виникає під час зварювання стикових з'єднань без оброблення кромок, коли немає канавки для спрямування присадки і коли застосовується сильно нагартowana присадка. За

відсутності канавки на багатоваликовому шві присадку слід спрямовувати так, щоб вона постійно притискала до западини між валиками або до бічної стінки обробленої кромки. Значно зменшується можливість утворення криволінійних швів при мінімальному вильоті присадки.

У випадках, коли криволінійність швів і подрізи (незаповнення) неприпустимі, слід підняти присадку так, щоб вона не торкалася виробу.

Характерною ознакою шва, виконаного з «висячою» присадкою, є різко виражена лускатість (рис. 2.4)



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд шва, виконаного з «висячою» присадкою

За зовнішнім виглядом це нагадує шов, виконаний імпульсним зварюванням (рис. 2.4). Однак слід зазначити, що метал шва тут виходить більш щільним, так як ванна підтримується постійною і тільки імпульсами плавиться (піддається) присадка.

При зварюванні горизонтальних швів присадку слід встановлювати зі зміщенням вгору відносно електрода. Це виключатиме утворення подрізів у верхній частині шва.

Важливо також правильно встановити присадку відносно електрода в поздовжньому напрямку, особливо для формування кільцевих швів. Присадка встановлена правильно, якщо кінець її знаходиться точно під електродом і не доходить до нього на 1–1,5 мм. При такому положенні присадка буде плавитися одночасно з основним металом. Після початку руху зварювальної головки кількість наплавленого металу збільшується поступово, валик формується добре – немає провалів та несплавлень.



Виконання розглянутих рекомендацій з техніки автоматичного зварювання гарантує отримання високої якості зварного з'єднання та гарного зовнішнього вигляду шва.

#### 2.4 Захист металу під час зварювання від навколишнього середовища

Якісне зварне з'єднання, виконане будь-яким способом зварювання, можна отримати тільки за умови якісного захисту розплавленого металу від впливу повітря.

Хром, який міститься в нержавіючій сталі, має велику спорідненість з киснем. При температурі плавлення металу він активно окислюється і з'єднуючись із киснем. Якщо не захистити розплавлений метал від шкідливої дії повітря, вміст хром у сталі знизиться настільки, що сталь стане ржавіючою, оскільки втратить свої антикорозійні властивості. Такий стан притаманний для хромистих сталей 08X13 або 12X13 після окислення менш ніж 2% хрому. Для хромистих сталей 12X17 і хромонікелевих, наприклад 12X18Н9Т антикорозійні властивості втрачаються після окислення понад 5% хрому.

Характерною ознакою окислення хрому під час зварювання є втрата блиску металу та утворення шлакоподібної кірки на поверхні шва [28].

Чорний наліт на поверхні валика (рис. 2.5), погане відшарування шлаку або окисної плівки під час очистки свідчать про незадовільний захист металу під час зварювання.



Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд шва із неякісним захистом від повітря

Ефективність газового захисту залежить від форми та розмірів сопла пальника, розташування сопла над виробом, витрати газу та типу зварного з'єднання.

Форма та розміри сопла повинні забезпечувати спокійне витікання газу та досить стійку зону захисту зварювальної ванни. Діаметр вихідного отвору сопла при зварюванні вольфрамівими електродами діаметром 1,5...2 мм має бути не менше 7 мм. Менший вихідний отвір не забезпечує якісного захисту зварювальної ванни. Зі збільшенням діаметра сопла та витрати газу до певних меж підвищується ефективність газового захисту.

Найбільш поширеними є сопла з діаметром вихідного отвору 10...15 мм. Сопла можуть мати різні форми у місці виходу газу: циліндричну, завуженого або розширеного конуса, овальну, щілинну тощо. Широко застосовуються форми, зображена на рис. 2.6.

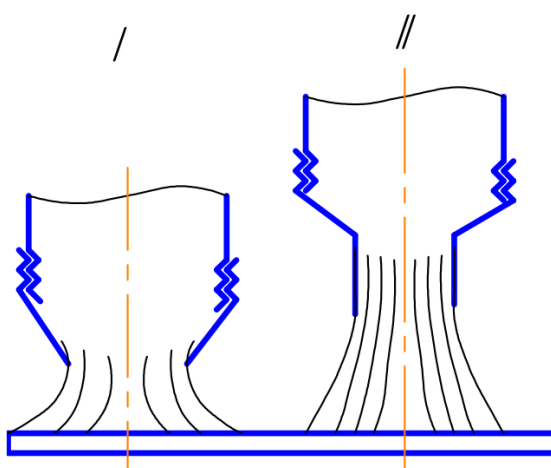


Рисунок 2.6 – Форма сопел для зварювання в захисних газах

Пальник із соплом форми I забезпечує найбільше охоплення поверхні виробу газовим потоком. Зварювальник може вільно маніпулювати таким пальником та присадкою без побоювання погіршити захист металу зварювальної ванни. Хороший захист забезпечується на відстані не більше 10 мм від торця сопла. Щільність газового струменя на великій відстані зменшується і стає недостатньою для захисту від повітря. Сопло форми I

встановлюється на пальниках для автоматичного та аргодугового зварювання важкодоступних з'єднань.



Рисунок 2.7 – Сопла для TIG зварювання

Сопло форми II застосовують при зварюванні в обмежених умовах. Газовий струмінь, який виходить із цього сопла, також має конічну форму, але його висока щільність зберігається на більшій відстані від торця. Така форма сопла дозволяє збільшити виліт електрода, що дуже важливо для зварювання швів, розташованих у важкодоступних місцях. Довжина циліндричної частини сопла має бути приблизно рівною діаметру вихідного отвору. Така конструкція забезпечує кращий захист, ніж сопло форми I, тому скрізь, де є можливість, слід застосовувати сопло форми II [26].

Зону захисту поверхні виробу газовим потоком можна збільшити, підвищивши витрату газу.

Великий вплив на ефективність захисту чинить розташування сопла відносно виробу. Чим менша відстань між соплом і виробом, тим краще захист зварювальної ванни. Так, наприклад, для сопла діаметром 12 мм за витрати газу приймемо 6 л/хв відстані 5 мм від виробу таке сопло забезпечує гарний захист зони завширшки до 15 мм. На відстані 25 мм від виробу ширина зони гарного захисту зменшується до 7 мм. Тоді практично весь шов буде окисленим.

Чим більша витрата газу, тим ефективніший захист, якщо, звичайно, при цьому не розпочнеться завихрення струменя захисного газу. Такий недолік

може спостерігатися, наприклад, при діаметрі сопла 20 мм. Збільшення витрати газу при використанні такого сопла покращує захист, поки витрата не перевищить 15 л/хв. Подальше збільшення створюватиме завихрення під час виходу газу, що знижує ефективність захисту.

Положення цанги з електродом у пальнику автомата також впливає на ефективність захисту. Підбираючи найкращий захист шва, слід зафіксувати відповідне положення цанги (за вильотом електрода). Регулювання висоти електрода над виробом в більшості автоматів полягають в опусканні чи піднятті цанги з електродом.

При зварюванні без присадки електрод встановлюється на висоті 1...2 мм від поверхні виробу (рис. 2.8,а). Якщо використовується присадка, електрод піднімають на висоту 3-4 мм над виробом (рис. 2.8, б). З підняттям цанги збільшується перетин вихідного отвору сопла. Це призводить до зменшення щільності газового струменя при незмінній витраті газу майже в 1,5...2 рази.

Захист шва різко погіршиться. Тому, щоб уникнути цього, необхідно зберігати постійний виліт вольфрамового електрода з цанги при підборі витрати газу і впродовж процесу зварювання.

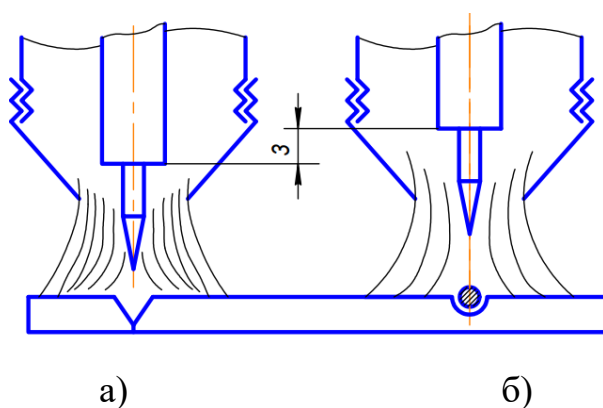


Рисунок 2.8 - Вплив положення цанги на ефективність захисту

Можна повністю позбутися необхідності фіксації цанги та електрода, якщо застосовувати бочкоподібне сопло (рис. 2.9,а).

Таке сопло в районі переміщення цанги має циліндричну форму. Підйом або опускання цанги тут не впливає на зміну щільності газового струменя по

всьому перерізу вихідного отвору, і захист буде однаковим при зварюванні без присадки та з присадкою.

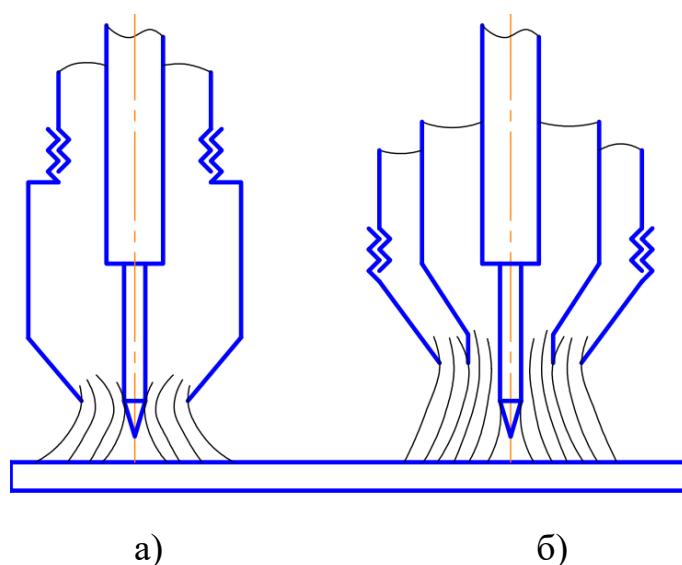


Рисунок 2.9 - Форма сопла, яке виключає вплив положення цанги на ефективність захисту

Менш чутливий до зміни ефективності захисту від положення цанги пальник із подвійним соплом (рис. 2.9,б). Його використання дозволяє зменшити загальну витрату газу. У зовнішнє сопло діаметром 20 мм слід подавати газу не більше 1,5 л/хв, у внутрішнє діаметром 12 мм – близько 2,5 л/хв. Для порівняння можна сказати, що пальник з одинарним соплом діаметром 15 мм є ефективним, якщо витрата газу становить не менше 6 л/хв.

Іноді неточність установки електрода по стику намагаються компенсувати збільшенням ширини шва, тобто подовженням дуги. При цьому помітно погіршується захист від окиснення. Характерними ознаками погіршення захисту є губчасте формування валика, сірий наліт, жовті плями і ланцюжок відкритих пор на чорній поверхні шва.

Техніка подачі присадки також істотно впливає на ефективність захисту. Вдаряючись про присадку, струмінь газу розбивається, і створюються завихрення. Разом із присадкою в зону зварювання подається суміш аргону з повітрям.

Захист покращується, якщо зварювання виконувати по укладеній в обробку присадці [2].

Швидкість зварювання при незмінній витраті газу впливає на ефективність захисту, яка знижується зі збільшенням швидкості.

Різкі рухи або зміна швидкості зварювання порушують спокійне витікання газу (рис. 2.10). В результаті нагріті ділянки шва та електрода можуть опинитися в середовищі повітря та миттєво окисляться.

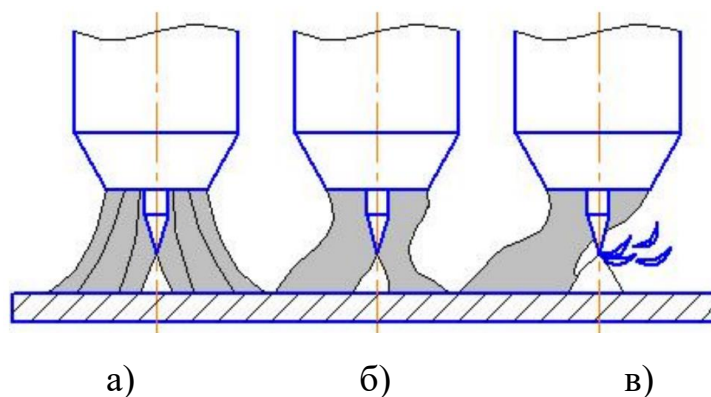


Рисунок 2.10 - Вплив швидкості зварювання на ефективність газового захисту

а) нормальна; б) підвищена; в) надто висока швидкість зварювання

Ступінь захисту багатопрохідних швів багато в чому залежить від температури металу після виконання попередніх валиків. Чим більше нагрітий метал, тим гірший захист поверхні шва.

Валики, виконані автоматичним аргондуговим зварюванням з різною витримкою часу після остигання мають неоднакову поверхню. Так, на холодній поверхні валики завжди будуть мати чистішу, блискучу поверхню порівняно з тими, які наварюються на неохолоджений метал.

При зварюванні на вітрі або протягах слід встановлювати щільні огорожі. Поперечний потік повітря може віддувати струмінь газу, що призведе до окислення шва та електрода. В таких випадках сопло з меншим отвором забезпечує найкращий захист від впливу поперечного потоку повітря завдяки більш щільному газовому струменю.

Ефективність захисту залежить від типу зварного з'єднання. Вироби з різною поверхнею неоднаково відбивають струмінь захисний газ.

На рис. 2.11 показано чотири типи зварних з'єднань, які найчастіше зустрічаються в практиці. Для зварювання в глибоким розробленням (рис. 2.11,а) потрібна дуже невелика витрата газу, щоб отримати хороший захист. Зварні кромки в цьому з'єднанні добре відбивають струмінь газу та ущільнюють

його, не допускаючи повітря до зварювальної ванни. Шов має блискучу поверхню без нальоту.

На плоскому з'єднанні без фаски (рис. 2.11,б) при тій же витраті газу захист шва гірший, ніж у попередньому випадку. Відбиваючись від плоскої поверхні, струмінь газу затримується біля місця зварювання і може частково змішатися з повітрям. Ще гірший захист при зварюванні труб (рис. 39, в) і особливо – листів кутом назовні (рис. 2.11, г). Труба має невелику поверхню відбивання, а з'єднання листів (у кут) такої поверхні не має взагалі. Струмінь газу на таких обтічних з'єднаннях не затримується. Якість захисту в цих випадках можна підвищити збільшенням витрати газу або застосуванням відбивних екранів.

Покладені на обтічну поверхню пластинки (рис. 2.12) дозволяють значно покращити якість захисту з одночасним зменшенням витрати газу в 1,5 рази.

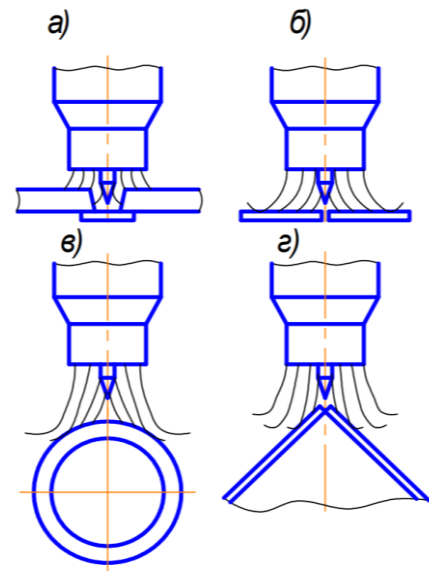


Рисунок 2.11 - Вплив виду з'єднання та форми виробу на ефективність газового захисту

При формуванні шва з наскрізним проплавленням необхідно передбачити додатковий захист зворотної сторони шва від впливу повітря. Наявність окисної плівки на внутрішній поверхні у відповідальних конструкціях неприпустима.

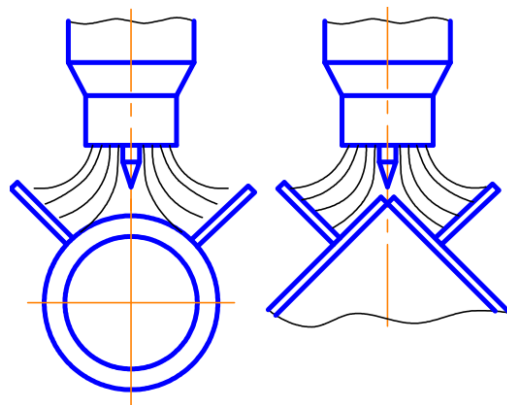


Рисунок 2.12 - Підвищення ефективності захисту за допомогою відбивних екранів



## 3 ОБЛАДНАННЯ, МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Експериментальне обладнання

Для експериментальних досліджень процесу автоматичного зварювання нержавіючої сталі в роботі ми використовували автоматичну систему AWS 1100 для зварювання повздожніх швів. Дана зварювальна установки створена для автоматичного високоякісного зварювання повздожніх швів оболонок для резервуарів, труб, котлів та інший ємкостей. Загальний вигляд зварювальної установки представлено на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Система AWS 1100 для автоматичного TIG зварювання повздожніх швів

Автоматичну систему AWS 1100 для зварювання повздовжніх швів укомплектована зварювальним джерелом живлення MagicWave 2200 Job фірми Fronius. Його загальний вигляд показаний на рис. 3.2.

Зварювальний апарат Fronius MagicWave 2200 Job призначене для використання в різних галузях промисловості. Завдяки наявності різних режимів зварювання забезпечує його високі технологічні характеристики. Регулювання параметрів процесу зварювання здійснюється за допомогою стандартної панелі, розміщеної в передній частині апарату. Дане джерело дозволяє виконувати зварювання в кількох режимах: імпульсному, постійному і змінному струмі. Функція Job, яка наявна в даній марці джерела живлення, дозволяє запам'ятовувати налаштовані параметри процесу зварювання і вибирати їх за необхідності повторення збереженого режим. Це дозволяє мінімізувати затрати часу на підготовку установки до роботи [27].

Крім вибору струму зварювання і його полярності джерело може працювати в дво- та чотирихтактному режимі. Наявність функції зміни роду та полярності струму дозволяє використовувати дане джерело для зварювання тонких листів нержавіючої сталі а також алюмінію.

Джерело MagicWave 2200 Job є повністю цифровим джерелом струму інверторного типу з мікропроцесорним керуванням.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд джерела живлення MagicWave 2200 Job

За допомогою стандартного роз'єму LocalNet джерело підключається до цифрової системи керування зварювальними пальниками JobMaster TIG, а також пальників для роботизованого зварювання.

Пальник для автоматизованого зварювання закріпдлений в модулі позиціонування, який змонтований на стійці установки. Вся конструкція має можливість переміщатися вздовж робочої зони за допомогою крокового двигуна, зв'язаного через редуктор з зубчатою рейкою на станині установки.

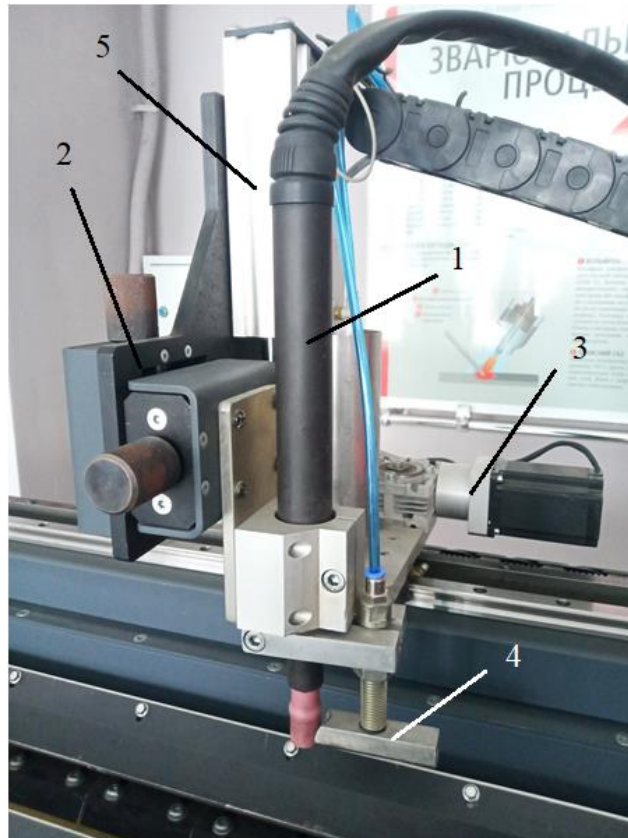


Рисунок 3.3 – Зварювальний пальник

- 1 – пальник; 2 – система позиціонування пальника; 3 – привід повздовжнього переміщення пальника; 4 – система додаткової подачі захисного газу;  
5 – механізм вертикального переміщення пальника

Система позиціонування пальника дозволяє відрегулювати необхідне положення відносно зварюваних кромek деталей, а її жорсткість забезпечує ідеальне переміщення пальника вздовж кромek без зміщення в горизонтальній площині та з постійною висотою [29].

Стіл 1 установки являє собою станину, на якій змонтовано напрямну 2 та рейку 3 переміщення пальника (рис. 3.4). В середині стола розміщений установочний ніж 5 та набір одинадцяти притискних клавiш 4. Клавiші розташовані в два ряди з обох боків від базового вала (на рис. не показаний) і утворюють систему фіксації деталей (рис. 3.5). Кожна притискна клавiша встановлена на шарнірах і приводиться в дію персональним незалежним пневмоциліндром.

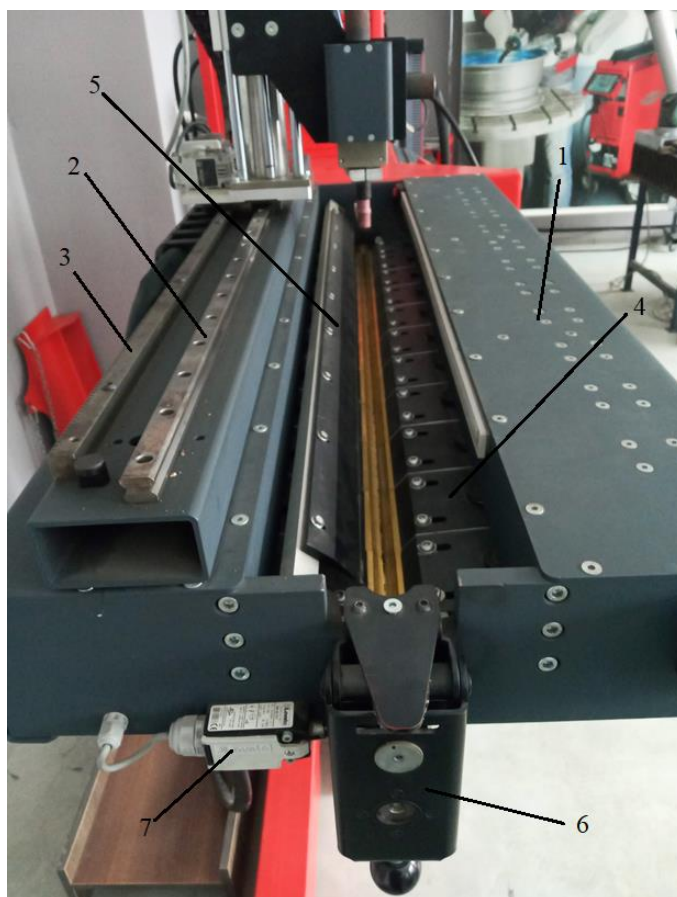
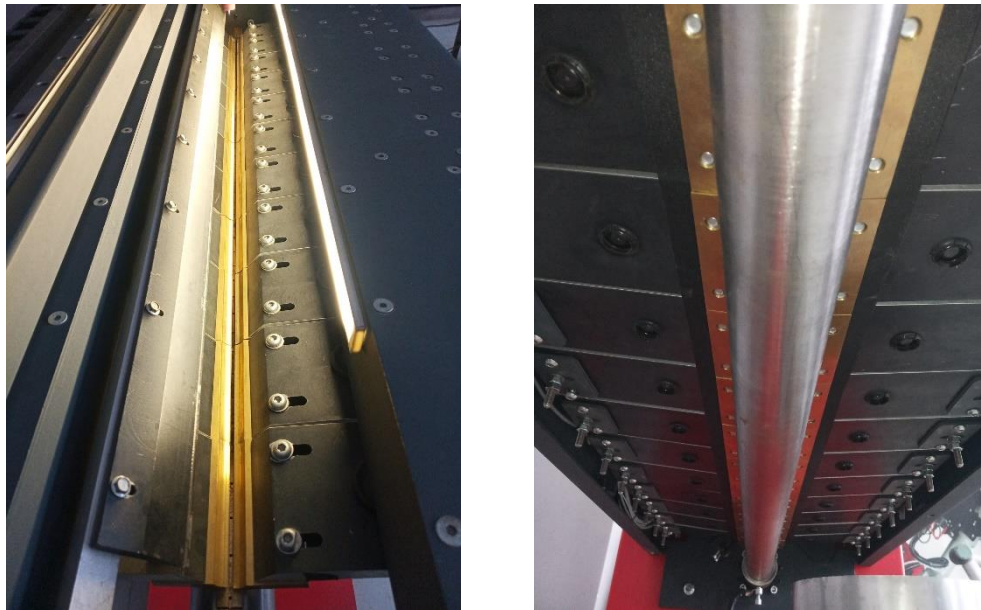


Рисунок 3.4 – Стіл зварювальної системи

1 – стіл, 2 – направляюча; 3 – зубчаста рейка; 4 – притискні клавiші;  
5 – установочний ніж; 6 – упор базового вала; 7 – кінцевий вимикач

З торця стола встановлений упор базового вала 6. У піднятому положенні він фіксується постійним магнітом. Кінцевий вимикач 7 передає сигнал на контролер про положення вимикача та автоматично блокує затискачі.



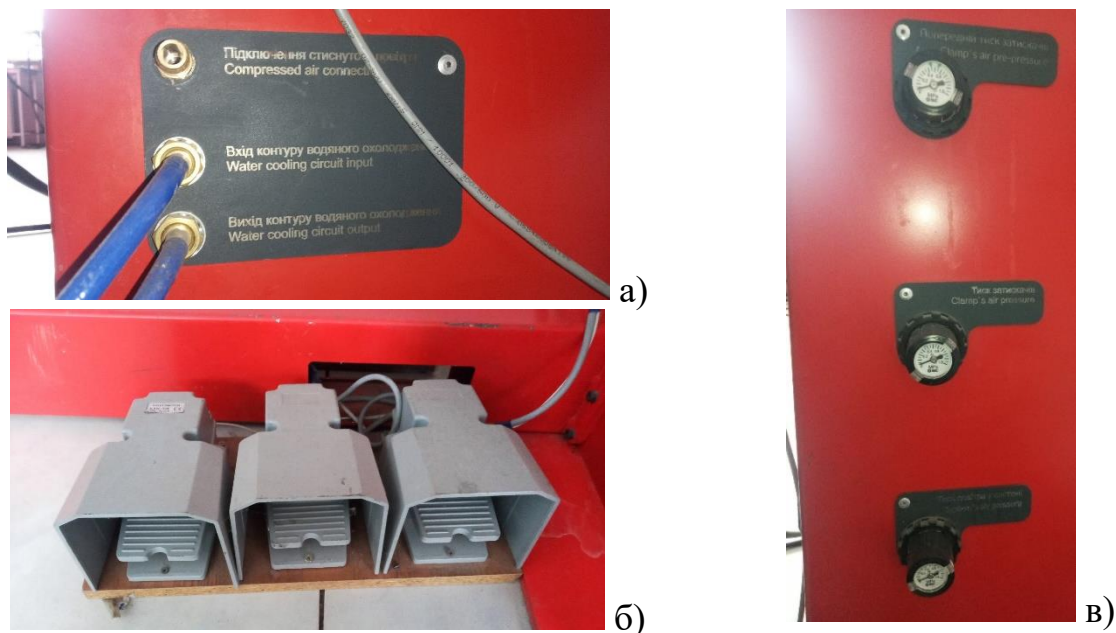
а)

б)

Рисунок 3.5 – Система фіксації деталей

а - вигляд зверху; б - вигляд знизу

Система фіксації деталей приводиться в дію стиснутим повітрям від компресора та керується педалями.



а)

б)

в)

Рисунок 3.6 – Елементи пневматичної мережі системи фіксації деталей

а – під'єднання подачі повітря та охолоджуючої рідини; б – педалі

керування; в - манометри

Керування процесом зварювання відбувається з панелі керування, розташованої у верхній правій частині установки. Загальний вигляд панелі керування показаний на рис. 3.7.

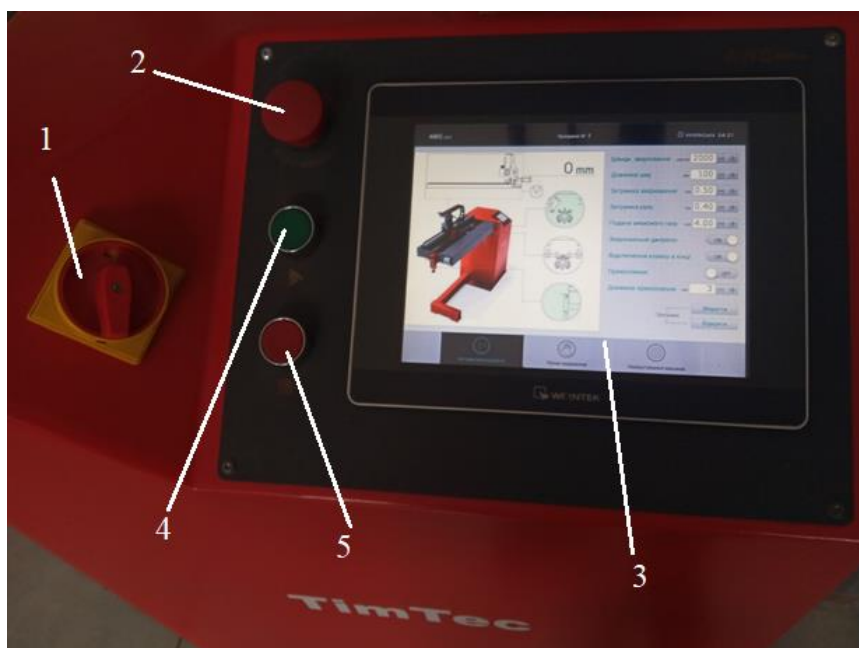


Рисунок 3.7 – Загальний вигляд панелі керування системи AWS 1100

1 – вмикач живлення; 2 – кнопка аварійної зупинки; 3 – рідкокристалічний сенсорний екран; 4 – кнопка «Пуск»; 5 – кнопка «Стоп»

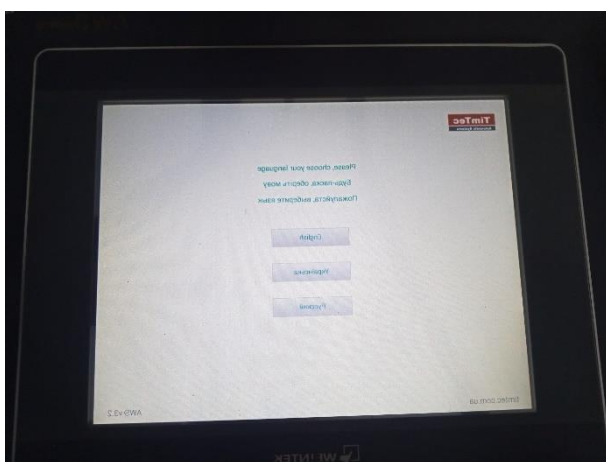
Екран панелі керування працює в чотирьох режимах: вибір мови (рис. 3.7,а); режим автоматичної роботи (рис. 3.7,б); режим ручного керування (рис. 3.7,в) та режим налаштувань (рис. 3.7,г).

Для налаштування роботи системи в автоматичному режимі в меню налаштувань передбачено встановлення наступних параметрів:

- швидкості зварювання (швидкості переміщення пальника) в мм/хв;
- довжини зварного шва в мм;
- затримки зварювання в секундах;
- затримки руху пальника в секундах;
- випередження подачі захисного газу в секундах;
- ввімкнення джерела живлення;
- відключення притискних клавiш в кінціпроцесу;
- ввімкнення режиму простановки прихваток та їх довжини в міліметрах.

Також в даному діалоговому вікні присутні кнопки збереження вибраних параметрів та завантаження існуючих, збережених раніше, налаштувань.

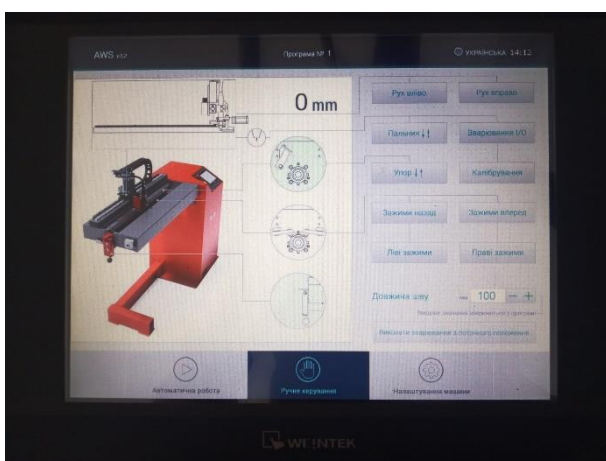
В діалоговому вікні ручного керування системою (рис. 3.7,в) передбачене керування переміщенням пальника та його калібрування, керування клавішами та упором притискного механізму, налаштування довжини шва та задача початку зварювання з поточного положення пальника. Ручний режим керування доцільно застосовувати для зварювання коротких швів в одиничному виробництві, коли немає потреби зберігати встановлені налаштування.



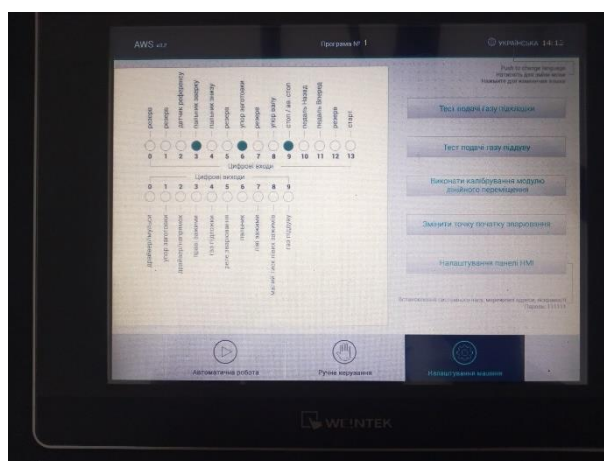
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.7 – Варіанти діалогових вікон панелі керування системою

AWS 1100

Вікно налаштувань використовується для перевірки роботи системи та налаштування роботи окремих її елементів, а саме тестування системи подачі захисного газу, калібрування модуля переміщення пальника, зміни початкової точки зварювання та налаштування самої панелі керування.

### 3.2 Підготовка системи AWS 1100 для зварювання повздовжніх швів до роботи

Система AWS 1100 для TIG зварювання повздовжніх швів може працювати як в автоматичному, так і в ручному режимі.

Перед початком автоматичного зварювання необхідно виконати наступні підготовчі етапи:

- Під'єднати систему до компресора;
- Відрегулювати пальник на задану довжину дуги;
- Налаштувати параметри зварного шва;
- Налаштувати режим зварювання;
- Під'єднати джерело живлення та налаштувати необхідний режим зварювання;
- Відрегулювати витрату захисного газу;
- Встановити зварювані деталі на базовий вал та зафіксувати їх притискачами;
- Виконати перевірку роботи системи без включення джерела живлення.

Підключення компресора виконують з тильної сторони установки за допомогою швидкознімної муфти (рис. 3.6,а).

Регулювання пальника передбачає встановлення його положення відносно зварюваної деталі у вертикальній площині. Регулювання виконують шляхом повороту регулювальних ручок. Один повний оберт ручки відповідає переміщенню пальника на 1 мм.

Налаштування параметрів зварного шва полягає у встановленні необхідної його довжини (переміщення пальника). Також при цьому



налаштовують швидкість переміщення пальника, затримку запалювання електричної дуги та початку руху пальника, а також випередження подачі захисного газу.

Джерело живлення налаштовують на необхідний режим зварювання за видом матеріалу заготовок, їх товщиною та іншими параметрами (частота імпульсів, полярність, напруга та струм зварювання).

Подача газу в системі може здійснюватися по трьох каналах. Основна подача захисного газу відбувається через сопло зварювального пальника. Частина захисного газу подається для захисту зворотнього боку шва через отвори в базовому валу (рис. 3.8).

Крім того, в середині базового опорного вала виконані канали для циркуляції охолоджуючої рідини з метою відведення тепла від зварного шва та зменшення теплової деформації.

Третій шлях подачі захисного газу в зону позаду зварного шва відбувається через спеціальне сопло (див. рис. 3.3). Її вмикають у випадку висування високих вимог щодо потемніння зварного шва. Захищений таким чином шов має кращу естетичну якість і не потребує додаткової обробки хімічними речовинами.

Точне встановлення деталей на опорний вал здійснюється за допомогою установочного ножа (рис. 3.9,а). Для цього його опускають вручну або за допомогою пневматичного приводу. Одну зі зварювальних деталей її кромкою підводять до упору в установочний ніж, після чого натискають ліву педаль керування, яка забезпечує попереднє притискання деталі (рис. 3.9,б). Далі підіймають ніж і встановлюють другу деталь до упору з кромкою першої (рис. 3.9,в). Її фіксують натиснувши праву педаль попереднього притискання.

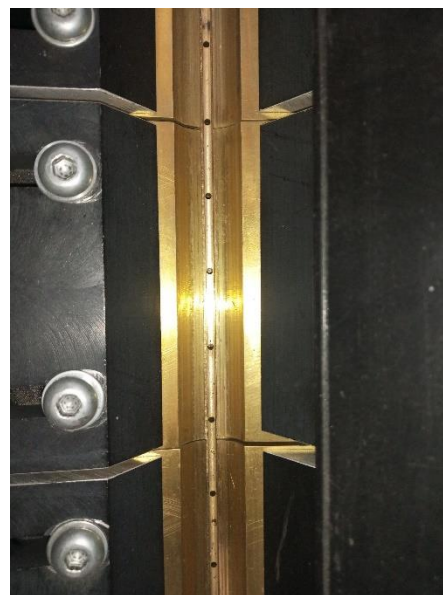


Рисунок 3.8 – Система підведення захисного газу з опорного вала

Значення зусилля попереднього притискання регулюється в межах 30-50 % від основного тиску притискання. Це необхідне для того, щоб за потреби відрегулювати зварні кромки уже встановлених деталей. Для кінцевої фіксації натискають середню педаль, яка керує основним зусиллям притискання. Для вивільнення деталей її необхідно натиснути ще раз.

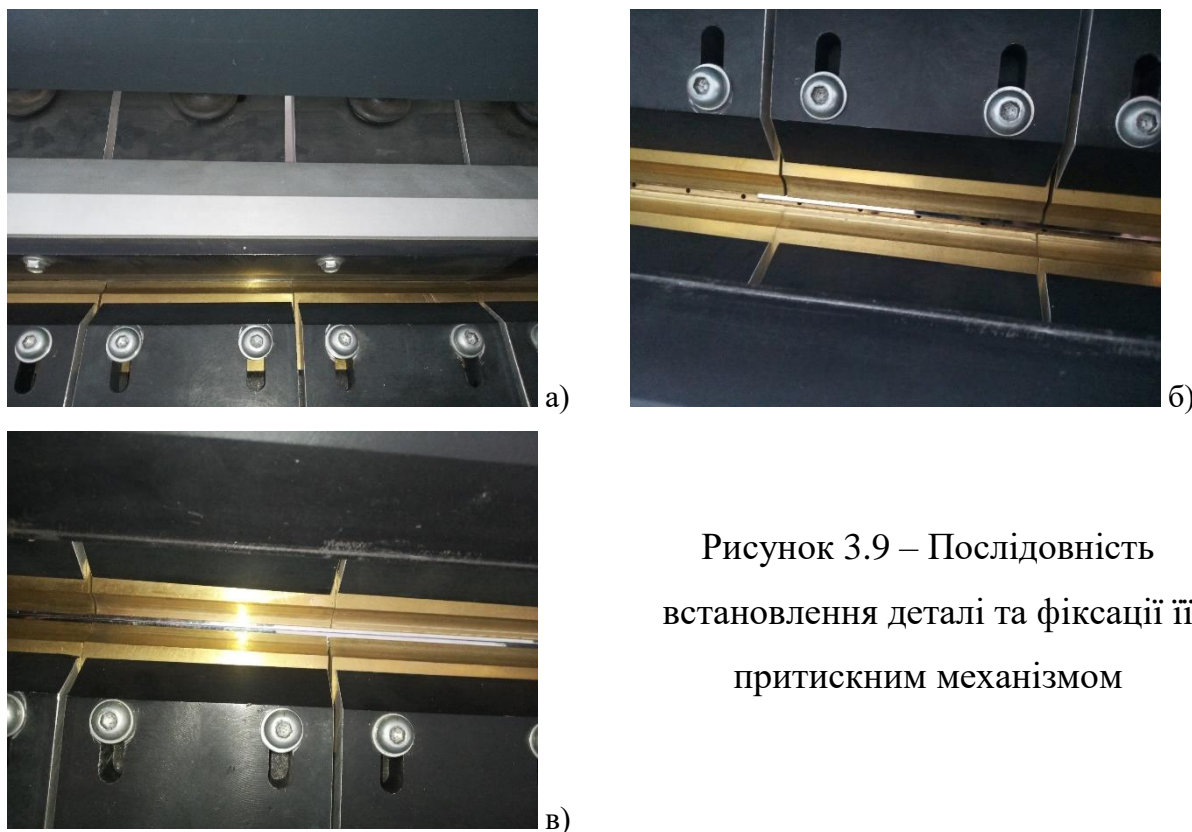


Рисунок 3.9 – Послідовність встановлення деталі та фіксації її притискним механізмом

Під час перевірки роботи системи в холостому режимі слід перевірити точність переміщення пальника, і при потребі відрегулювати його положення в горизонтальній площині. Також слід перевірити дотримання заданої довжини зварного шва та якість фіксації деталей пневматичними притискними клавішами.

### 3.3 Розрахунок параметрів режиму зварювання

Щоб отримати якісні зварні з'єднання, для кожного зварного шва необхідно підбирати відповідний режим зварювання. За аналітичними розрахунками можна отримати теоретичні, наближені до реальних, значення

параметрів режимів зварювання. На практиці вони не будуть остаточними, оскільки в реальних умовах ці режими можуть коливатись в певних межах.

Розрахунок будемо виконувати за номінальними розмірами зварного шва, схему якого наведено в табл. 3.1.

Для даного з'єднання значення величини зазору  $b$  при автоматичному зварюванні без подачі присадкового матеріалу може прийматися рівним нулю. Якщо ж можуть бути певні відхилення в прямолінійності зварних кромки, то для зварного шва приймають наступні його параметри (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Параметри зварного шва С2 згідно ГОСТ 5264-80

Умовне позначення зварного з'єднання	Конструктивні елементи		$s=s_1$	$b$		$e$ , не більше	$g$	
	підготовлених кромки деталей, що зварюються.	зварного шва		Номін.	Попер. відкл.		Номін.	Попер. вимкнуті.
С2			Від 1,0 до 1,5	0	+0,5	6	1,0	± 0,5
			Св. 1,5 до 3,0	1	± 1,0	7	1,5	± 1,0
			Св. 3,0 до 4,0	2	+1,0 -0,5	8	2,0	

Виконаємо розрахунок режиму ТІГ зварювання без присадкового матеріалу [9]:

Розрахункову погонну енергію  $q_{п}$  визначимо за формулою:

$$q_{п} = (190 \cdot S - 90) \pm 15 \cdot S, \text{ Дж/м.} \quad (3.1)$$

де  $S$  – товщина зварюваних деталей, мм.

$$q_{п} = (190 \cdot 1 - 90) \pm 15 \cdot 1 = 85 \dots 115 \text{ Дж/м.}$$

Приймаємо для подальших розрахунків середнє значення  $q_{п} = 100 \text{ Дж/мм.}$

Необхідний зварювальний струм  $I_{зв}$  становитиме:

$$I_{зв} = (43S + 67) \pm 15S, A \quad (3.2)$$

$$I_{зв} = (43 \cdot 1 + 67) \pm 15 \cdot 1 = 95 \dots 125 A$$

Приймаємо для подальших розрахунків середнє значення  $I_{зв} = 110 A$

Розрахункова напруга дуги:

$$U_d = 0,02I_{зв} + 9 = 0,02 \cdot 110 + 9 = 11,2 B \quad (3.3)$$

Розрахункова швидкість зварювання становитиме:

$$V_{зв} = \frac{I_{зв} \cdot U_d}{q_{п}} = \frac{110 \cdot 11,2}{100} = 12,32 \frac{мм}{с} \quad (3.4)$$

Розрахуємо необхідний діаметр вольфрамового електрода:

$$d_w = 0,072 \cdot I_{зв}^{0,666} = 0,072 \cdot 110^{0,666} = 1,65 \text{ мм.} \quad (3.5)$$

За розрахованим значенням  $d_w$  вибираємо найближчий стандартний електрод згідно ISO 6848:2004.

$$d_w = 2 \text{ мм}$$

Витрати захисного газу  $q_{з.г.}$  визначається за формулою:

$$q_{з.г.} = 0,05 \cdot I_{зв} = 0,05 \cdot 110 = 5,5 \text{ л/хв.} \quad (3.6)$$

Розрахункові параметри режиму TIG зварювання є вихідними для формування програми експериментальних досліджень.

### 3.4 Параметри режимів зварювання та межі їх регулювання

Експериментальні дослідження процесу автоматичного зварювання нержавіючої сталі на установці AWS 1100 полягають у проведенні серії дослідів, в яких змінювались основні параметри процесу, а саме струм зварювання, напруга дуги, швидкість зварювання та витрата захисного газу. Також зварювання виконували в пульсуючому режимі з різною частотою пульсації та без нього.

Оціночними параметрами ефективності роботи установки були якісні параметри зварних швів. До них можна віднести якість формування зварного шва, повноту проварювання деталей, рівномірність ширини зварного шва, підрізи, пропали та кратери на початку та в кінці шва.

Для виконання експериментальних досліджень складемо план виконання експериментів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – План та результати експерименту

№	Регульовані параметри процесу				Дефекти шва					
	$I_{зв}, A$	$U_{д}, B$	$V_{зв},$ мм/хв	$\varphi_{з.г.},$ л/хв	Непровар	Пропалювання	Неоднакова ширина шва	Кратер	Потемніння шва	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	80	11	750	5,5	+		+			
2	110									+
3	140					+		+		+
4	110	9	750	5,5	+		+			
5		11								+
6		14				+		+		+
7	110	11	500	5,5		+	+		+	
8			750							+
9			1000		+				+	
10	110	11	750	4			+		+	
11				5,5						+
12				7						

«+» означає наявність даного дефекту.

Під час досліджень почергово змінювали один з параметрів процесу зварювання, виконували зварювання та визначали наявність дефектів шва. Основна увага була звернена на вплив струму та швидкості зварювання, як основних параметрів, які визначають продуктивність виконання робіт.

Проаналізуємо результати, отримані під час проведення експериментальних досліджень процесу зварювання нержавіючої сталі товщиною 1 мм.

### 3.5 Аналіз отриманих результатів досліджень

Почергово проаналізуємо вплив кожного з технологічних параметрів процесу автоматизованого зварювання на якість зварних швів.

З результатів дослідів 1-3, наведених у табл. Бачимо, що величина струму зварювання має вплив на всі п'ять оціночних показники якості процесу. Основними недоліками мінімального зварювального струму були наявність непровару та різна ширина шва по всій його довжині.



Рисунок 3.10 – Випадок непроварювання шва

При максимальних значеннях зварювального струму спостерігалось пропалювання заготовок (рис. 3.11).

Такий самий дефект спостерігався за максимальної напруги на зварювальній дузі (дослід № 6) та мінімальній швидкості зварювання

(швидкості автоматичного переміщення зварювального пальника) (дослід №7).

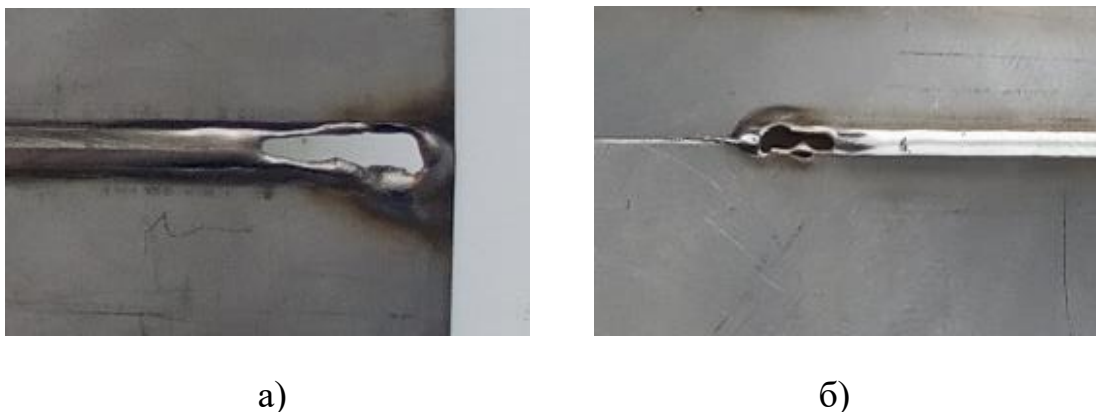


Рисунок 3.11 – Пропалювання на початку (а) та вкінці (б) шва

Крім того, в цих же дослідях було виявлено неоднакову ширину зварних швів як на початку, так і по всій їх довжині (рис. 3.12).



Рисунок 3.12 – Різна ширина зварного шва

В досліді №4, як і в досліді №1 було виявлено неповний провар зварних кромek та різну ширину зварних швів. Отримані результати можуть свідчити про однакову картину впливу мінімальних значень зварювального струму та напруги на дузі. З точки зору фізики процесу електродугового зварювання такий ефект є логічним. Уникнути його вдається шляхом виконання зварювання в пульсуючому режимі зі зміною часу та інтервалу струму бази та імпульсу.

З досліду №9 можна зробити висновок, що максимальні значення швидкості зварювання призводять до отримання неповного провару деталей та утворення незаварених кратерів на кінці зварного шва (рис. 3.13). Що стосується початкової ділянки шва, то за максимальної швидкості зварювання спостерігається неповне проварювання шва.



Рисунок 3.13 – Незаварений кратер шва

Для якісного завершення шва та уникнення виникнення концентрацій напружень в зоні кратера шва рекомендується

знижувати швидкість зварювання в кінці процесу з супутнім зниженням зварювального струму до 50 %.

Майже на всіх дослідах спостерігався вплив витрати захисного газу на якість шва, виражений його потемнінням та зміною кольору металу (рис. 3.14).

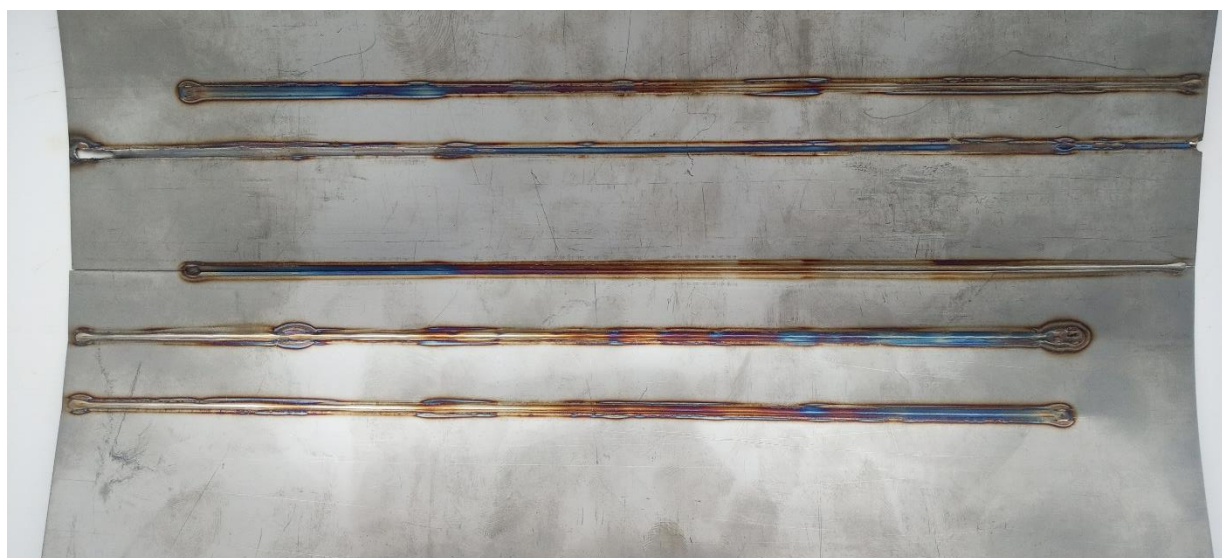
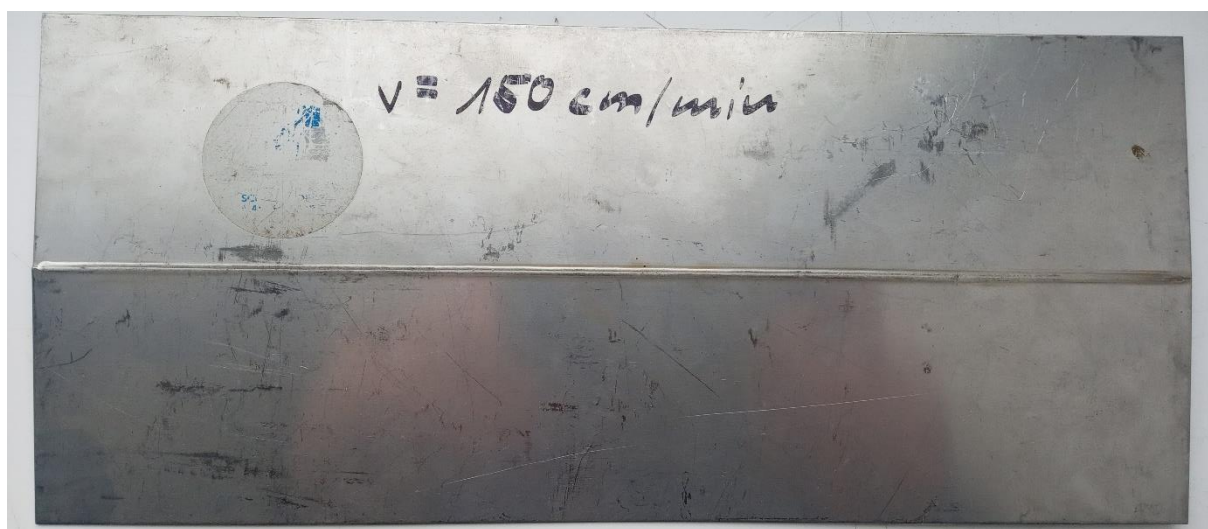


Рисунок 3.14 – Ефект зміни кольору металу після зварювання



Нами встановлено, що зміна кольору металу шва та зворотнього боку заготовок більше проявлялися за мінімальних витрат газу. Збільшення витрати до середніх значень не забезпечувало бажаного результату. Отже можна зробити висновок, що максимальна з досліджуваних витрат забезпечує найкращий якість металу від окислення та теплового впливу.

Найкращої якості зварних швів було досягнуто в дослідах №2, 8, 11 та 12. Хоча в перших трьох спостерігалось потемніння металу шва.



а)



б)

Рисунок 3.15 – Вигляд якісного зварного з'єднання

а – лицьовий бік; б – зворотній бік

Такі шви були отримані за середніх значень більшості регульованих факторів процесу, а саме струмі зварювання 110 А, напрузі на дузі 11 В та швидкості зварювання 750 мм/хв. Винятком є витрата захисного газу. Оптимальним її значенням була витрата в 7 л/хв.

Кращий ефект показав імпульсний режим ТІГ зварювання. Фото зразків зварних швів, отриманих даним способом показані на рис. 3.16.



Рисунок 3.16 – Зварні шви, виконані в імпульсному режимі

Найкращу якість шва було отримано при частоті імпульсів (12 Гц). Меншим значенням притаманна крупніша «лускатість» шва.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз потенційних небезпек

При роботі на напівавтоматі в суміші захисних газів з метою попередження нещасних випадків необхідно дотримуватися ряду заходів, передбачених законами про охорону праці та чинними правилами та інструкціями.

Ураження електричним струмом, опіки, отруєння газами - найбільш характерні випадки травматизму при зварюванні в суміші захисних газів.

Ураження електричним струмом - найбільш частий вид травматизму при зварюванні. Причинами поразки струмом є дотик до голих струмоведучих частин електроустаткування, відсутність або недоброякісність захисних засобів і заземлюючих пристроїв.

В напівавтоматах, включаючи джерела живлення, повинна бути виключена можливість випадкового дотику до частин, що знаходяться під напругою вище допустимого для зварювального ланцюга, і виключена можливість появи небезпечної напруги на частинах, нормально знаходяться без напруги (корпусу джерел живлення, шаф, верстатів). Для цього необхідно ізолювати дроти, в першу чергу підводять струм до зварювального обладнання від силової мережі 220 або 380 В. Затискачі для приєднання проводів від силової мережі повинні бути ізольовані від корпусу і прикриті кришкою або козирком [20].

У випадку пробою ізоляції обмоток, з'єднаних з силовою мережею, під високою напругою можуть виявитися корпуса зварювального обладнання, тому вони повинні бути заземлені.

При пошкодженні ізоляції між обмотками зварювального трансформатора його вторинна обмотка буде з'єднана з силовою мережею через первинну обмотку. Щоб уникнути можливого при цьому ураження електричним струмом, затискачі вторинної обмотки джерела живлення, від

якого йде провід до зварюваного виробу, повинні бути заземлені. Необхідно також заземлювати зварюваний виріб.

Здійснювати перемикання, приєднання або від'єднання в електротехнічних ланцюгах установок можна тільки після вмикання загального рубильника або пускача. При ремонті й усуненні несправностей зварювальне обладнання повинно бути від'єднати від мережі живлення. Пересувні джерела зварювального струму під час їх пересування необхідно від'єднати від мережі. Забороняється користування зварювальними дротами з пошкодженою ізоляцією. З'єднання зварювальних дротів повинно проводитися паянням, зварюванням або з'єднувальними муфтами з ізолюючою обмоткою.

При роботі в особливо небезпечних приміщеннях, а також у відсіках суден, резервуарів джерела живлення повинні бути оснащені пристроєм автоматичного від'єднання напруги холостого ходу або пристроєм, понижуюча напруга в зварювального ланцюга до 12 В. Робота в закритих ємностях повинна проводитися не менше ніж двома особами, причому одна особа повинна мати кваліфікаційну групу з техніки електробезпеки не нижче III і знаходитися зовні.

Опіки тіла при напівавтоматичному зварюванні можуть бути викликані бризками розплавленого металу. Місця зварювальних робіт повинні бути очищені від горючих матеріалів у радіусі не менше 5 м. В процесі зварювання виділяється велика кількість газів, пилу і парів металу, що може призвести до захворювання дихальних шляхів зварника. Для уникнення цього необхідно постачати автомати газовідсмоктувачі, розташованими поблизу дуги. При зварюванні в закритих приміщеннях необхідно застосовувати витяжну вентиляцію [20].

## 4.2 Моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час зварювання

Одним із основних способів моделювання небезпечних ситуацій є метод графічно окресленого логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф. Цей метод базується на побудові схем, відмов і помилок працівників (операторів) різних систем. Потрібно вести математичну обробку даних, з метою одержання ймовірності виникнення травматичних випадкових подій. Розрахунки спрямовані на зниження нещасних випадків на виробництві.

Вивчаючи модель процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, з якої починається небезпечний процес і до виникнення небезпечних наслідків. Якщо провести дослідження то обов'язково можна знайти подію (явище), що є причиною травмонебезпечних та аварійних ситуацій.

Розглянемо випадок виробничого травматизму під час електродугового зварювання. У даному випадку може відбутися травма працівника, внаслідок ураження електричним струмом, отруєння шкідливими газами чи отримання опіку. Головну подію розміщують у верхній частині аркуша паперу і зверху донизу розміщують інші події. У побудованій моделі базові події мають форму круга. Нерозкриті базові події зображують у вигляді ромба, прямокутник подія, що виникає як результат дії фактора [7].

Математичну обробку побудованої моделі починають з крайньої лівої гілки, події якої пронумеровані знизу у вгору починаючи з базових подій і закінчуючи головною. Значення подій вказуємо безпосередньо на символи зображення події. Ймовірності виробничих подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія "охорона праці". Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об'єкт. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 20 або 30%, то ймовірність відповідно

становить 0,2 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідна ймовірність дорівнює 0. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують складені формули відповідно до положень.

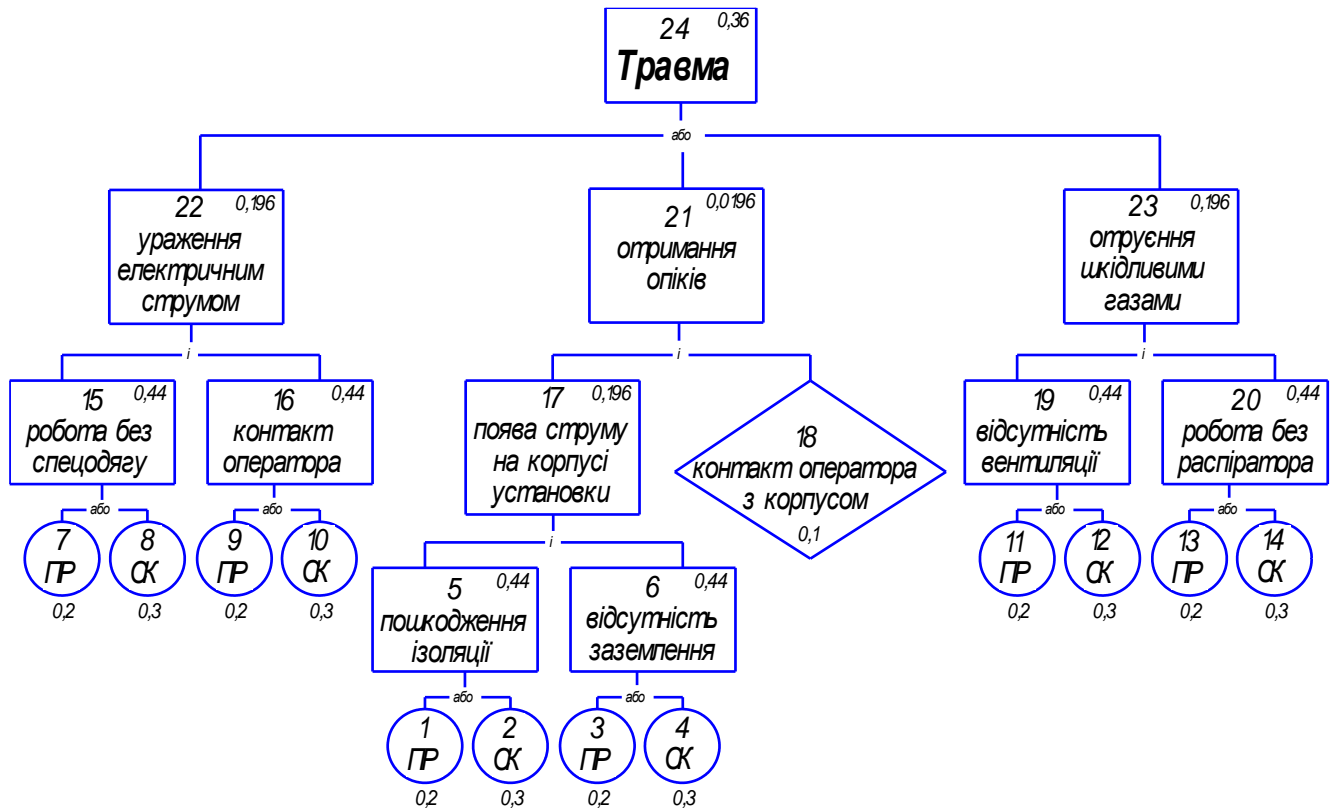


Рисунок 4.1 - Модель процесу формування та виникнення травми

На даній схемі графічно відображено математичну обробку даних на виробництві про нещасні випадки.

Ймовірність події  $P_5$  визначаємо наступним чином

$$P_5 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44 \quad (4.1)$$

Ймовірність подій  $P_6$ ,  $P_{15}$ ,  $P_{16}$ ,  $P_{19}$  і  $P_{20}$  буде рівною події  $P_5$ , оскільки базові події для них є однаковими.

Ймовірність події  $P_{17}$

$$P_{17} = P_5 \cdot P_6 = 0,44 \cdot 0,44 = 0,194 \quad (4.2)$$

Ймовірність події  $P_{21}$

$$P_{21} = P_{17} \cdot P_{18} = 0,194 \cdot 0,1 = 0,0194 \quad (4.3)$$

Ймовірності подій  $P_{22}$  і  $P_{23}$  будуть рівною події  $P_{17}$ , оскільки події  $P_5, P_6, P_{15}, P_{16}$  рівні між собою.

Ймовірність події  $P_{24}$

$$P_{24} = P_{21} + P_{22} + P_{23} - P_{21} \cdot P_{22} - P_{21} \cdot P_{23} - P_{22} \cdot P_{23} \quad (4.4)$$

$$P_{24} = 0,0194 + 0,194 + 0,194 - 0,0194 \cdot 0,194 -$$

$$-0,0194 \cdot 0,194 - 0,194 \cdot 0,194 = 0,36$$

Таким чином, на робочому місті під час зварювання рам вантажних причепів для зварювання в середовищі захисних газів за наявності і можливості виникнення існуючих небезпек та небезпечних діяч на 100 робочих місць ймовірність виникнення травмонебезпечної ситуації становить 0,36 (36 %).

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічний розрахунок процесу в нашому випадку передбачає визначення технологічної собівартості виконання одного метра зварного шва.

Технологічна собівартість автоматичного зварювання складається з суми витрат, обумовлених затратами ресурсів, необхідних для виконання технологічних операцій:

$$C_T = Z_M + Z_e + Z_{зп} + Z_a, \quad (5.1)$$

де  $Z_M$  – матеріальні затрати, грн;

$Z_e$  – затрати на енергоносії (електроенергію), грн;

$Z_{зп}$  – затрати на заробітну плату робітників;

$Z_a$  – затрати на амортизацію.

До матеріальних витрат в процесі автоматизованого зварювання відносяться затрати зварювальні матеріали (електроди та газ).

Матеріальні витрати  $Z_M$  можна визначити за формулою:

$$M_z = C_{ел} + C_{ен} + C_{зг}, \quad (5.2)$$

де  $C_{ел}$  – вартість вольфрамового електрода, з розрахунку на один шов, грн;

$C_{ен}$  – вартість електроенергії, з розрахунку на один шов, грн;

$C_{зг}$  – вартість захисного газу, з розрахунку на один шов, грн.

Вартість вольфрамових електродів  $C_{ел}$  розраховують за формулою:

$$C_{ел} = \Pi_{ел} \cdot m_{ел} \cdot q_{ел} \cdot l_{ш} \cdot K_{тр}, \quad (5.3)$$

де  $\Pi_{ел}$  – ціна електрода, грн;

$m_{ел}$  – маса електрода, г

$q_{ел}$  – витрата електрода ( $q_{ел} = 50 \pm 5 \cdot 10^{-5}$  г/см);

$K_{тр}$  – коефіцієнт транспортно-заготівельних затрат ( $K_{тр} = 1,05 \dots 1,08$ ).

$$C_{ел} = 120 \cdot 10,1 \cdot 55 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 1,06 = 7,07 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат на захисний газ проводимо за формулою:

$$C_{зг} = t_{зв} \cdot q_{г} \cdot k_p \cdot \Pi_{зг} \cdot K_{тр}, \quad (5.4)$$

де  $t_{зв}$  – час зварювання одного шва,  $t_{зв} = 1,33$  хв;

$q_{г}$  – витрата захисного газу – 7 л/хв;



$k_p$  - коефіцієнт витрати газу,  $k_p = 1,3$ ;

$C_{зг}$  - ціна аргону – 1300 грн/ балон = 32,5 грн/дм<sup>3</sup>.

$$C_{зг} = 1,33 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,3 \cdot 32,5 \cdot 1,06 = 0,42 \text{ грн}$$

Затрати на електроенергію  $C_{ен}$  визначаємо за формулою:

$$C_{ен} = \frac{\alpha_E \cdot W \cdot C_E}{l_{шв}}, \text{ грн} \quad (5.5)$$

де  $\alpha_E$  - питомі витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу, кВт · год/кг (для механізованого та автоматичного зварювання  $\alpha_E = 3 \dots 4$  кВт · год/кг);

$W$  - витрати електроенергії, кВт · год;

$$W = W_y + W_d + W_k, \quad (5.6)$$

де  $W_y + W_d + W_k$  – відповідно енергоспоживання установки, зварювального апарату та компресора.

$$W = 1,25 + 3,0 + 0,75 = 5 \text{ кВт.}$$

$C_E$  - ціна за 1 кВт/год; ( $C_E = 2,64$  кВт/год.)

$$C_{ен} = \frac{3 \cdot 5 \cdot 2,64}{1000} = 0,04 \text{ грн}$$

Отже, матеріальні витрати на процес автоматичного зварювання шва довжиною 1 м становитимуть:

$$M_з = 7,07 + 0,42 + 0,04 = 7,53 \text{ грн.}$$

Кількість зварювальників приймаємо відповідно до кількості обладнання. Приймаємо сумарну кількість основних робітників  $Ч_{ор} = 1$ .

Розрахунок заробітної плати та відрахування на соціальні потреби потребує визначення основної та додаткової заробітної плати, а також податкових виплат, які входять до собівартості.

Витрати на оплату праці  $З_{пр}$  розраховують за формулою:

$$З_{пр} = ЗП_о + ЗП_д, \quad (5.7)$$

де  $ЗП_о$  - основна зарплата, грн;

$ЗП_д$  - додаткова зарплата, грн..

Основна та додаткова заробітна плата на з розрахунку на 1 м зварного шва визначається за формулою:

$$З_{пр} = (P_v \cdot K_{пр} \cdot K_d \cdot K_{сс} + D_{шр}) \cdot Ч_{ор}, \quad (5.8)$$

де  $P_B$  - сумарна розцінка за одиницю роботи, грн;

$K_{пр}$  - коефіцієнт преміювання, ( $K_{пр} = 1,5$ );

$D_{шп}$  – додаткова доплата за шкідливість, грн;

$K_{cc}$  – коефіцієнт соціального внеску, ( $K_{cc} = 1,3$ );

$K_d$  – коефіцієнт додаткової заробітної плати, ( $K_d = 1,2$ ).

Тарифна ставка  $T_{ст}$  зварника - 105 грн/год.

Сумарна розцінка за виконання 1 м шва визначається за формулою:

$$P_B = \frac{T_{ст} \cdot t_{зв}}{60} \quad (5.9)$$

де  $T_{ст}$  - тарифна ставка, грн/год.

$$P_B = \frac{105 \cdot 1,33}{60} = 2,33 \text{ грн}$$

Доплата за шкідливі умови праці:

$$D_{шп} = \frac{T_{ст} \cdot T_{шп}}{100 \cdot 60} \quad (5.10)$$

де  $T_{шп}$  - час роботи у шкідливих умовах, хв.

$$T_{шп} = t_{зв} \cdot (0,1 \dots 0,31), \text{ хв.} \quad (5.11)$$

$$D_{шп} = \frac{105 \cdot 1,33}{100 \cdot 60} = 0,023 \text{ грн}$$

Тоді

$$Z_{пр} = (2,33 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,3 + 0,023) \cdot 1 = 5,48 \text{ грн.}$$

Затрати на амортизацію устаткування визначаємо за формулою:

$$Z_a = \frac{B_б \cdot a}{T_a \cdot W_r}, \quad (5.12)$$

де  $B_б$  – балансова ціна обладнання,  $B_б = 250000$  грн;

$a$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію. Для електромеханічних приладів та інструментів  $a = 25 \%$ .

$T_a$  – амортизаційний період. Прийемо 1500 год.

$$Z_a = \frac{250000 \cdot 25}{100 \cdot 1500 \cdot 1,33 \cdot 60} = 0,0083 \text{ грн.}$$

Отже, технологічна собівартість зварювання одного метра шва становитиме:

$$C_r = 7,53 + 5,48 + 0,0083 = 13,02 \text{ грн} \quad (5.13)$$

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих технологій зварювання хромованих нержавіючих сталей показав відсутність чітких практичних рекомендацій щодо виконання вищевказаних операцій в автоматичному режимі. Виробниками установок для автоматичного зварювання лінійних та кільцевих швів надаються тільки загальні характеристики обладнання, яких недостатньо для ефективного виконання технологічних операцій.
2. Теоретичний аналіз процесу аргонодугового зварювання дозволив визначити основні параметр технологічного процесу, які визначають його продуктивність та якість виконання робіт. До них відносяться полярність зварювання, сила зварювального струму, режим роботи зварювального джерела, швидкість зварювання та характеристики захисних газів.
3. Наведені в роботі рекомендації щодо підготовки технологічної оснастки та установки для автоматичного зварювання лінійних швів дозволили розробити чіткі методики експериментальних досліджень, на основі яких обґрунтовано оптимальні режими автоматичного зварювання нержавіючої сталі.
4. В результаті досліджень встановлено, що при максимальних значеннях зварювального струму спостерігалось пропалювання заготовок. Крім того, такі значення зварювального струму дають неоднакову ширину зварних швів як на початку, так і по всій довжині зварного шва.
5. Майже на всіх дослідах спостерігався вплив витрати захисного газу на якість шва, виражений його потемнінням та зміною кольору металу. Встановлено, що зміна кольору металу шва більше проявлялися за мінімальних витрат газу. Максимальна з досліджуваних витрат забезпечувала найкращий якість металу від окислення та теплового впливу.
6. Шви найкращої якості були отриманні за середніх значень процесу, а саме струмі зварювання 110 А, напрузі на дузі 11 В та швидкості зварювання 750 мм/хв. Оптимальним значенням витрати захисного газу була витрата в 7 л/хв.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Автоматичні установки для зварювання поздовжніх швів обичайок, труб і листів. <https://svartech.com.ua>
2. Александров О.Г., Заруба І.І., Пінковський І.В. Будова та експлуатація устаткування для зварювання плавленням. Київ: Техніка, 1998. 176 с.
3. Биковський О.Г. Довідник зварника. Київ: Основа, 2014. 448 с.
4. Биковський О.Г. Зварювання та різання кольорових металів: Довідковий посібник. Київ: Основа, 2011. 392 с.
5. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. Київ: Основа, 2021. 400 с.
6. Гапонова О. П., Будник А. Ф. Сталі та сплави з особливими властивостями: навчальний посібник. Суми: Сумський державний університет, 2014. 240 с. ISBN 978-966-657-507-7.
7. Городецький І. В., Тимочко В. О. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичні рекомендації до виконання розділу у роботах ОКР "Магістр" студентами факультету механіки та енергетики. Львів : Львівський НАУ, 2011. 16 с.
8. Гуменюк І.В., Іваськів О.В., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання: Підручник. Київ: Грамота, 2006. 512 с.
9. Драган С.В., Лабарткава Практикум зі зварювання: Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 68 с.
10. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
11. ДСТУ 10157;2019 "Аргон газоподібний та рідкий. Технічні умови"
12. ДСТУ EN 1090-2:201X (EN 1090-2:2018, IDT). Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 2. Технічні вимоги до сталевих конструкцій. Київ: УкрНДІ.

13. ДСТУ ISO 5817:2016 Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (ISO 5817:2014, IDT)
14. ДСТУ EN ISO 14171:2015 Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні й порошкові та комбінації дрiт електродний/флюс для дугового зварювання під флюсом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація (ENISO 14171:2010, IDT; ISO 14171:2010, IDT):[Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id>
15. Зварювання нержавіючої сталі. <https://ukirs.com.ua>
16. Зварювальні технології. <https://svartech.com.ua/ua/>
17. Івченко П.С. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» модуль 1 – Фізико-хімічні процеси в електричній дузі. Для студентів напряму 6.050504 – «Зварювання». Дніпродзержинськ: ДДТУ 2016. 93 с
18. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання. Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 437 с.
19. Конспект лекцій з дисципліни «Зварні конструкції» для студентів напряму 6.050504 «Зварювання»/ Укладач Ю.А.Гасило. Кам, янське: ДДТУ, 2016. 72 с.
20. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. Київ: Основа, 2010. 240 с.
21. НПАОП 28.52-1.31-13 “Правила охорони праці під час зварювання металів”.
22. Основи охорони праці: навч. посібник / за ред. проф. В. В. Березуцького. Харків: Факт, 2005. 480 с.
23. Постольник Ю.С., Огурцов А.П., Решетняк І.С. Основи металургійної термомеханіки. Дніпродзержинськ, Вид ДДТУ. 1998. 360с.
24. Стеклов О.І. Основи зварювального виробництва. Київ: Вища школа, 1990. 222 с.

25. Швець О.П. Автоматизовані технології зварювання та різки металів. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт. Львів: ЛНУП, 2023. 32 с.

26. Швець О.П., Березовецький С.А. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи на тему «Обладнання для аргонодугового TIG (WIG) зварювання металів неплавкими електродами» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт». Львів: ЛНАУ, 2022. 15 с.

27. Швець О.П. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас Методичні рекомендації до виконання практичної роботи на тему «Налаштування апаратів для аргонодугового TIG (WIG) зварювання на необхідний режим роботи» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт». Львів: ЛНАУ, 2022. 15 с.

28. Шульга Я.С. Плазмове та TIG зварювання конструкцій з нержавіючих сталей для харчової промисловості. Магістерська дисертація зі спеціальності 131 Прикладна механіка. Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2022. 86 с.

29. AWS 600/1100/1600. Система зварювання повздовжніх швів.  
<https://timtec.com.ua/>

30. TransTig 2200/2500 Comfort, TransTig 3000/4000 Comfort, TransTig 5000 Comfort, MagicWave 2200/2500 Comfort, MagicWave 3000/4000 Comfort, MagicWave 5000 Comfort. Джерело живлення WIG. Інструкція з експлуатації.  
URL: <https://www.fronius.com>