

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **Обґрунтування параметрів процесу
автоматизованого MIG-зварювання листової сталі**

Виконав: студент групи Маш-62

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Вовк Андрій Юрійович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Швець Олексій Петрович
(Прізвище та ініціали)

Львів-Дубляни 2025

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

Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 133 - Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
Машинобудування
(назва кафедри)

(підпис)

професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(прізвище та ініціали)

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Вовку Андрію Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів процесу автоматизованого MIG-зварювання листової сталі

Керівник роботи к.т.н., Швець Олексій Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЛНУП від 28 лютого 2025 року №140/к-с

2. Строк подання студентом роботи до “ ____ ” _____ 20__ року

3. Вихідні дані до работ: довідкова література, характеристики зварювального обладнання та матеріалів, стандарти на виконання процесів зварювання металів, типові технології механізованого та автоматизованого зварювання деталей, методики розрахунку технологічних параметрів процесу зварювання, методики

проведення експериментальних досліджень, методики контролю якості зварних швів та з'єднань, інструкції з охорони праці та інші довідкові джерела.

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

4.1. Аналіз технологій автоматизованого зварювання виробів з листової сталі; 4.2. Теоретичний аналіз роботи обладнання для MIG/MAG зварювання листової сталі; 4.3. Методика та результати експериментальних досліджень; 4.4. Охорона праці; Висновки.

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	Швець О.П. доц. каф. машинобудування			
4	Городецький І.М. доц. каф. інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання “ ____ ” _____ 20__ року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Аналіз технологій автоматизованого зварювання виробів з листової сталі	18.04.25	
2	Теоретичний аналіз роботи обладнання для MIG/MAG зварювання листової сталі	20.06.25	
3	Методика та результати експериментальних досліджень	05.09.25	
4	Охорона праці	31.10.25	
5	Оформлення пояснювальної записки	21.11.25	
6	Оформлення графічної частини	15.12.25	

Студент _____
(підпис)

Вовк А.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Швець О.П.
(прізвище та ініціали)

Вовк А.Ю. «Обґрунтування параметрів процесу автоматизованого MIG-зварювання листової сталі». /Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, 2025. 77 с.

Проведено аналіз процесу зварювання металів в середовищі захисних газів. Розглянуто основні аспекти автоматизації процесів зварювання. Проведено аналіз впливу способів перенесення електродного металу на формування та параметри зварних швів. Визначено основні параметри, які впливають на ефективність процесу зварювання та якість зварних з'єднань. Підібрано комплект зварювального обладнання, підготовлено дослідні зразки, розроблено методику та проведено дослідження процесу автоматизованого зварювання листової сталі стиковими швами. Проведено аналіз якості зварних швів та розроблено рекомендації щодо виконання технологічних операцій. Розглянуто питання охорони праці під час електродугового зварювання.

Табл. 9; рис. 47; бібліогр. джерел 40.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗВАРЮВАННЯ ВИРОБІВ З ЛИСТОВОЇ СТАЛІ	7
1.1 Загальні відомості про процес MIG/MAG зварювання	7
1.2 Аналіз конструкції апаратів для MIG/MAG зварювання	9
1.3 Загальні відомості про процес автоматичного зварювання	15
1.4 Комплексний підхід до вирішення виробничих завдань автоматичного зварювання	17
1.5 Аналіз комплектації та технічних характеристик зварювальних маніпуляторів зі стрілою на колоні (зварювальних колон)	20
1.6 Приклади застосування зварювальних колон	23
Висновки за розділом	
2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ MIG/MAG ЗВАРЮВАННЯ ЛИСТОВОЇ СТАЛІ	26
2.1 Характеристика стикових зварних з'єднань листової сталі	26
2.2 Рекомендації щодо техніки виконання стикових зварних з'єднань	28
2.3 Аналіз можливих процесів перенесення присадного металу	29
2.4 Енергія зварювання та підведення тепла	32
2.5 Вплив корекції дуги на параметри зварних швів	35
Висновки за розділом	37
3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	38
3.1 Програма експериментальних досліджень	38
3.2 Обладнання для експериментальних досліджень	39
3.2.1 Загальна будова зварювальної установки	39
3.2.2 Характеристика зварювального апарату CMT 4000 Advanced	40
3.2.3 Методика налаштування параметрів роботи зварювального джерела	43
3.2.4 Характеристика зварювального візка	47

3.2.5	Методика визначення необхідних параметрів процесу зварювання	51
3.3	Методика експериментальних досліджень	55
3.4	Результати експериментальних досліджень	59
	Висновки за розділом	67
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	68
4.1	Аналіз вимог техніки безпеки під час зварювальних робіт	68
4.2	Моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час зварювання	70
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	73
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	74

ВСТУП

Зварювання металів є ключовим технологічним процесом у сучасному машинобудуванні, будівництві та інших галузях промисловості. Зокрема, технологія автоматизованого MIG-зварювання (Metal Inert Gas – зварювання металевим електродом в інертному газі) набуває все більшого поширення завдяки високій продуктивності, якості зварних швів та можливості автоматизації. Листова сталь широко застосовується у виробництві легких та середніх металоконструкцій, кузовів автомобілів, резервуарів та іншої продукції.

Якість зварного з'єднання, його міцність та експлуатаційні характеристики безпосередньо залежать від правильно обраних та обґрунтованих параметрів процесу зварювання, таких як зварювальний струм, напруга, швидкість подачі дроту, швидкість зварювання, витрата захисного газу та інші. Неоптимальні параметри можуть призводити до дефектів, таких як пористість, непровари, термічні деформації та зниження механічних властивостей шва. В умовах автоматизованого виробництва точне обґрунтування цих параметрів є критично важливим для забезпечення стабільності та відтворюваності процесу, мінімізації браку та підвищення загальної ефективності виробництва.

Метою даної роботи є наукове обґрунтування оптимальних параметрів процесу автоматизованого MIG-зварювання листової сталі для забезпечення високої якості зварних з'єднань та підвищення продуктивності технологічного процесу.

Об'єктом дослідження є технологічний процес автоматизованого MIG-зварювання листової сталі.

Предметом дослідження є параметри та режими автоматизованого MIG-зварювання, що впливають на якість та продуктивність зварних з'єднань.

Розроблені рекомендації та обґрунтовані параметри можуть бути впроваджені на виробничих підприємствах для оптимізації існуючих технологічних процесів, підвищення якості продукції, зниження рівня браку та зменшення виробничих витрат.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗВАРЮВАННЯ ВИРОБІВ З ЛИСТОВОЇ СТАЛІ

1.1. Загальні відомості про процес MIG/MAG зварювання

В даний час процеси MIG/MAG використовують у різних сферах промисловості, починаючи від підприємств важкої промисловості (суднобудівні підприємства, виробництво сталевих металоконструкцій, трубопроводів тощо) до невеликих майстерень, в яких виконують ремонт та обслуговування техніки.

Зварювання MIG розшифровується як (Metal Inert Gas). Це процес зварювання, для якого в якості захисного середовища використовують інертні гази, такі як аргон або гелій. Процес MAG (Metal Active Gas) виконують в захисному середовищі активних газів, наприклад азоту, вуглекислого газу та їх сумішей з інертними газами. Дуже часто люди плутають між собою ці два поняття і термін «MIG» часто помилково використовується стосовно зварювання MAG [24, 30, 36].

Основний принцип способу MIG/MAG зварювання полягає в тому, що металевий зварювальний дріт подається через зварювальний пальник в зону зварювання автоматично, де розплавляється теплом електричної дуги. Через те, що автоматизованою є тільки частина процесу (подача зварювального дроту) зварювання MIG/MAG часто ще називається напіваавтоматичним, оскільки зварювальник змушений переміщати пальник уздовж шва вручну. Зварювальний дріт в методі зварювання відіграє подвійну роль. Він одночасно є струмопровідним електродом і присадковим матеріалом. В даний час MIG/MAG зварювання стало найпоширенішим процесом, який застосовують у зварювальному виробництві через можливість забезпечення високих швидкостей зварювання. Крім того, його можна використовувати вручну, а також за допомогою автоматизованих установок та роботів.

Захисний газ, який подається через сопло зварювального пальника в зону зварювання, захищає дугу та зварювальну ванну з розплавленим в ній металом. Метал у розплавленому стані є хімічно активним і може взаємодіяти з активними

захисними газами. Інертні захисні гази, такі як аргон або гелій, хімічно не реагують з металами зварювальної ванни, розплавленими електричною дугою.

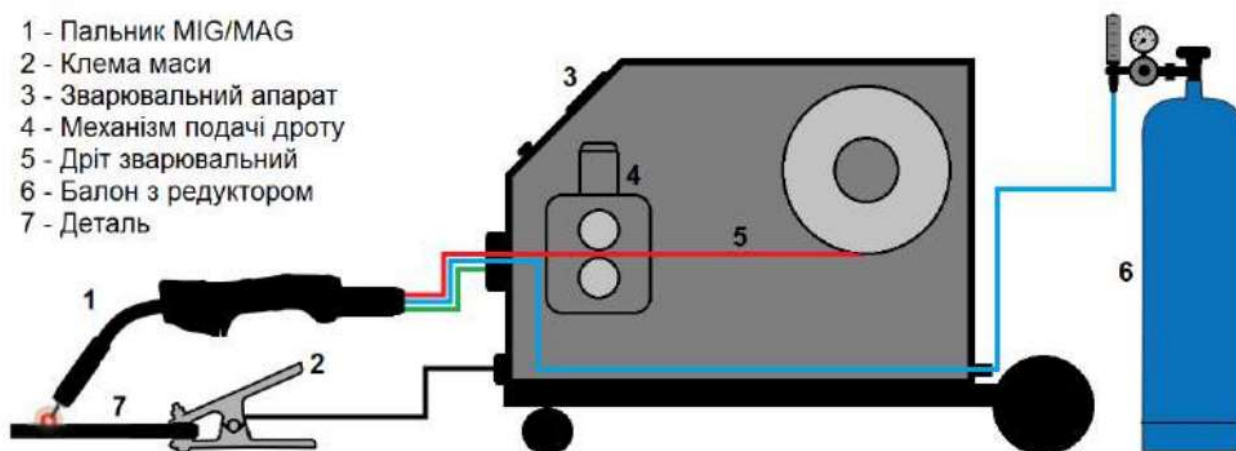


Рисунок 1.1 – Схема процесу MIG/MAG зварювання

Принцип технології зварювання в середовищі захисних газів (рис. 1.2) полягає в тому, що електродний дріт 7 подається з котушки за допомогою роликів 8 подаючого механізму по направляючій, розміщеній у зварювальному шлангопакеті. Перед виходом із зварювального пальника на нього подається зварювальний струм через струмопідвідний наконечник 6. В момент контакту кінця електродного дроту з виробом 1 відбувається коротке замикання і запалюється електрична дуга 2. Захисний газ 4 подається із зварювального балона через газове сопло 5 пальника з усіх боків електродного дроту [17].

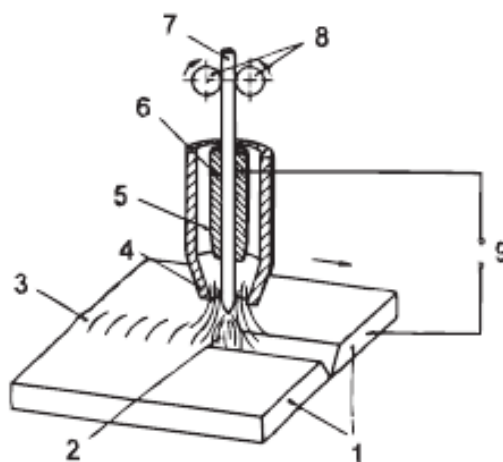


Рисунок 1.2 – Принципова схема процесу зварювання в середовищі захисних газів (MIG/MAG)

1.2. Аналіз конструкції апаратів для MIG/MAG зварювання

У зварювальному апараті для напіваавтоматичного MIG/MAG зварювання поєднані дві окремі операції зварювання: подача зварювального дроту в зону горіння електричної дуги; переміщення дуги вздовж лінії формування зварного шва. У напіваавтоматах механізованою є лише одна операція - подача електродного дроту. Переміщення зварювальної дуги вздовж зварних кромek деталей для утворення зварного шва виконується зварником вручну [17, 21, 39].

Автоматична подача зварювального дроту з котушки здійснюється спеціальним подавальним механізмом, який складається з електродвигуна змінного або постійного струму, редуктора, привідних та притискних роликів.



Рисунок 1.3 – Подавальні механізми зварювальних півавтоматів

а – вбудований; б – окремий

1 – котушка з дротом; 2 – електродвигун; 3 – блок роликів

Дріт подається роликами з постійно швидкістю, значення якої задається зварювальником. Далі він проходить через внутрішній канал гнучкого шлангового пакета, ручку пальника та контактний наконечник. В процесі зварювання зварник має тримати пальник рукою та самостійно переміщати його в напрямку формування зварного шва.

Під час налаштування півавтоматів, одним з важливих параметрів є правильний підбір роликів для механізму подачі зварювального дроту. Якщо дріт буде подаватися в зону зварювання рівномірно, без ривків, то це дозволить отримувати зварний шов високої якості. Основним критерієм, за яким підбираються ролик подавального механізму є це матеріал зварювального дроту. Під час роботи механізму дріт розташовується у канавці подаючого ролика і фіксується зверху притискним роликом. Зусилля притискання регулюється спеціальним пристроєм, який розміщений зверху над роликами. Необхідне значення зусилля притискання також залежить від матеріалу, з якого виготовлений дріт.

Ролики механізмів подачі можуть мати наступні основні профілі канавки: V-подібна U-подібна U-подібна з насічками (рис. 1.4) [30].



Рисунок 1.4 – Види роликів механізмів подачі дроту та їх канавок

Подаючі ролики з V-подібною канавкою у комбінації з плоским притискним роликом використовується для роботи з жорстким сталевим дротом (нержавіючий, низьколегований), який вирізняється високою міцністю і майже не піддається деформації. Поєднання роликів подачі дроту з U-подібною канавкою і притискними роликами такого ж типу – це комплект, який підходить для роботи з м'якими дротами (алюміній та його сплави). Міцність такого дроту значно менша за сталевий, він може легко деформуватися механізмом подачі. Тому дуже для правильного налаштування процесу та підготовки апарата до роботи важливо використовувати відповідний комплект роликів і знижувати зусилля притискання, щоб не допустити порушення геометрії дроту. Подаючі ролики і притискні з U-подібною канавкою, яка має насічку застосовують для

зварювання порошковими дротами. Також під час зварювання порошковим дротом можна застосувати наступні комбінації роликів:

- подаючі ролики з U-подібною канавкою з насічками і плоскі притискні ролики;
- подаючі ролики з U-подібною канавкою і притискні ролики з U-подібною канавкою;
- подаючі ролики з U-подібною канавкою і плоскі притискні ролики.



Рисунок 1.5 – Ролики механізмів подачі дроту

Такі рекомендації пов'язані з тим, що порошкові дроти виготовляються у вигляді порожнистої трубки з тонкими металевими стінками, всередині заповненої порошкоподібною шихтою. Якщо для подачі таких дротів будуть використовуватися ролики з V-подібною канавкою, то вони можуть деформуватися, і зварювання може перерватися, оскільки дріт перестане проходити через отвір контактної наконечника пальника. Крім того, для роботи з порошковими дротами рекомендується застосовувати зварювальні апарати, обладнані 4-х роликівими механізмами подачі.

Ще одним параметром підбору роликів є кількість їх канавок. Їх може бути одна або дві. Ролики з однією канавкою використовуються для роботи тільки з одним діаметром дроту. Такі ролики можуть бути універсальним для двох суміжних діаметрів дротів (наприклад 0,8 і 1 мм). Маркування на таких роликах, як правило, наносять на бічну поверхню ролика. Ролики з двома канавками маркують з обох боків в залежності від того, який діаметр дроту використовується для тієї чи іншої канавки. Під час встановлення роликів з двома

канавками в механізм подачі, слід пам'ятати, що робочою канавкою ролика буде та, яка розташована ближче до двигуна механізму подачі [8, 17, 18, 21, 40].

Неправильна установка роликів може привести до нестабільної подачі зварювального дроту та появи дефектів зварювального шва.

Однією з основних складових зварювальних напівавтомата є шлангопакет, в якому розміщується дрова спіральна направляюча з обплетенням і гумовою оболонкою у внутрішньому каналі, через яку проходить електродний дріт. В середині шлангопакета також проходить силовий кабель для підведення зварювального струму до контактної наконечника, шланг для подачі захисного газу та кабелі керування, зв'язані з кнопкою пальника. У комбінованих шлангах в одній оболонці також можуть бути змонтовані шланги для підведення до пальника охолоджуючої рідини. Комбіновані гнучкі шланги використовуються в апаратах великої потужності. Вони мають велику масу. Зварнику важко керувати зв'язаними з ним пальником. Сучасні напівавтомати забезпечуються автономними шлангами. Довжина шлангопакета здебільшого становить не більша за 3,5 м.

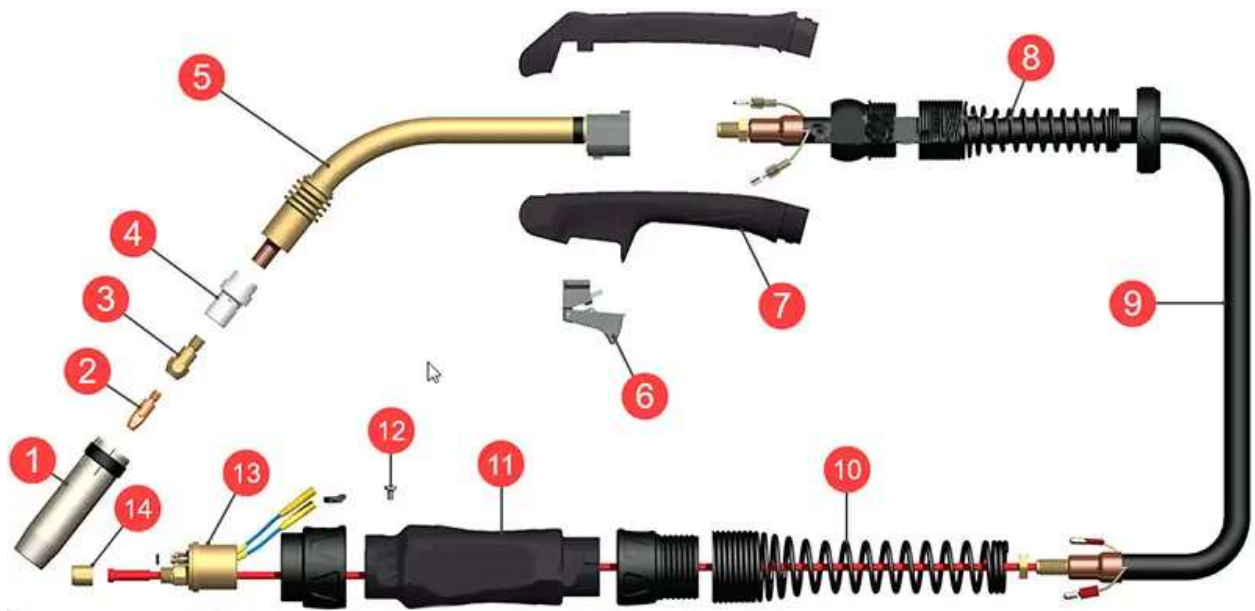


Рисунок 1.6 - Пальник для MIG/MAG зварювання

- 1 – сопло; 2 – контактний наконечник; 3 – тримач наконечника; 4 – дифузор;
 5 – гусак; 6 – кнопка; 7 – ручка; 8, 10 – з'єднувальна пружина; 9 – шлангопакет;
 11 – коробка для охолодження; 12 – гвинт; 13 – центральний колектор;
 14 – гайка

Зварювальний пальник з кабелем і шлангопакетом або рукавом – це основний робочий інструмент в півавтоматі. Як правило, апарати для напівавтоматичного зварювання комплектуються пальником та шлангом.

Зварювальний пальник складається з кількох основних елементів, кожен з яких виконує свою функцію. Газове сопло направляє та підводить захисний газ і створює захисне середовище, яке не допускає контакту дроту, дуги і металу зварювальної ванни з повітрям. Контактний наконечник розташований у соплі і слугує для передачі зварювального струму на дріт. Гусак призначений для подачі газу та дроту до місця зварювання. Ручка з кнопкою дозволяє маніпулювати пальником, починати та зупиняти зварювальний процес. Шлангопакет об'єднує напрямний канал для підведення дроту до пальника, газовий канал для захисного газу, зварювальний кабель та кабель керування.

Пальники для напівавтоматів відрізняються характеристиками, конструктивно та способом охолодження. Їх оснащують прямими та вигнутими гусакми. Другий варіант зручніший і дозволяє працювати у важкодоступних місцях та різних просторових положеннях. Кут вигину шийки може бути різним - 45, 50 і 60 °. Корпус гусака може бути жорстким і гнучким. Останній варіант хороший, коли потрібно заварювати в обмеженому важкодоступному просторі.

Пальники також бувають з повітряним і рідинним охолодженням. Моделі з повітряним охолодженням комплектують рукавом зі зварювальним кабелем, напрямною спіраллю та газовим каналом. Такі пальники охолоджуються самі за рахунок проходження крізь них захисного газу і повітря. Вони зустрічаються здебільшого в побутових, напівпрофесійних та професійних апаратах і призначені для роботи на зварювальних струмах до 500 А при ПВ до 60%. Моделі з водяним охолодженням призначені для більших навантажень та застосовуються у промислових зварювальних апаратах. Вони оснащені шланговим пакетом, до якого додатково входять канали для циркуляції охолоджувальної рідини. Ці пальники можна використовувати при зварюванні на струмах до 600 А при ПН 100 %.

У сучасних напівавтоматах для зварювання в захисному газі є електромагнітний газовий клапан, який спрацьовує одночасно з пуском

електродвигуна механізму подачі через реле автоматичного включення. При цьому починає відбуватися одночасна подача електродного дроту та газу. При розмиканні зварювального ланцюга реле вимикається, що призводить припинення подачі електродного дроту та газу. Електродвигун механізму подачі зварювального дроту найчастіше підключається до джерела живлення зварювального струму або до мережі через понижуючий трансформатор (220/36 - 380/36 В).

Зварювальні півавтомати можуть комплектуватися механізмами подачі штовхального (рис. 1.7) та тягнучого (рис. 1.8) типів. Тип механізму визначається місцем розташування електродвигуна [17].

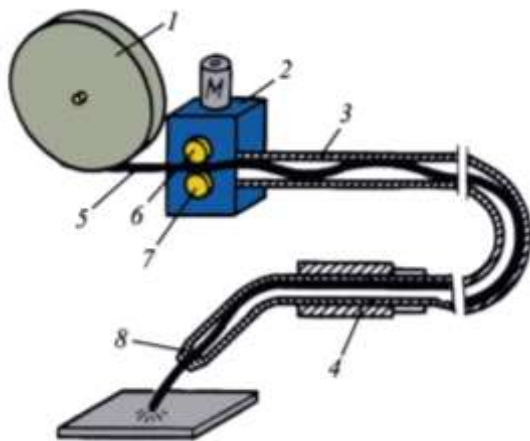


Рисунок 1.7 - Схема механізму подачі штовхального типу

- 1 - котушка; 2 - механізм подачі дроту;
 3 - шланг; 4 - тримач; 5 - дріт;
 6 - коробка швидкостей ведучого та притискувального ролика;
 7 - притискний ролик;
 8 - контактний наконечник;
 М - електродвигун;

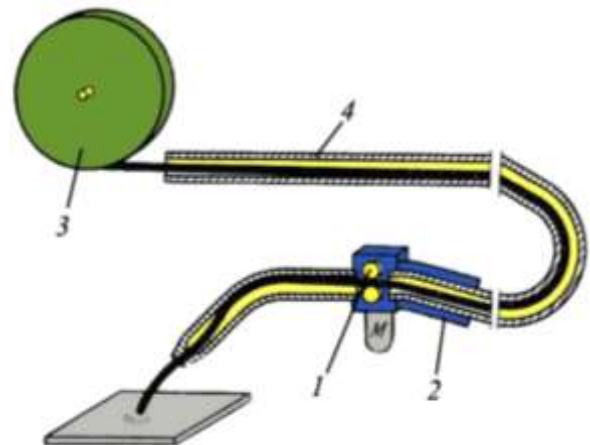


Рисунок 1.8 - Схема механізму подачі дроту напівавтомата тягнучого типу

- 1 - подавальні ролики;
 2 - тримач пальника;
 3 - котушка з дротом;
 4 - шланг;
 М - електродвигун протягувального механізму

Опір проходженню дроту значно залежить від кількості вигинів шлангопакета, його довжини та матеріалу тертьових поверхонь каналу. Цей опір

в процесі роботи апарата може змінюватися, що призводить до порушення рівномірності подачі дроту та стабільності процесу зварювання. Критичним є збільшення опору проштовхування дроту, за якого двигун механізму подачі зупиниться або почнуть пробуксовувати подавальні ролики. Для порошкових дротів з алюмінію та титану опір проштовхуванню є набагато більшим, ніж для сталених дротів суцільного перерізу. Тому, для таких дротів застосовують спіралі, виготовлені з металів з малим коефіцієнтом тертя або змащені нейтральними змасками, що знижує опір проштовхування в кілька разів.

Для м'яких зварювальних дротів з алюмінію або порошкових дроту з високим коефіцієнтом тертя, а також для дротів з діаметром менших 0,8 мм, які мають здатність до зминання в каналі, механізми штовхаючого типу не застосовують. Для них краще застосовувати напівавтомати з тяговими механізмами, якого розташований у пальнику. Однак довжина шлангів таких апаратів обмежується малою потужністю електродвигуна і не перевищує 1 м.

У напівавтоматах зі шлангами, довгими за 5 м, застосовуються механізми подачі тягово-штовхаючого типу, у яких штовхаючий механізм розташований поруч із котушкою, а тяговий - в пальнику. Це значно збільшує вагу пальника, але усуває нерівномірність подачі дроту.

1.3. Загальні відомості про процес автоматичного зварювання

Автоматичне зварювання металоконструкцій передбачає механізацію процесів запалювання та підтримування горіння зварювальної дуги, подачі електродного дроту в зону плавлення і переміщення дуги вздовж зварних кромek деталей з визначеною швидкістю, завершення процесу заварювання із заварюванням кратера в кінці зварного шва. Обладнання, яке для цього застосовується, називається зварювальними автоматами. За призначенням їх поділяють на універсальні, загального призначення і спеціалізовані.

Класифікують зварювальні автомати за наступними показниками [1, 5]:

- за способом переміщення вздовж заготовки – самохідні і несамохідні;
- за видом електрода – для зварювання плавким або неплавким електродом;

- за способом захисту дуги – під шаром флюсу, в середовищі захисних газів та без захисту;
- за способом регулювання швидкості подавання електродного дроту – з плавним, ступінчастим або плавно-ступінчастим регулюванням;
- за способом підтримування напруги дуги – із саморегулюванням або примусовим регулюванням напруги на дузі;
- за способом формування зварного шва – з вільним або примусовим формуванням металу;
- за числом зварювальних дуг, що мають роздільне живлення струмом – одно-, дво- і багатодугові;
- за числом електродів, що мають загальне живлення струмом – одно-, двох і багатоелектродні;
- за технологічним призначенням – для зварювання або для наплавлення.

Конструктивно зварювальні автомати можуть складатися з наступних вузлів:

- механізмів подачі електродного дроту і переміщення дуги вздовж кромок, механізмів чтворення допоміжних і корегувальних переміщень;
- струмопідвідних мундштуків;
- фіксуючих механізмів;
- касет для електродного дроту;
- флюсової апаратури або пристроїв подачі захисного газу;
- систем керування та засобів безпеки.

Механізми подачі електродного дроту мають конструкцію, аналогічну до апаратів для механізованого (напівавтоматичного) зварювання.

Переміщення самохідних автоматів із заданою швидкістю зварювання вздовж зони формування зварного з'єднання і повернення їх у вихідне положення з маршовою швидкістю здійснюється роздільними електродвигунами. Самохідні візки є корпусом зварювального автомата і мають колісний хід. У таких зварювальних автоматах (зварювальних тракторах) є окремий двигун переміщення візка з плавним регулюванням швидкості і двигун приводу

механізму подавання дроту. В тракторах з одним двигуном швидкість їх переміщення і подача електродного дроту регулюється ступінчасто.

Струмопровідні мундштуки та зварювальні пальники призначені для спрямування електрода в зону зварювання і підведення до нього зварювального струму. Конструктивно вони бувають трубчастими, роликowymi або колодковими.

Флюсове устаткування слугує для подачі захисного флюсу в зону зварювання, а також для збирання нерозплавленого флюсу і накопичення його для повторного використання.

Пристрої для подачі захисних газів зварювальних автоматів такі ж мамії, що і в апаратах для механізованого зварювання плавким електродом в середовищі захисних газів [14].

Система керування зварювальними автоматами забезпечує переміщення електродного дроту (вгору і вниз), а також самого автомата (вперед, назад), початок і завершення процесу зварювання за допомогою кнопок і вимикачів, заварювання кратера, вмикання і вимкнення роботи газової апаратури, підтримування в заданих межах значень зварювального струму, напругу, швидкості зварювання та подачі електродного дроту. Основні елементи систем керування зварювальними автоматами монтують в шафах керування. В них розташовуються силовий контактор, проміжні реле, засоби захисту силової мережі. Управління автоматами і контроль за параметрами процесу зварювання здійснюється з пульта керування, розташованого на їх корпусі.

1.4. Комплексний підхід до вирішення виробничих завдань автоматичного зварювання

Головна мета автоматизації зварювального виробництва – це підвищення конкурентоспроможності підприємства за рахунок переходу на більш гнучкі та досконаліші зварювальні процеси, зниження собівартості виконання робіт, уніфікації, скорочення об'єму підготовчих та допоміжних операцій, зниження вимог до кваліфікації обслуговуючого персоналу та зниження його

втомлюваності, підвищення ритмічності виробництва, скорочення асортименту витратних матеріалів і підвищення якості зварних з'єднань.

Сучасний автоматизований зварювальний комплекс - це дещо більше, ніж комплект обладнання для автоматичного зварювання. Питання підготовки виробництва має бути ретельно опрацьоване, а допоміжні операції достатньо автоматизованими та надійними, що дає можливість забезпечити максимальний час горіння зварювальної дуги.

Процес автоматизації зварювального виробництва поєднує в собі виконання наступних підзадач [18, 19]:

1 - вибір високоефективної зварювальної технології, яка відповідає сучасному рівню виробництва та завдань, які стоять перед виробництвом;

2 - вибір технологічного обладнання та витратних матеріалів, які дозволяють реалізувати обрану технологію з найкращою якістю та найвищою продуктивністю;

3 - розробка схеми та підбір для них обладнання, яке забезпечує виконання допоміжних операцій, включаючи підготовчі (встановлення та зміна заготовок, фінішні операції, контроль якості тощо);

4 - вибір пристосувань та оснастки, які забезпечують автоматизацію роботи підбраного зварювального обладнання за заданих технологічних особливостей виготовлення виробів, схеми виконання допоміжних операцій, виробничих площ та інших вимог;

5 - інтеграція всього виробничого обладнання в єдиний працездатний комплекс, до якого входить проектування та виготовлення необхідних вузлів та систем зв'язку, розробка та налагодження зварювальних процесів, розробка та налагодження процесів синхронізації.

В умовах сучасного виробництва, самий тільки вибір тих чи інших засобів автоматизації (механізмів подачі, маніпуляторів з тим чи іншим вильотом стріли, позиціонерів, обертачів, консолей та порталів із різними геометричними розмірами, підйомною потужністю та матеріалом, з якого вони виготовлені) не вирішує завдання організації зварювального виробництва на автоматизованому комплексі.



Зварювання повздовжніх швів оболонок і баків. Можливе як зовнішнє так і внутрішнє зварювання



Зварювання кільцевих швів і приварювання фланців



Зварювання зовнішніх кільцевих швів з використанням роликів опор



Внутрішнє і зовнішнє зварювання кільцевих швів з використанням двох і більше зварювальних головок.



Одночасне зварювання кількох повздовжніх швів балок. Зварювальний центр переміщується зі швидкістю зварювання по рейковому шляху. Рекомендується використовувати системи стеження за стиком.



Застосування спеціальних маніпуляторів з інтегрованою системою керування з боку зварювального центру, нахил і обертання зі швидкістю зварювання

Рисунок 1.5 – Приклади впровадження інжинірингових рішень автоматизації процесів зварювання

Існує й інша проблема, щодо забезпечення зварювального виробництва оснасткою та пристроями для автоматизації. Вона ця полягає в тому, що для того, щоб зібрати в єдиний комплекс вибраний зварювальний апарат, механізми подачі зварювального дроту, флюсу чи захисного газу, всі необхідні блоки керування й інші вузли, підприємству необхідний інженер-конструктор і інженер-технолог, які, розрахувавши всі статичні та динамічні параметри, мають розробити і спроектувати недостаючі рамні конструкції, кріплення, способи прокладання кабелів і шлангів так, що підібране зварювальне обладнання мало змогу працювати на повну силу і з максимальною продуктивністю. Крім того, всі ці вузли потрібно виготовити, зібрати та налаштувати увесь комплекс, відпрацювати оптимальні режими зварювання та пройти контроль якості.

Сьогоднішні зварювальні процеси дозволяють успішно вирішувати завдання автоматичного підтримання незмінного стану зварювальної ванни, звільняючи тим самим зварювальника від потреби постійного стеження за процесом зварювання. Для реалізації процесів комплексної автоматизації зварювального виробництва зараз активно залучається комп'ютерне моделювання та комп'ютерне навчання операторів.

Відповідність зварювального обладнання завданням завтрашнього дня, зокрема, ефективної організації виробництва, є важливим допоміжним критерієм вибору системи автоматизації. Під час впровадження елементів автоматизації на підприємстві спочатку може бути побудована докладна комп'ютерна модель і тривимірна її анімація, яка детально відображає процес автоматизованого виробництва. Такий підхід дозволяє досягти наступних переваг:

- 1 - виявити та усунути “вузькі” місця, неефективні операції та потенційні проблеми безпеки праці;
- 2 - провести аналіз навантаження на оператора та виявити потенційний вплив його кваліфікації та втоми на якість та продуктивність праці;
- 3 - моделювання можливості переналагодження виробництва;
- 4 - проведення перевірки та корекції виробничого графіка та здійснення поопераційного хронометражу;
- 5 - порівняння різних варіантів розташування устаткування в цеху і оптимізація зайнятого простору;
- 6 - виявлення можливих проблем перетину траєкторій пальників, заготовок та систем маніпуляції виробами і заготовками;
- 7 - вивчення альтернативних варіантів організації виконання операцій.

1.5. Аналіз комплектації та технічних характеристик зварювальних маніпуляторів зі стрілою на колоні (зварювальних колон)

Зварювальні маніпулятори, які ще називають маніпуляторами зі стрілою на колоні, або зварювальними колонами, в більшості випадків комплектуються зварювальними апаратами для MIG/MAG або TIG зварювання. Вони можуть

бути трьох типів: радіально-позиційні, стаціонарні і стаціонарні поворотні. Їх, в основному, використовують для забезпечення виконання процесів високоточного зварювання. Основними складовими цих машин є колона, стріла, направляючий тримач і візок.



Рисунок 1.6 – Загальна схема зварювальної колони

За допомогою маніпуляторів з стрілою виконують зварювання як внутрішніх швів в деталях малого внутрішнього діаметру, так і зовнішніх швів на заготовках великого діаметру, кільцеві та поздовжні з'єднання.

Крім основних завдань, зварювальні маніпулятори можуть виконувати додаткові функції, такі як відстежування контура деталі та моніторинг процесу зварювання.

Особливості конструкції зварювальних маніпуляторів (колон) [22]:

- 1 - колона і стріла мають високу вантажопідйомність;
- 2 - для стабільного і плавного позиціонування стріли, колону обладнують гальмівним механізмом;
- 3 - колона має мати захисний пристрій, який дозволяє уникнути нещасних випадків при обриві привідного ланцюга;

4 - нижня частина маніпулятора з'єднується з його основою через поворотну опору, що забезпечує плавне і стабільне обертання, а також дає можливість зварювати кілька деталей одночасно;

5 - каретка з'єднує стрілу з колоною та забезпечує можливість її вертикального і горизонтального переміщення;

6 - стріла також може бути обладнана поперечним електроприводом для позиціонування зварювального пальника;

7 - для керування положення стріли застосовують перетворювачі безступінчастого регулювання швидкості, оснащені захисним механізмом контролю, який спрацьовує при виникненні перешкод;

8 - каретка має коробчасту форму. Її верхня частина з'єднана з підйомним механізмом, задня частина з колоною, а передня зі стрілою;

9 - привід переміщення стріли здебільшого здійснюють крокові двигуни, через гвинтові, черв'ячні або рейкові передачі.

До основних технічних характеристик зварювальних колон відносяться: максимальні горизонтальне та вертикальне переміщення (мм); кут повороту (мм); швидкість обертання (м/хв); швидкість підйому стріли (м/хв); швидкість руху стріли вперед (назад) (м/хв); відстань між направляючими столу (мм).

Колони можуть бути встановлені стаціонарно або на рейковий шлях. Їх габаритні розміри обмежуються максимальною робочою висотою підймання консолі (стріли) та її робочим вильотом. Серед основних габаритних розмірів зварювальних колон розрізняють робочі, технологічні та монтажні розміри.

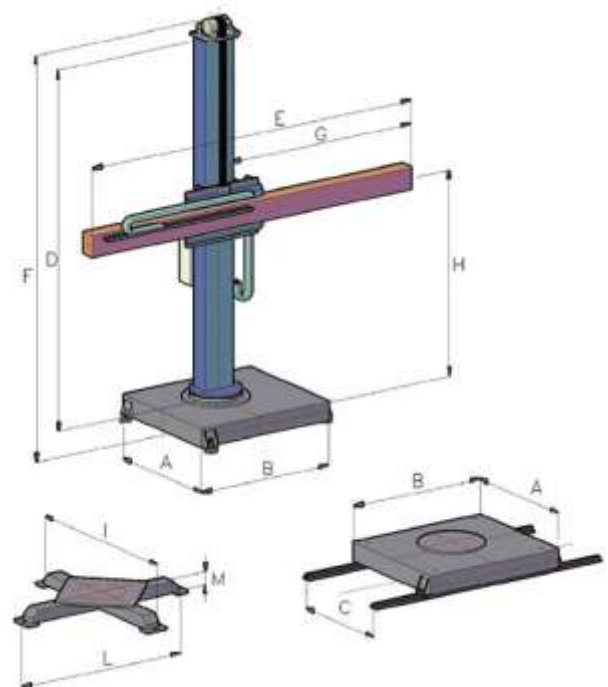
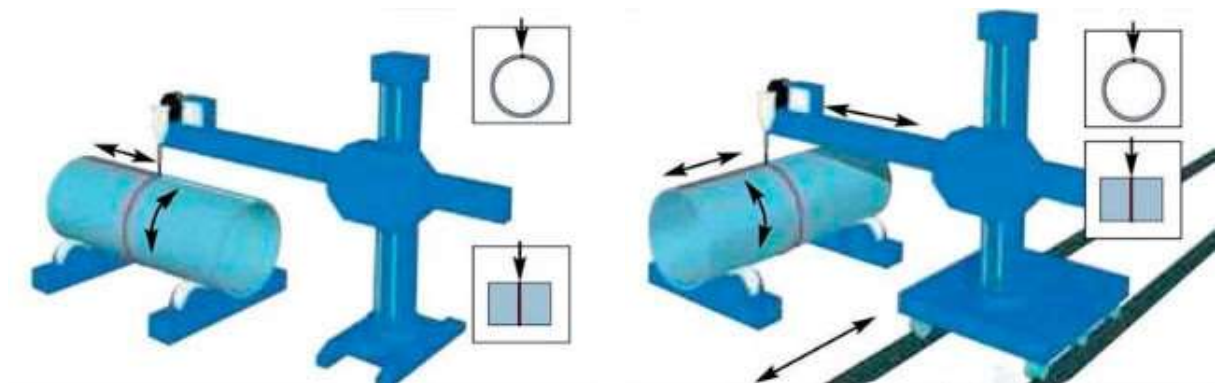


Рисунок 1.7 – Варіанти монтажу та габаритні розміри зварювальної колони

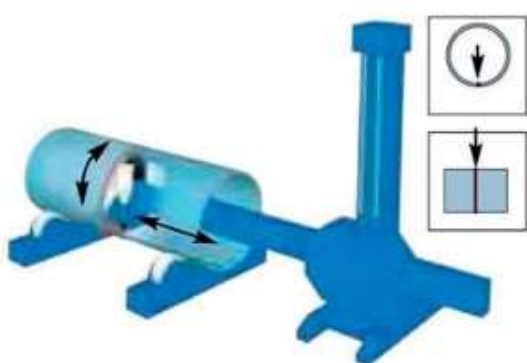
1.6. Приклади застосування зварювальних колон

Зварювальні колони використовуються для кріплення і подальшого транспортування зварювальних апаратів. За їх допомогою можна виконувати прямолінійні і кільцеві шви, причому форма зварюваних виробів при роботі зі зварювальними колонами не важлива. Вироби для зварювання можуть встановлюватись горизонтально на зварювальних столах або на роликових механізмах (кантувачах, обертачах).



Зварювання зовнішніх поздовжніх швів

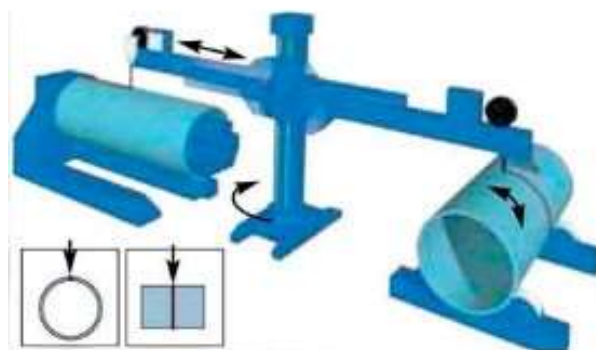
Зварювання з переміщенням на візку



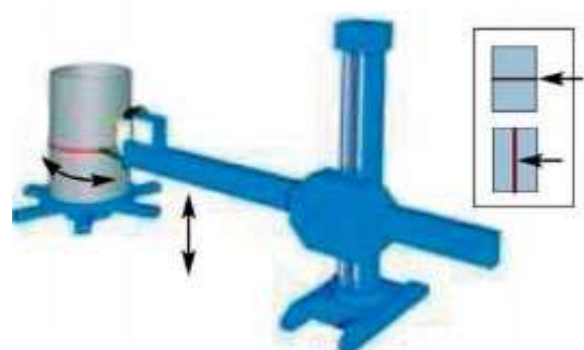
Зварювання внутрішніх поздовжніх і кільцевих швів



Зварювання спільно із зварювальними обертачами



Двостороння консоль (мультизварювання) для зварювання кільцевих і поздовжніх швів



Зварювання зовнішніх вертикальних і кільцевих швів на зварювальному обертачі

Рисунок 1.8 – Компоновки зварювальних установок з колонами

Зварювальні колони ідеально підходять для виготовлення ємностей, які працюють під тиском з нержавіючої й вуглецевої сталі та легких сплавів. Варіанти комплектації таких зварювальних колон наведені на рис. 1.9-1.11.



Рисунок 1.9 – Приклади використання колон для виготовлення ємностей

Колони можуть встановлюватися стаціонарно або на рейковій направляючій. За їх допомогою можна виконувати зварювання поздовжніх і кільцевих швів, як всередині так і зовні виробу.



Рисунок 1.10 – Приклади компоновки стаціонарних колон

Залежно від зварювального процесу і розміру зварного виробу зварювальні колони за розмірами і навантаженням на стрілу можуть бути наступних серій – XS, S, L, XL.

Зварювальний колона, встановлена нерухомо має індекс (F), а встановлена на рейках - (M).

При важкій та інтенсивній роботі рекомендується використовувати колони серії L, а під час зварювання великих ємностей XL.

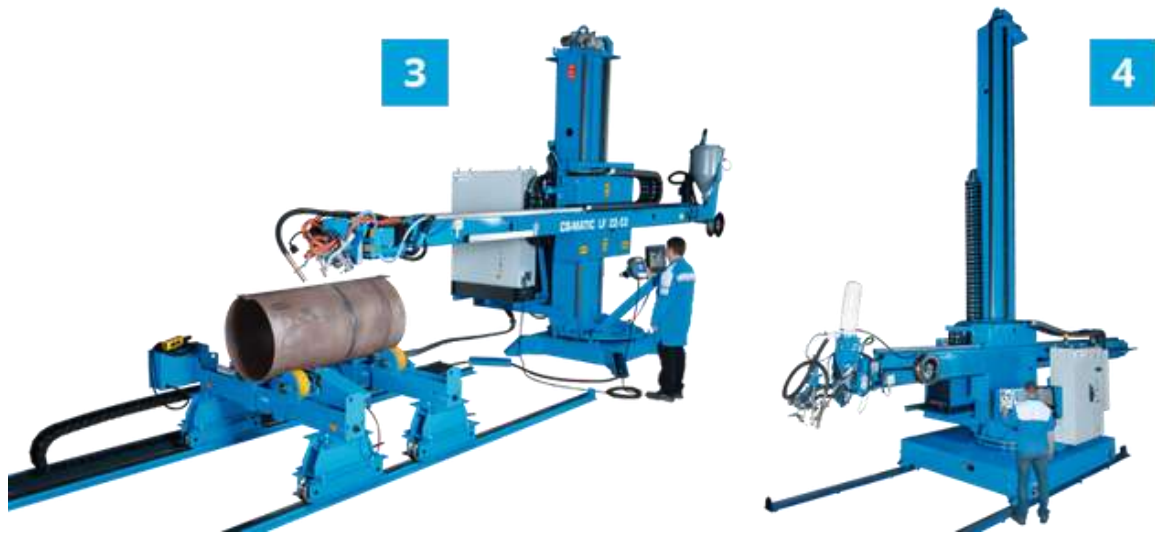


Рисунок 1.11 – Приклади компоновки рухомих колон

За технічними характеристиками визначають можливість використання зварювальних колон в умовах конкретного виробництва, намічають необхідні виробничі площі та габарити робочих зон.

Висновки за розділом

Процеси MIG/MAG зварювання мають найбільше поширення в автоматизованому зварювальному виробництві. Вони поширені як на підприємств важкої промисловості (суднобудівні підприємства, виробництво сталевих металоконструкцій, трубопроводів тощо) так і в умовах невеликих майстерень. Серед обладнання автоматизованого зварювання найбільш поширеними є зварювальні візки та колони, які використовуються для кріплення та переміщення зварювальних апаратів. До основних технічних характеристик автоматичних зварювальних установок відносять максимальні горизонтальне та вертикальне переміщення, кут та швидкість повороту, швидкість переміщення, відстань пальника до поверхні зварювання.

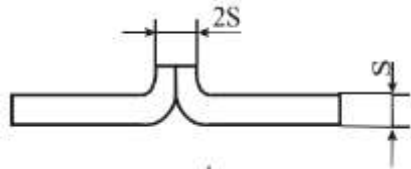
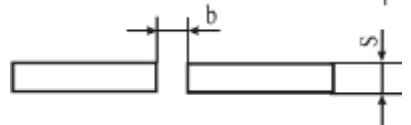
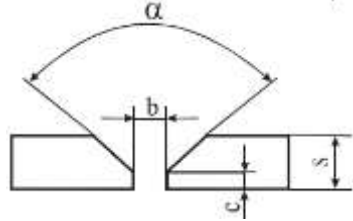
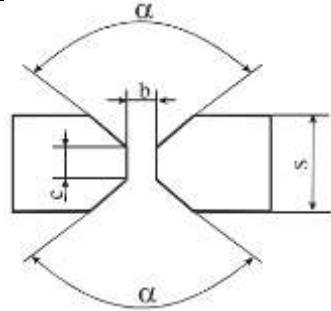
2. ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ MIG/MAG ЗВАРЮВАННЯ ЛИСТОВОЇ СТАЛІ

2.1. Характеристика стикових зварних з'єднань листової сталі

Проектування та розрахунок стикових зварних з'єднань починають з визначення необхідності та вибору виду підготовки зварних кромки зварюваних деталей, тому що від них залежить міцність з'єднання і витрата зварювальних матеріалів (електродного дроту). Вид та спосіб підготовки кромки залежить від типу зварного з'єднання (стикове, напускове, таврове або кутове) [20].

У табл. 2.1 показані конструктивні елементи обробки кромки та їх складання для зварювання. Основними геометричними параметрами тут є зазором b , притупленням кромки c та кутом обробки кромки α .

Таблиця 2.1 – Параметри стикових зварних з'єднань

Позначення шва	Схема з'єднання	Спосіб зварювання	
		Ручне дугове	Механізоване
C1		$S = 1 - 4$	$S = 0,5 - 4$
C2		$S = 1 - 4$ $b = 0 - 2$	$S = 0,5 - 6$ $b = 0 - 2$
C17		$S = 3 - 60$ $b = 2^{+1}_{-2}$ $c = 1 \pm 1$ $\alpha = 25 \pm 2^\circ$	$S = 3 - 60$ $b = 1 \pm 1 - 2^{+1}_{-2}$ $c = 1 \pm 1 - 2^{+1}_{-2}$ $\alpha = 20 - 30 \pm 2^\circ$
C25		$S = 8 - 120$ $b = 2^{+1}_{-2}$ $c = 1 \pm 1$ $\alpha = 25 \pm 2^\circ$	$S = 6 - 120$ $b = 1 \pm 1 - 2^{+1}_{-2}$ $c = 1 \pm 1 - 2^{+1}_{-2}$ $\alpha = 20 - 30 \pm 2^\circ$

Без обробки кромки зварюють метал обмеженої товщини (при односторонньому ручному зварюванні – до 4 мм). При більшій товщині необхідно обробляти кромки, що необхідно для доступу вглиб з'єднання.

Стандартний кут α обробки кромки, в залежності від способу зварювання та типу з'єднання становить від 60 ± 5 до 20 ± 5 градусів. Х-подібна розробка економічніша за V-подібну в 1,6 ... 1,7 рази, але менш зручна для зварювання, оскільки вимагає зварювання у стельовому положенні або кантування виробу.

Притуплення кромки зазвичай становить 2 ± 1 мм. Зазор найчастіше становить 1,5 ... 2 мм. Іноді він може дорівнювати нулю або досягати 8 ... 10 мм і більше, залежно від технології зварювання [15].

Для визначення площі поперечного перерізу шва слід мати на увазі, що після зварювання з'єднання може мати вигляд, показаний на рисунку 2.1.

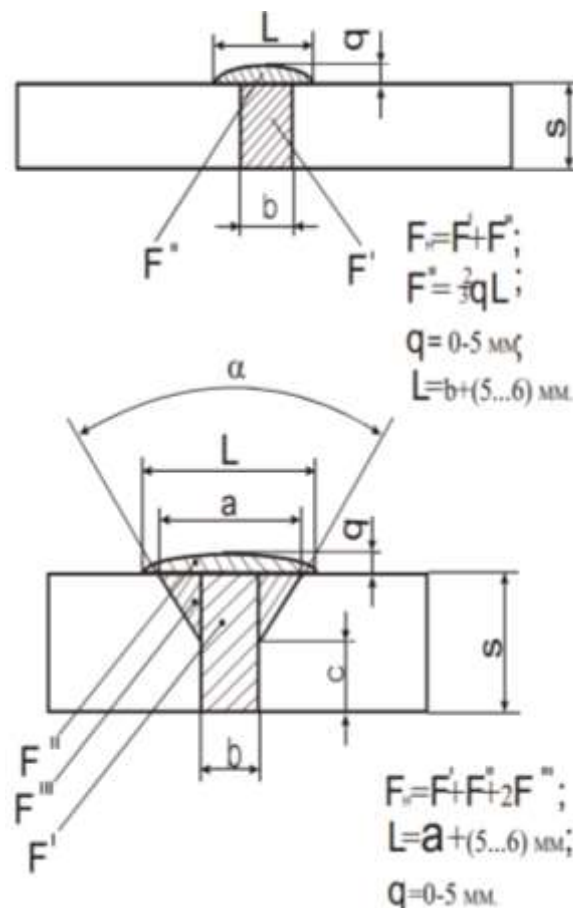


Рисунок 2.1 - Схеми для визначення площі поперечного перерізу стикового шва

Величину посилення шва q приймаються від 0 до 5 мм.

2.2 Рекомендації щодо техніки виконання стикових зварних з'єднань

Для отримання міцного зварювального стикового з'єднання автоматизована зварювальна установка повинна забезпечити оптимальні режими процесу зварювання, а саме необхідну величину зварювального струму, відповідну швидкість подачі зварювального дроту та витрату захисного газу. Крім цього необхідно витримувати постійними довжину зварювальної дуги та швидкість переміщення точки зварювання вздовж лінії формування зварного шва, правильне положення зварювального пальника відносно зварюваної поверхні.

Нижче наведені рекомендації щодо деяких прийомів зварювання стикових зварних швів (рис. 2.2).

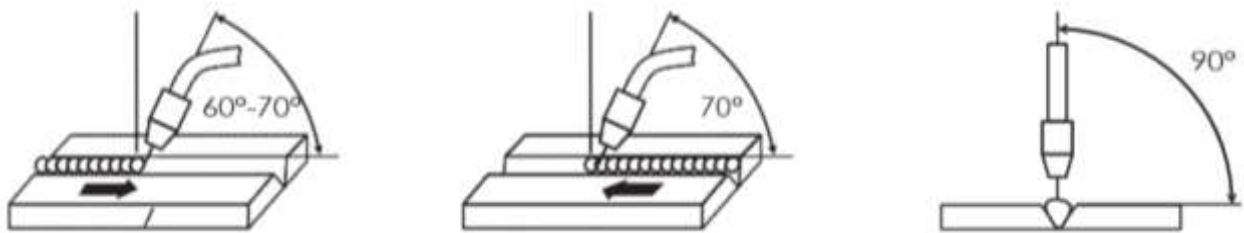


Рисунок 2.2 – Рекомендоване положення зварювального пальника під час виконання зварних швів стикових з'єднань у нижньому положенні

Значення напруги зварювання та швидкості подачі електродного дроту встановлюються може підбиратися дослідним шляхом в залежності від умов і методів процесу зварювання, товщини зварюваного матеріалу та інших факторів. В табл. 2.2 наведено приклад рекомендацій, які можуть надаватися виробниками зварювальних установок.

Таблиця 2.2 – Рекомендовані параметри зварювальних установок

Товщина металу, мм	Зазор, мм	Діаметр дроту, мм	Робоча напруга, В	Швидкість дроту, м/хв	Витрата газу л/хв
0,8	0	0,8	13–15	2,5–3,5	8–9
1,0	0	0,8	15–17	2,5–3,5	8–10
1,2	0	0,8	17–18	2,5–4,5	10–12
1,6	0	0,8	18–19	3,5–5,5	10–15
2,0	0–0,5	1,0	19–20	5,5–7,5	10–15
2,3	0,5–1,0	1,0	20–21	6–7,5	10–15
3,0	0,5–1,0	1,0	21–22	7,5–9	10–15

Пропоновані виробниками рекомендації можуть мати наближений характер і не бути точними. Оператори зварювальних установок можуть користуватися ними під час попередніх налаштувань параметрів і режимів зварювання. Кінцеві ж значення параметрів процесу приймаються за результатами виконання пробних швів та після додаткових налаштувань.

Приклади можливих варіантів зварних швів (наплавлених валиків), за якими оцінюють ефективність роботи та якість налаштування зварювального обладнання показані на рис. 2.3 [4].

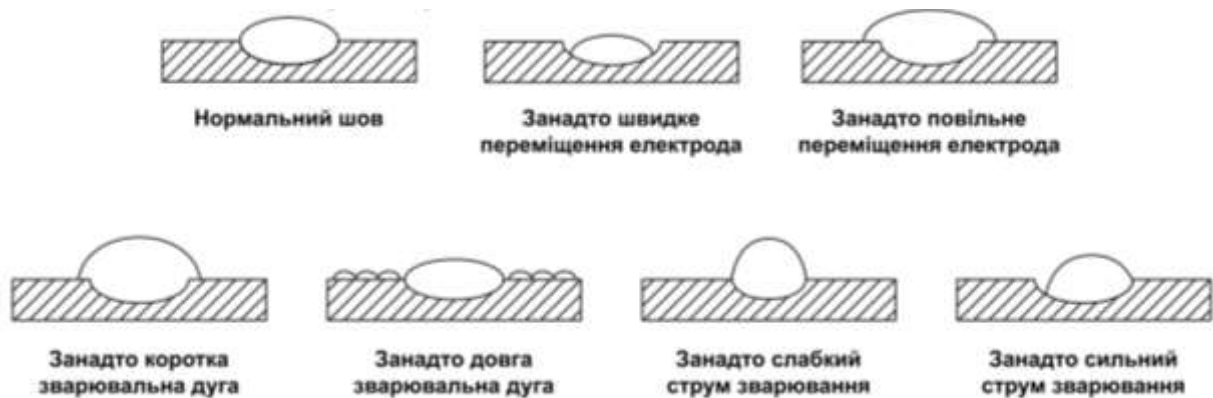


Рисунок 2.3 – Основні види помилок, які можуть виникати під час MIG/MAG зварювання

Причини появи в процесі автоматичного зварювання наведених вище помилок можна поділити на два основних види: перші з них залежать від налаштування обладнання для автоматичного переміщення зварювальних головок, пальників та маніпуляції зварювальними виробами; другий вид помилок може з'являтися через неправильне налаштування зварювальних джерел живлення, механізмів подачі дроту, газу чи флюсу.

2.3. Аналіз можливих процесів перенесення присадного металу

Процес перенесення присадного металу – це явище, за допомогою якого розплавлений метал електрода переноситься у зварювальну ванну. Існує чотири основних види перенесення металу: коротке замикання, крупнокрапельне перенесення, розпилення та імпульсно-дугове перенесення. Перехід від одного

методу до іншого можливого шляхом простої зміни параметрів джерела живлення або, в деяких випадках, зміни захисного газу [29, 34]. Він також залежить від виду захисного газу, напруги дуги, зварювального струму, діаметра електрода, його складу та товщини матеріалу [34].

Перенесення коротким замиканням є найпоширенішим процесом у MIG/MAG зварюванні [34]. Воно відбувається при низьких струмах та низьких напругах, а також при використанні CO_2 . Цей процес показано на рисунку 2.4.

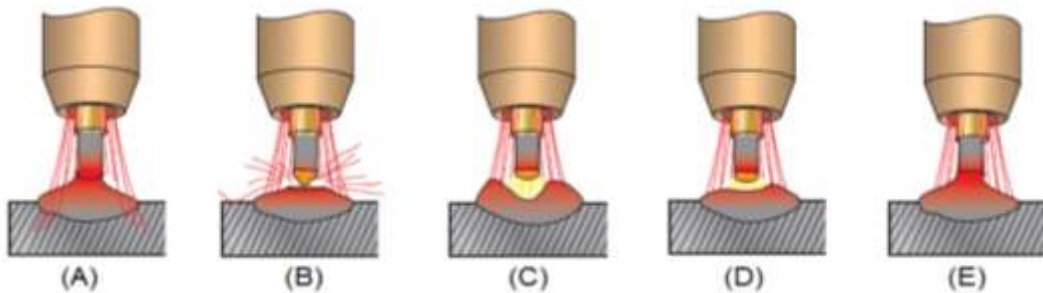


Рисунок 2.4 - Перенесення металу коротким замиканням при MIG/MAG зварюванні

В процесі зварювання кінець електрода торкається (коротко замикає) зварювальної ванни (рис. 2.4,A), гасячи дугу та значно зменшуючи її опір. Оскільки опору більше немає, значення струму зростає, і він тече від кінця електрода до розплавленої зварювальної ванни. У цей момент і електрод, і розплавлений метал мають дуже високу температуру. Поєднання високого струму та високого опору нагріває кінець електрода до температури, за якої відбувається невеликий мікровибух (рис. 2.4,B), який знову запалює дугу. Крапля розплавленого металу виходить з кінця електрода на заготовку, утворюючи зазор між нею і електродом (рис. 2.4,C).

Коли дуга відновлюється, система знову має опір, тому напруга знов зростає, а струм спадає. Оскільки за таких умов струм низький, тепла недостатньо, щоб розплавляти кінець електрода з такою ж швидкістю, якою його подає механізм подачі. В результаті він рухається вперед, скорочуючи довжину дуги (рис. 2.4,D), і кінець електрода знову торкається розплавленої ванни (рис. 2.4,E), перезапускаючи цикл.

Різниця між коротким замиканням та крупнокрапельним переносом полягає у збільшенні значень напруги та струму. Основною характеристикою такого переносу металу є розмір краплі, який є більший за діаметр кінця електрода (рис. 2.5). Гравітація відіграє важливу роль у переносі крапель, що робить його дуже нестабільним. Оскільки контроль над краплею обмежений, цей процес має, як правило, обмежене застосування. Дуга зазвичай гучна та нестабільна. Також спостерігається велика кількість бризок [27, 29].

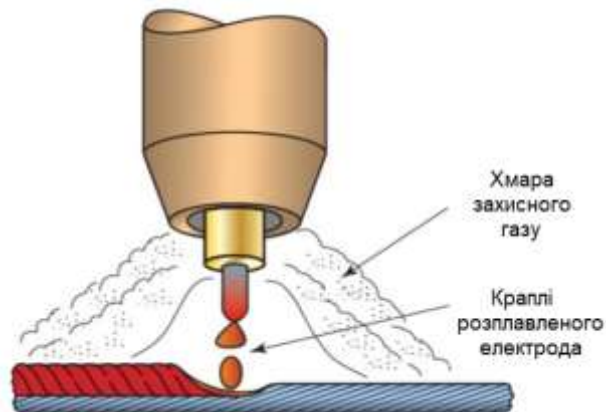


Рисунок 2.5 - Крупнокрапельний перенос металу в MIG/MAG зварюванні

При дрібнокрапельному (розпилювальному) переносі дуже дрібні краплі металу переносяться з електрода в розплавлену зварювальну ванну, при цьому не створюють коротких замикань у дузі, що призводить до меншої кількості бризок. Цей процес відбувається при високих струмах і напругах (вищих, ніж у режимах короткого замикання та крупнокрапельного зварювання), та відбувається з використанням інертними газами та їх сумішей [27, 29, 31].

Цей процес забезпечує глибоке проникнення, високу швидкість наплавлення та високу стабільність дуги. Крім того, оскільки краплі дуже дрібні, електромагнітні ефекти мають більший вплив, ніж гравітація, дозволяючи спрямовувати краплі поперек дуги в будь-якому напрямку. Ці характеристики дозволяють зварювати алюміній та магній у вертикальному або верхньому положеннях [25, 27].

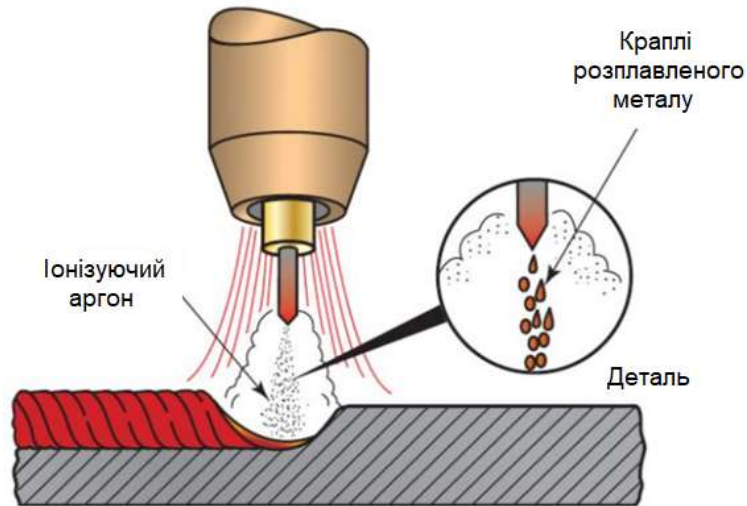


Рисунок 2.6 - Перенесення металу розпиленням у MIG/MAG зварюванні

Імпульсне дугове перенесення з'явилося як рішення обмежень режиму перенесення металу розпиленням. Оскільки дрібнокрапельне перенесення забезпечує глибоке проникнення, воно може пропалювати тонкі метали. Крім того, висока швидкість наплавлення створює велику зварювальну ванну, яка може не утримуватися поверхневим натягом, коли зварювання відбувається у вертикальному або верхньому положенні [26, 34].

Імпульсне дугове перенесення здійснюється за допомогою точно контрольованих форм хвиль та частот пульсації струму і напруги. Це подвійний імпульсний струм. Один імпульс відноситься до високого струму, що забезпечує режим розпиленого перенесення. Інший імпульс має низький струм, і перенесення крапель відсутнє [26, 34]. В деяких джерелах такий режим називається «Синхропульс»

2.4. Енергія зварювання та підведення тепла

В процесі MIG/MAG зварювання до плавкого електрода необхідно підводити необхідну кількість електроенергії, яка б забезпечувала оптимальні значення щільності зварювального струму, створювала достатню для плавлення металу теплову дію. Кількість тепла, яка утворюється в процесі горіння електричної дуги є відносною мірою кількості енергії, яка передається на

одиницю довжини зварного шва. Це важлива характеристика процесу зварювання, оскільки вона впливає на швидкість охолодження шва, що може впливати на його механічні властивості та структуру металу зварного шва і зони термічного впливу (ЗТВ) (рис. 2.7).

Кількість утвореного тепла зазвичай розраховується як відношення потужності до швидкості зварювання: [28]

$$Q = \frac{60 \cdot U \cdot I}{1000 \cdot V} \cdot \eta, \quad (2.1)$$

де Q – кількість підведеного тепла (кДж/мм);

U - зварювальна напруга (В);

I - зварювальний струм (А);

V - швидкість зварювання (мм/хв);

η - коефіцієнт корисної дії, який для апаратів MIG/MAG становить 0,8 [26].



Рисунок 2.7 – Графіки впливу тепловкладень на швидкість охолодження

Наведене вище рівняння (2.1) корисне для порівняння різних процесів зварювання. Якщо кількість підведення тепла збільшується, то швидкість охолодження зменшується для заданої товщини основного металу. Ці дві змінні взаємодіють з іншими, такими як товщина матеріалу, його теплоємність, густину та теплопровідність [28]

Темпопровідність основного матеріалу відіграє велику роль для зони термічного впливу. Якщо коефіцієнт дифузії високий, швидкість охолодження

матеріалу також висока, а ЗТВ відносно мала. І навпаки, низький коефіцієнт дифузії призводить до повільнішого охолодження та більшої ЗТВ [35].

Порівняємо спосіб звичайним методу MIG/MAG зварювання та модифікованими методами зварювання з короткою дугою. Якщо розглядати звичайні методи MIG/MAG та модифіковані методи MIG/MAG з короткою дугою, їх основні відмінності полягають у тому, що модифіковані методи MIG/MAG зварювання з короткою дугою мають менше тепловкладення порівняно зі звичайним методом зварювання завдяки можливості впливу та контролю за струмом на електроді під час кожної фази процесу зварювання. Зменшене тепловкладення дозволяє забезпечити низькі значення теплових деформацій деталі та вищу точність її виготовлення [37]. Якщо швидкість подачі дроту та швидкість переміщення пальника в автоматичному процесі зварювання підтримуються однаковою для заданої довжини заготовки, то оцінку тепловкладень можна зробити, застосувавши формули (2.1).

Задамо для синергетичного імпульсного методу наступні значення параметрів процесу зварювання: швидкість руху $V = 13 \text{ мм/с} = 780 \text{ мм/хв}$; напруга $U = 14 \text{ В}$, зварювальний струм $I = 110 \text{ А}$; коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,8$. Підставивши ці значення в рівняння для визначення тепловкладень (Q), отримали їх значення $Q = 0,095 \text{ кДж/мм}$.

Для стандартного методу MAG зварювання швидкість зварювання становила $V = 13 \text{ мм/с} = 780 \text{ мм/хв}$; напруга $U = 15,6 \text{ В}$, зварювальний струм $I = 113,5 \text{ А}$; коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,8$. Розраховане значення тепловкладень для даного методу становить $Q = 0,109 \text{ кДж/мм}$.

Для методу Fast ROOT (швидкого зварювання) напруга становила $U = 14,9 \text{ В}$, а зварювальний струм $I = 90 \text{ А}$. Інші параметри були такі ж, як і в попередніх дослідах. За таких умов значення отриманих тепловкладень для даного методу становитимуть $Q = 0,082 \text{ кДж/мм}$.

Площа деталі, яка піддається нагріву, найменша при використанні модифікованого методу короткодугового та методу Fast ROOT, порівняно з використанням традиційного MAG зварювання, тому деформація зварних деталей також буде набагато меншою. Різниця складає майже 25% менше, в

порівнянні з традиційним MAG зварюванням, і приблизно 14%, в порівнянні з використанням синергетичного імпульсного методу.

2.5. Вплив корекції дуги на параметри зварних швів

Для досягнення хороших результатів MIG/MAG зварювання низкою вчених рекомендується підтримувати постійну довжину зварювальної дуги на всій протяжності зони зварювання. Системи внутрішнього регулювання сучасних зварювальних джерел живлення забезпечують постійну довжину зварювальної дуги, підтримуючи при цьому жорстку або плавно спадаючу вольт-амперну характеристику. За таких умов, при зміні сили зварювального струму напруга на дузі майже не змінюється [3, 4].

Сучасні установки для механізованого та автоматичного зварювання здатні підтримувати процес горіння дуги «самокориговальним». Це означає, що система керування джерелом живлення та механізмом подачі зварювального дроту здатна змінювати свої параметри та підтримувати однакову довжину дуги протягом усього процесу зварювання. Так, наприклад, коли була встановлена необхідна напруга зварювання, а апарат виявляє зміну довжини дуги, він автоматично вносить зміни в значення струму, що впливає на швидкість плавлення електрода, і, як наслідок, регулює довжину дуги до того часу, поки апарат знову не виявить початкову задану напругу [38].

У зварювальних апаратах фірми Fronius функція системи внутрішнього регулювання полягає в тому, що робоча точка зварювальної дуги, а разом з нею й відповідні значення її напруги та швидкості подачі дроту вибираються на початку зварювання і витримуються постійними протягом всього процесу (рис. 2.8, позиція 3). При зміні відстані між соплом зварювального пальника та деталлю відбувається зміна опору дуги (рис. 2.8, позиції 2 і 4). Тоді система внутрішнього регулювання автоматично підтримує постійну довжину дуги шляхом регулювання сили струму [22].

Більшість сучасних зварювальних апаратів працюють в синергетичному режимі. Це значить, що для налаштування режиму зварювання оператору

достатньо встановити один із цих параметрів процесу, а інші будуть налаштовані автоматично [23, 24].

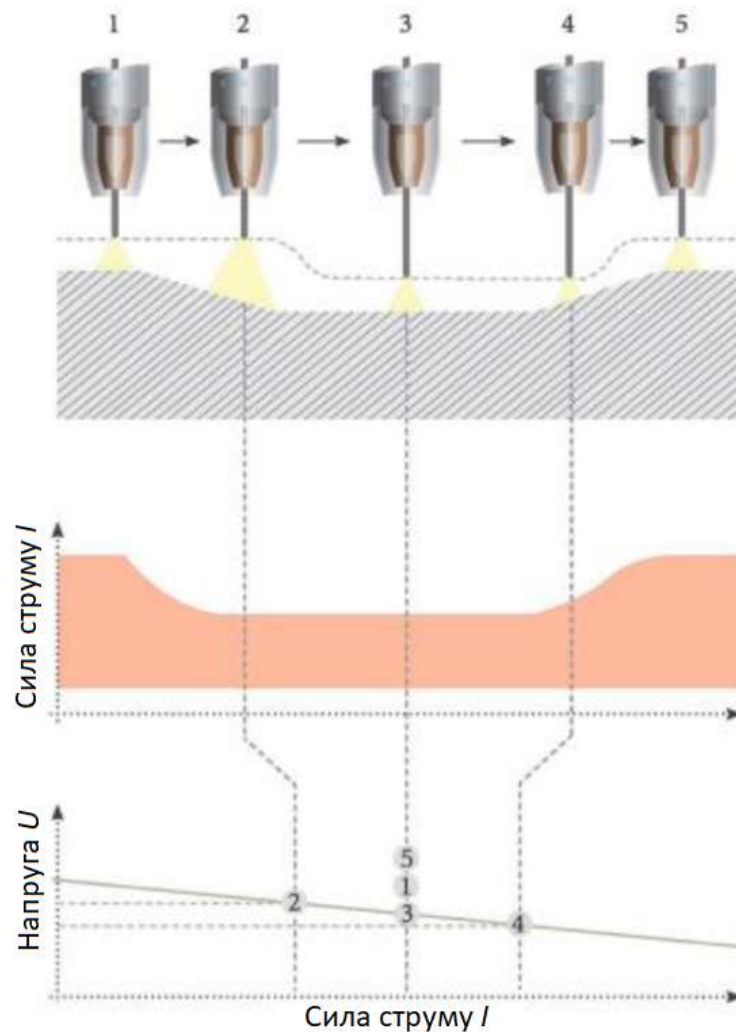


Рисунок 2.8 – Схема системи внутрішнього регулювання довжини дуги

Для досягнення оптимальних результатів зварювання подекуди під час зварювання необхідно корегувати процесом змінюючи додаткові його параметри, зокрема, змінювати довжину дуги. Так, для корекції довжини дуги у зварювальних півавтоматах Fronius можна вибрати функцію «Корекція довжини дуги» та змінювати її довжину. Даний параметр можна встановлювати зі значеннями (-) – менша довжина дуги, (0) – без корекції довжини дуги (задана внутрішнім регулюванням) та (+) – більша довжина дуги [39].

Під час експериментальних досліджень впливу корекції дуги на інші параметри роботи зварювального півавтомата Fronius TPS 2700 CMT [24] було встановлено, що вона не впливає на значення струму зварювання та подачі

електродного дроту. Корекція дуги відображається тільки на значеннях напруги, про що свідчать криві на рис. 2.9.

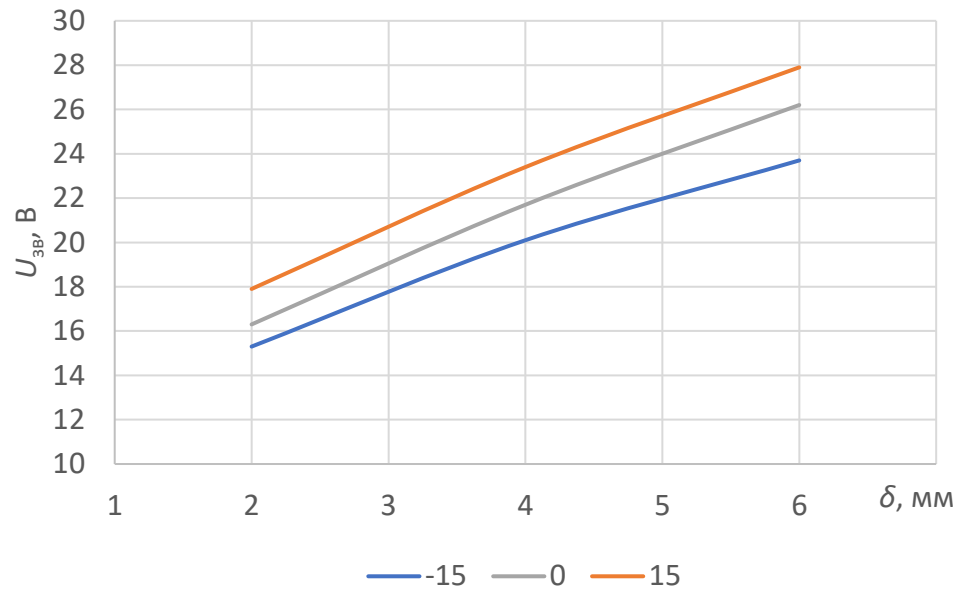


Рисунок 2.9 – Залежності напруги зварювання від корекції дуги

Також було встановлено, що корекція дуги впливає на якість процесу зварювання. Дані [23] свідчать, що мінусові значення корекції дуги відповідають меншим значенням напруги на дузі та дозволяють отримувати гладкіший, менш випуклий шов. Розбризкування металу при цьому мінімальні і характеризуються не значними дрібними бризками. При додаткових значеннях корекції дуги напруга зварювання зростала, а шов ставав більш нерівномірним по ширині та висоті. Процес зварювання при цьому супроводжувався розбризкуванням крупніших крапель розплавленого металу.

Висновки за розділом

Для отримання міцного зварювального з'єднання автоматизована зварювальна установка повинна забезпечити оптимальні режими процесу зварювання, зокрема витримувати постійними довжину зварювальної дуги та швидкість переміщення зварювального пальника. Також встановлено, що корекція дуги впливає на якість процесу зварювання.

3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних досліджень процесу автоматичного MIG зварювання листової сталі розроблена для визначення оптимальних параметрів процесу зварювання та передбачала виконання кількох завдань:

1. Проаналізувати технологію MIG/MAG зварювання металів;
2. Проаналізувати стань питання автоматизації процесів зварювання;
3. Визначити конструктивні параметри стикових зварних з'єднань, які впливають на налаштування зварювального обладнання;
4. Визначити параметри процесу автоматичного зварювання, які впливають на якість зварних з'єднань;
5. Підібрати необхідне обладнання та сформулювати експериментальну установку.
6. Виконати зварювання зразків стикових з'єднань листової сталі на різних режимах роботи зварювального обладнання;
7. Оцінити вплив режимів автоматичного зварювання на якість зварних швів;
8. Обґрунтувати оптимальний режим процесу автоматичного зварювання листової сталі.

Експериментальні дослідження планується проводити з використанням сучасного зварювального обладнання фірми Fronius, яке дозволяє виконувати MIG/MAG зварювання в режимах Standart, Pulse та Synchro Pulse. Ці режими дозволяють здійснювати зварювання короткою дугою, коли відрив краплі розплавленого металу електродного дроту відбувається в момент короткого замикання, перехідною дугою, коли крапля на кінці електродного дроту є більшою і також переноситься у зварювальну ванну під час короткого замикання, та крапельною дугою, коли перенесення розплавленого матеріалу відбувається при високій потужності без короткого замикання.

3.2. Обладнання для експериментальних досліджень

3.2.1. Загальна будова зварювальної установки

Для виконання технологічного процесу автоматичного зварювання листової сталі була створена зварювальна установка, яка складалася із зварювального апарату CMT 4000 Advanced (1), обладнаного механізмом подачі електродного дроту VR 7000 CMT (2) та пультом дистанційного керування RCU 5000i (3), оснащеним пальником Robacta Drive CMT (6) та 6-ти метровим шланговим пакетом Fronius ROBOTER BRENNER з дротовим буфером (7).



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд зварювальної установки для наплавлення

Під час автоматичного зварювання необхідно було використовувати рівномірне переміщення зварювального пальника вздовж зварних кромок у зварювання. Рівномірна та постійна швидкість переміщення пальника забезпечує утворення рівного валика зварного шва та достатню глибину проплавлення

кромок. При розробці кромок деталей можуть виконуватись коливання пальником із заданою амплітудою та частотою.

Для переміщення пальника по заданій траєкторії його руху використовувався зварювальний візок Fronius FlexTrack 45 Pro (4) з пультом дистанційного керування (5) (див. рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Візок FlexTrack 45 Pro для переміщення пальника з пристроєм маятникового коливання FOU 30/ML10 та пультом керування FRC-45 Pro

Візок також оснащений модулем для маятникового переміщення пальника (рис. 3.2), який може працювати в чотирьох різних режимах коливального руху.

3.2.2. Характеристика зварювального апарату CMT 4000 Advanced

Для досліджень технологічного процесу автоматичного зварювання листової сталі використовується зварювальний апарат інверторного типу CMT 4000 Advanced від фірми Fronius. Поряд із традиційною технологією MIG/MAG зварювання, зварюванням стрижневим електродом та процесом CMT джерело струму CMT 4000 Advanced підтримує вдосконалений процес CMT Advanced.

Принцип функціонування процесу CMT Advanced ґрунтується на застосуванні комбінованої дуги з циклами CMT негативної полярності та циклами CMT чи імпульсними циклами позитивної полярності. Особливостями даного процесу є цілеспрямований тепловий вплив, більш висока потужність впливу, покращена можливість перекриття, точний відрив крапель та висока стабільність дуги.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд зварювального апарата CMT 4000 Advanced

Зварювальний апарат CMT Advanced підходить для з'єднання дуже тонких листів з великою здатністю перекривати, зварювання високоміцних сталей з невеликим тепловим впливом, точкового зварювання, зварювання кореня шва без підкладки та паяння міцних та високоміцних сталей

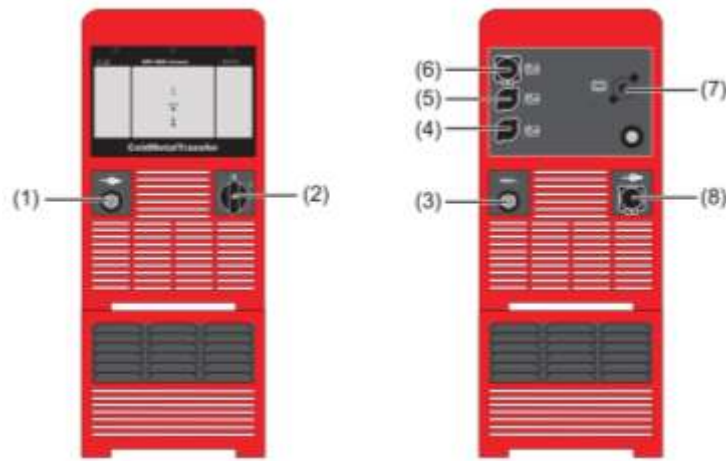


Рисунок 3.3 – Елементи джерела живлення CMT 4000 Advanced

1 - роз'єм підключення кабелю маси; 2 - мережевий вимикач; 3 - гніздо з байонетним з'єднанням для підключення; 4, 5 – заглушка; 6 - роз'єм LocalNet; 7 - Роз'єм LHSB (LocalNet High-Speed-Bus); 8 - мережний кабель

Технічні характеристики джерела живлення CMT 4000 Advanced наведені в таблиці 3.1 [39].

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики джерела живлення CMT 4000 Advanced

Параметр	Значення / характеристика
1	2
Напруга мережі	3 x 400 В
Допуск за напругою мережі	+/- 15%
Частота мережі	50/60 Гц
Мережевий запобіжник	35 А, інерційний
Підключення до мережі ¹	Можливі обмеження
Первинний експлуатаційний струм	100% ПВ ²
Первинна експлуатаційна потужність	15 кВт
cos φ	0,99
Діапазон зварювального струму	
MIG/MAG	3 – 400 А
ММА	10 – 400 А

Зварювальний струм при 40 % ПВ ² 60% ПВ 100% ПВ ²	400 А 360 А 300 А
Діапазон зварювальної напруги MIG/MAG MMA	14,2 – 34,0 V 20,4 – 36,0 V
Напруга холостого ходу	90 V
Клас захисту	IP 23
Вид охолодження	AF
Клас ізоляції	F
Клас випромінювання ЕМС	A
Знак відповідності нормам	CE
Маркування безпеки	S
Розміри Д x Ш x В	625 x 290 x 705 мм
Маса	54,2 кг
ККД джерела струму при 400 В	42,9 Вт
Енергоспоживання в неробочому стані при 400 А /36 В	86 %

¹ До електромережі загального користування 230/400 В та 50 Гц.

² ПВ = тривалість включення.

3.2.3. Методика налаштування параметрів роботи зварювального джерела

Налаштування параметрів роботи зварювального джерела CMT 4000 Advanced здійснювали за допомогою пульта дистанційного керування RCU 5000i (рис. 3.4).

Пристрій дистанційного керування RCU 5000i призначений для використання з усіма зварювальними джерелами серій TransSynergic та TransPulsSynergic. Він забезпечує доступ до всіх функцій джерела струму. Крім

цього, в ньому доступні додаткові можливості, наприклад, оптимізація показників зварювання.

Пульт RCU 5000i оснащений рідкокристалічним дисплеєм. У поєднанні зі зрозумілим меню це забезпечує хорошу зручність експлуатації. До джерела струму підключення пульта керування здійснюється за допомогою роз'єму LocalNet.



Рисунок 3.4 - Пульт
дистанційного керування
RCU 5000i

Пристрій дистанційного керування RCU 5000i використовується для наступних цілей:

- експлуатація та програмування джерела струму, завдання попередніх налаштувань;
- роботизоване зварювання;
- ручне зварювання з використанням джерел струму, оснащених дистанційною панеллю керування.

Його перевагами є чітка структура меню, просте та логічне управління, наявність 180 попередньо запрограмованих показників зварювання у режимі Synergic, можливість оптимізації показників зварювання, просте програмування завдань, можливість збереження до 1000 завдань, управління доступом користувачів за допомогою карти-ключа, моніторинг параметрів зварювання за допомогою функції Q-майстер, наявність роз'єму LocalNet, підтримка інтерфейсу USB для оновлення програмного забезпечення.

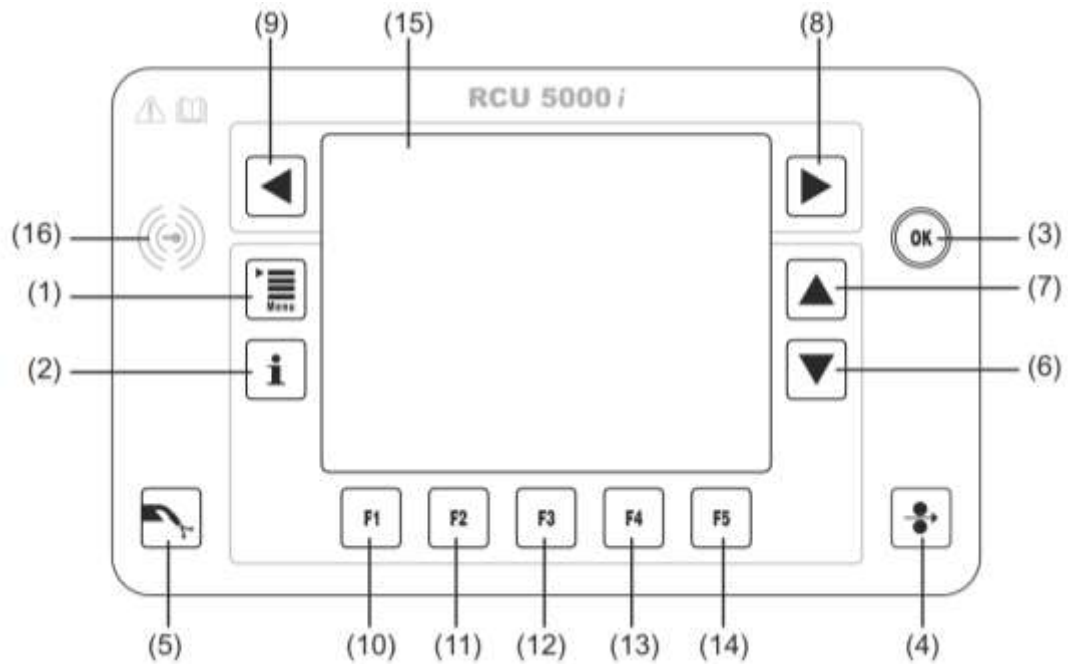


Рисунок 3.5 - Панель керування пульта RCU 5000i

Усі елементи керування пульта RCU 5000i можна умовно поділити за їх функціональним призначенням.

Клавiшi операцiй: 1 - клавiша виклику головного меню; 2 - клавiша виклику контекстно-залежної iнформацiї; 3 - клавiша ОК для пiдтвердження дiалогiв меню, якi попереджуючих питань тощо; 4 - клавiша «Подача дроту» для протягування зварювального дроту без увiмкнення подачi захисного газу чи електричного струму; 5 - клавiша «Перевiрка газу» для перевiрки потоку газу.

Клавiшi навігацiї: 6 - клавiша зi стрiлкою вниз, щоб прокручувати список; 7 - клавiша зi стрiлкою вгору, щоб прокручувати список; 8 - клавiша зi стрiлкою вправо для прокручування вбiк (наприклад, панелi вкладок); 9 - клавiша зi стрiлкою влiво для прокручування вбiк.

Функцiональнi кнопки для виконання рiзних функцiй: 10 - функцiональна клавiша F1; 11 - функцiональна клавiша F2; 12 - функцiональна клавiша F3; 13 - функцiональна клавiша F4; 14 - функцiональна клавiша F5; 15 - чорно-бiлий дисплей; 16 - зчитувач картки-ключа для пiдтвердження рiзних прав доступу за допомогою картки-ключа. Поточна функцiональна клавiша позначена позначкою на дисплеї, розташованой безпосередньо над нею.

Клавіша ОК 3 допомагає користувачу використовувати різні функції, вибраних за допомогою функціональних клавіш. Якщо функція, що відповідає функціональній клавіші, позначена рамкою, її можна вибрати, натиснувши ОК.

Пристрій дистанційного керування RCU 5000i під час роботи відображає різні екрани. Ці екрани, викликаються за допомогою меню. Для виклику екрана слід натиснути кнопку Menu. Після її натискання усі відкриті діалоги закриваються без підтвердження, за винятком майстрів.



Рисунок 3.6 – Приклад екрану «Дані»

- 1 - буквенный идентификатор экрана; 2 – операция; 3 - зварювальний струм;
 4 – користувач; 5 - заголовок екрана; 6 - зварювальна напруга; 7 - товщина листа; 8 - дата; 9 – час; 10 - присадковий матеріал, діаметр дроту, захисний газ;
 11 - рядок інформації; 12 - панель вкладок з екранами A-E; 13 - область вимірювання; 14 - список параметрів зварювання; 15 – призначення функціональних клавіш: - F1 "Зберегти як job"; - F2 «Створення нової характерної точки»; - F3 «Оптимізація характеристик»; - F4 «Присадковий матеріал»; - F5 «Внутрішній/Зовнішній»

Екран "Майстер" - це послідовність екранів введення даних з підказками. Користувач може переміщатися їх вперед та назад у межах послідовності. Майстер містить свій набір екранів.

Екран «Дані» відображається під час вибору головного меню. Кожен екран "Дані" містить панель вкладок. Один пункт меню може містити кілька різних екранів даних. Використовуючи певні функції джерела струму чи налаштування параметрів, до панелі вкладок можна додавати додаткові екрани. Вони дозволяють налаштовувати та переглядати параметри процесу зварювання. Усі вони представляються у вигляді списку. Вибір потрібного параметра здійснюється за допомогою навігаційних клавіш зі стрілками вгору та вниз. Значення параметрів налаштовуються за допомогою регулювальної ручки.

3.2.4. Характеристика зварювального візка

Зварювальний візок FlexTrack 45 Pro використовується для автоматичного та механізованого орбітального зварювання лінійних та кільцевих швів. Це компактний зварювальний візок, який можна використовувати для виконання широкого спектру завдань завдяки наявності у його комплектації кількох різновидів рейок. Він ідеально підходить для виконання зварювальних робіт у будь-якій галузі машинобудування, де трапляються поверхні з різною геометрією поверхні [22].



Рисунок 3.7 - Зварювальний візок FlexTrack 45 Pro для орбітального зварювання

Обладнання FlexTrack 45 Pro відзначається своєю універсальністю, що дозволяє використовувати його для зварювання як поздовжніх так і орбітальних швів з високою швидкістю та якістю.



Рисунок 3.8 – Функціональні особливості зварювального візка FlexTrack 45 Pro

Завдяки використанню модульних рейок можна досягти можливості виконання зварювальних робіт на площинах різної геометрії. До переваг даної системи можна віднести швидке та легке налагодження її рейок і візка, точність переміщення та постійну швидкість зварювання, які в поєднанні з режимами джерелами живлення дозволяють забезпечувати ідеальну якість формування зварних з'єднань.

Керування зварювальним візком FlexTrack 45 Pro здійснювали за допомогою пульта дистанційного керування FRC-45 PRO.



Рисунок 3.9 – Пульт FRC-45 Pro
дистанційного керування
зварювальним візком

Пульт FRC-45 Pro простий у використанні та сумісний із старішими версіями візків FlexTrack. Він оснащений цифровим дисплеєм, на якому відображаються параметри процесу (метричні/британські одиниці).

Він зручний в користуванні та ідеально пристосований для роботи з джерелами живлення TPS/i. В меню пульта можна вибирати 5 мов (німецька, англійська, іспанська, французька, польська). За його допомогою можна задавати наступні параметри процесу зварювання:

- режим зварювання (переміщення зі зварювальною дугою / без зварювальної дуги);
- взаємодія з джерелами живлення;
- регульовані параметри джерела живлення;
- напрям переміщення;
- швидкість переміщення;
- зміщення дуги;
- режим коливального руху, швидкість коливального руху, траєкторія коливального руху, час витримки;
- функція заварювання кратера;
- керування довжиною дуги (керування струмом зварювальної дуги);
- сегментне зварювання орбітальних і повздовжніх швів.

Для переміщення пальника в процесі зварювання та задачі траєкторії руху візок Fronius FlexTrack 45 Pro оснащений модулем для маятникового переміщення пальника (рис. 3.10,а), який може працювати в чотирьох різних режимах коливального руху (рис. 3.10,б). Модулі для лінійного і радіального маятникового переміщення можуть забезпечувати лівостороннє і правостороннє переміщення, залежно від потреби. Радіальний коливальний рух використовується, зокрема, для зварювання кутових швів.

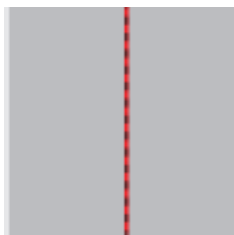
В процесі зварювання пристрій переміщення пальника FOU 30/ML10 може забезпечувати поперечні коливання електрода перпендикулярно до напрямку переміщення візка. Це сприяє утворенню рівного широкого валика та задану глибину проплавлення.



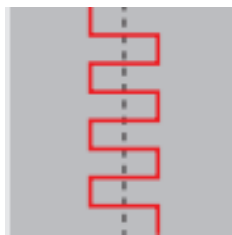
Рисунок 3.10 – Пристрій лінійного маятникового переміщення пальника FOU 30/ML10 (а) FOU 30/ML6 (б)

ЛІНІЙНОГО КОЛИВАННЯ

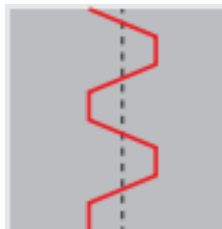
РАДІАЛЬНОГО КОЛИВАННЯ



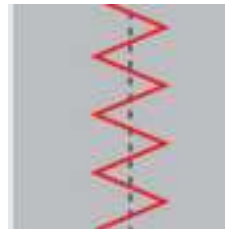
Без коливання



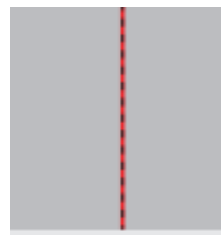
Прямокутне



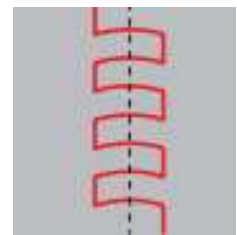
Трапецієподібне



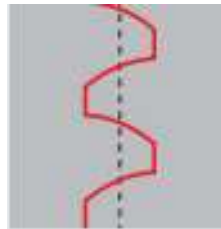
Трикутне



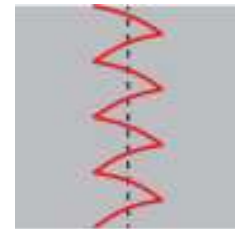
Без коливання



Прямокутне



Трапецієподібне



Трикутне

Рисунок 3.11 – Можливі траєкторії коливань пальника

Зварювальний візок дозволяє керувати струмом зварювальної дуги. Це здійснюють за допомогою модуля Arc Current Control (ACC), який забезпечує інтелектуальне регулювання відстані між електродом і деталлю, що в свою чергу, дозволяє отримувати ідеальний зварний шов.

Модуль ACC використовується для автоматичного регулювання відстані між зварювальним пальником і деталлю під час орбітального зварювання. Головна перевага модуля полягає в тому, що найкращих результатів зварювання

можна досягти навіть на нерівній поверхні або за неточного центрування ведучих рейок.

Для переміщення візка можуть використовуватися три основних види рейок: прямі, гнучкі та кільцеві.



Рисунок 3.12 – Види рейок для візка FlexTrack 45 Pro

Жорсткі рейки оснащені жорсткими алюмінієвими профілями. Їх з'єднують за допомогою шарнірів і замків, що забезпечує швидкий і простий монтаж.

На поверхні деталей або стіл зварювальна система кріпиться за допомогою магнітних містків.



Рисунок 3.13 – Магнітний місток для кріплення візка FlexTrack 45 Pro

Сила примагнічування магнітного містка керується за допомогою важеля.

3.2.5. Методика визначення необхідних параметрів процесу зварювання

Шви стикових з'єднань можуть виконуватися як з обробкою, так і без обробки кромки. В нашому випадку під час автоматизованого зварювання

листової сталі товщиною 6 мм встик обробку кромek не застосовували. Зазор між деталями задавали в межах 1-1,5 мм.

Діаметр електродного дроту d_e вибираємо в залежності від товщини зварних листів. Для вибору діаметра електродного дроту при зварюванні в нижньому положенні скористаємося даними таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Вибір діаметра електродного дроту для зварювання швів стикових з'єднань

Товщина металу, мм	Форма підготовки крайок	Зазор у стику, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Число проходів
0, 8-1,0	Встик, без оброблення крайок	0-1,0	0,8	1
1, 5-2,0		0-1,0	1,0	1
2, 5-3,0		0-1,5	1,2	1
3, 5-4,0		0-1,5	1,2	2
			0,6	1
4, 5-6,0		0-1,5	2,0	1
		0, 5-2,0	2,0	2
7, 0-8,0		0, 5-2,0	2,0	2
9, 0-10,0		0, 5-2,5	2,0	2
11, 0-12,0		1, 0-3,0	2,0	2
13, 0-14,0	V – образна однобічна	1, 0-2,5	2,0	2
15, 0-16,0		1, 0-2,5	2,0	3
17, 0-18,0	V – образна двостороння	1, 0-2,5	2,0	4
19, 0-20,0		1, 5-2,5	2,0	4
21, 0-22,0		1, 5-2,5	2,0	5
23, 0-24,0		1, 5-2,5	3,0	5
25, 0-28,0		1, 5-2,5	3,0	6

Згідно з таблицею 3.2 для зварювання в стик листів товщиною 6 мм приймаємо діаметр електродного дроту $d_{ел} = 1,2$ мм.

Необхідну силу зварювального струму $I_{зв}$ розраховуємо за формулою;

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_{ел}^2}{4} \cdot j, \text{ А} \quad (3.1)$$

де j – допустима щільність струму у зварювальному електродному дроті (див. табл. 3.3);

$d_{ел}$ – діаметр електродного дроту, мм.

Таблиця 3.3 - Допустима щільність струму в електродному дроті

Діаметр електродного дроту, мм	1,2	1,6	2,0	3,0
Щільність струму, А/мм ²	88-195 310-440	90-160 200-350	60-140 160-240	45-70 78-110
Зварювальний струм, А	100-220 350-500	180-320 400-700	200-450 500-750	300-500 550-800

Вибравши значення щільності струму для діаметра зварювального дроту $d_{ел} = 1,2$ мм з таблиці 3.3 отримаємо:

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 88 \dots 195 \cong 100 \dots 220 \text{ А}$$

Напругу на зварювальній дузі U_d визначаємо за формулою:

$$U_d = 15 + \frac{50 \cdot 10^3}{\sqrt{d_{ел}}} \cdot I_{зв}, \text{ В} \quad (32)$$

$$U_d = 15 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \cdot 100 \dots 220 = 19,5 \dots 25,1 \text{ В}$$

Необхідна швидкість подачі електродного дроту визначається за формулою:

$$V_{пд} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d_{ел}^2 \cdot \rho}, \text{ м/год} \quad (3.3)$$

де α_p - коефіцієнт розплавлення електродного дроту, г/А · год;

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

Значення α_p розраховують за формулою:

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{I_{зв}}{d_{ел}}, \quad (3.4)$$

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{(100 \dots 220)}{1,2} = 9,67 \dots 17,67$$

Тоді

$$V_{пд} = \frac{4 \cdot (100 \dots 220)}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 11,34 \dots 24,95 \text{ м/год}$$

Швидкість зварювання (необхідна швидкість переміщення пальника) обчислюється за формулою;

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{100 \cdot F_n \cdot \rho}, \text{ м/ГОД} \quad (.53)$$

де α_n - коефіцієнт наплавлення, г/А год;

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \Psi) \quad (3.6)$$

де Ψ - коефіцієнт втрат металу на угар і розбризкування.

Для процесів зварювання в середовищі захисних газів $\Psi = 0,1 - 0,15$. Більші значення слід приймати для процесу зварювання в CO_2 .

Отже

$$\alpha_n = (9,67 \dots 17,67) \cdot (1 - 0,1) = 9,57 \dots 17,49$$

F_n - площа поперечного перетину зварного шва, мм^2 .

Площа поперечного перетину зварного шва являє собою суму площ елементарних геометричних фігур, які формують шов. Площу поперечного перетину одnobічного стикового зварного шва, виконаного без зазору можна визначити за формулою:

$$F_1 = 0,75 e \cdot g, \text{ мм}_2 \quad (3.7)$$

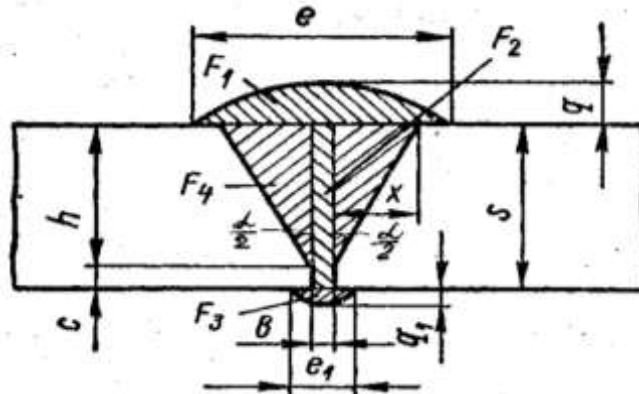


Рисунок 3.14 - Геометричні елементи поперечного перетину стикового шва

S – товщина металу, мм; h – глибина провару, мм; c – величина притуплення

кромки, мм; e – ширина шва, мм; e_1 – ширина підвару кореня шва, мм;

b – величина зазору, мм; g – висота посилення шва, мм; g_1 – висота посилення

підвару кореня шва, мм; α - кут обробки кромки

При наявності зазору в стиковому з'єднанні формула для визначення площі поперечного перетину шва має вигляд:

$$(F_1 + F_2) = 0,75 e \cdot g + S \cdot b, \text{ мм}^2 \quad (3.8)$$

де e - ширина зварного шва, мм;

g - висота підсилення шва, мм;

S - товщина листового металу, мм;

b - величина зазору в стиковому з'єднанні, мм.

Площу перетину стикового шва з V-подібною обробкою кромek та підваром кореня шва (рис. 3.14) визначають як суму геометричних фігур:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + 2F_4, \quad (3.9)$$

Прийнявши згідно ДСТУ 3159-95 для стикового з'єднання С7 листів товщиною $S = 6$ мм, $b = 1,0$ мм, $e = 9$ мм і $g = 2$ мм визначимо площу наплавленого металу за формулою (3.8):

$$F_{\text{н}} = (F_1 + F_2) = 0,75 \cdot 9 \cdot 2 + 6 \cdot 1 = 19,5 \text{ мм}^2 = 0,2 \text{ см}^2$$

Тоді

$$V_{\text{зв}} = \frac{(9,57 \dots 17,49) \cdot (100 \dots 220)}{100 \cdot 0,2 \cdot 7,8} = 6,1 \dots 24,7 \text{ м/год} = 10,2 \dots 41,2 \text{ см/хв.}$$

Отже, в межах швидкості зварювання $10 \dots 40$ см/хв буде налаштовуватися швидкість переміщення візка для переміщення зварювального пальника.

3.3. Методика експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження процесу автоматичного MIG-зварювання листової сталі виконуються для визначення впливу режиму зварювання на якісні параметри зварних з'єднань.

Регульованими параметрами процесу автоматизованого зварювання були:

- зварювальний струм $I_{\text{зв}}$, А;
- швидкість зварювання $V_{\text{зв}}$, м/хв. (швидкість переміщення пальника);
- корекція довжини дуги Δ .

Параметрами оптимізації під час експериментальних досліджень було вибрано:

- ширина шва e , мм;
- висота шва q , мм;
- глибина провару h , мм;

Для досліджень використовували металеві пластини зі сталі Ст-3 товщиною 6 мм.

План експерименту наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – План проведення експерименту

$I_{зв}, A$			$V_{зв}, \text{см/хв}$			Δ			$e, \text{мм}$	$q, \text{мм}$	$h, \text{мм}$
-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1			
160	190	220	25	35	45	-3	0	+3	Y1	Y2	Y3

Процес виконання досліджень показано на рис. 3.15.



Рисунок 3.15 – Процес виконання зварних з'єднань

1 – зварювальний півавтомат CMT 4000 Advanced; 2 – зварювальний візок FlexTrack 45 Pro; 3 - жорстка рейка; 4 – зварювальний пальник Robacta Drive CMT; 5 – пульт курування візком FRC-45 Pro; 6 – зварний зразок

Суть експерименту полягала в наступному.

На джерелі живлення зварювального автомата вибирався відповідний режим зварювання та налаштовувалися потрібні значення параметрів процесу зварювання, а саме зварювальний струм та корекція зварювальної дуги.

На пульті керування зварювальним візком задавали швидкість його переміщення (швидкість зварювання). Зварні деталі з'єднувались між собою прихватками з дотриманням зазору між кромками листів, рівним 1,0 мм. Далі, підготовлений зразок встановлювався на столі і фіксувався зварювальними магнітами. Над лінією стикового з'єднання розміщували зварювальний пальник, закріплений на коливному механізмі зварювального візка. Відстань від поверхні деталі до сопла пальника становила 12 мм. Зварювання виконували кутом вперед з кутом нахилу пальника, рівним 75-80 °. Коливання пальника не задавалось.

Зварювання виконували зварювальним дротом Св-0,8Г2С діаметром 1,2 мм в середовищі суміші захисних газів Ar 80 % + CO₂ 20 %.

В результаті були отримані зразки різних стикових з'єднань листової сталі, виконаних на різних режимах роботи зварювальної установки. За ними оцінювалась ефективність та якість процесу автоматичного зварювання.



а)



б)

Рисунок 3.16 – Вимірювання геометричних параметрів зварних швів

а – вимірювання висоти шва; б – вимірювання ширини шва

Оціночними параметрами, за якими обґрунтовували оптимальний режим автоматичного зварювання листової сталі були геометричні параметри зварних швів та їх провар. Розміри швів (ширину і висоту) вимірювали за допомогою електронного штангенциркуля з точністю вимірювання 0,01 мм (рис. 3.16).

Провар шва (наявність та його глибину) визначали за поперечними перерізами зразків зварних швів шляхом їх оптичного аналізу під електронним мікроскопом VM102 (рис.).



Рисунок 3.17 – Дослідження зразків зварних швів під мікроскопом

PSA LCD Digital

Цифровий мікроскоп Steindorff VM102 має роздільну здатність 5,0 мегапікселів. Цей потужний пристрій оснащений справжнім 5,0-мегапіксельним сенсором зображення та 3,5-дюймовим РК-екраном, що дозволяє робити збільшення від 20х до 200х з можливістю розширення до 1200х за допомогою цифрового зуму. Він також має можливість знімати зображення та відео високої роздільної здатності до 12 МП зі збереженням на картках MicroSD та 8 регульованих світлодіодних ламп для освітлення зразків.

Цифровий мікроскоп Steindorff VM102, оснащений програмним забезпеченням для вимірювання та багатомовним екранним дисплеєм. Зроблені фото автоматично зберігались на ПК, з'єднаного з мікроскопом через USB.

Зразки зварних швів розрізались в поперечній площині за допомогою абразивного диска. Далі їх обробляли на шліфівальному кругу з метою отримання гладкої поверхні зразка. Після цього отримані зразки поміщались під електронний мікроскоп, який дозволяє отримувати їх фото. По зразках визначалась наявність провару листів металу. За допомогою мірної шкали мікроскопа вимірювали наявну глибину провару.

3.4. Результати експериментальних досліджень

Дослідження впливу параметрів електричної дуги на процес автоматичного зварювання листової сталі передбачали визначення впливу величини зварювального струму $I_{зв}$ та корекції довжини дуги Δ на геометричні параметри зварних швів, а саме їх ширину і висоту, а також на формування та глибину провару шва h . На рис. 3.18 наведено фото кількох зварних швів, отриманих в результаті експериментальних досліджень.

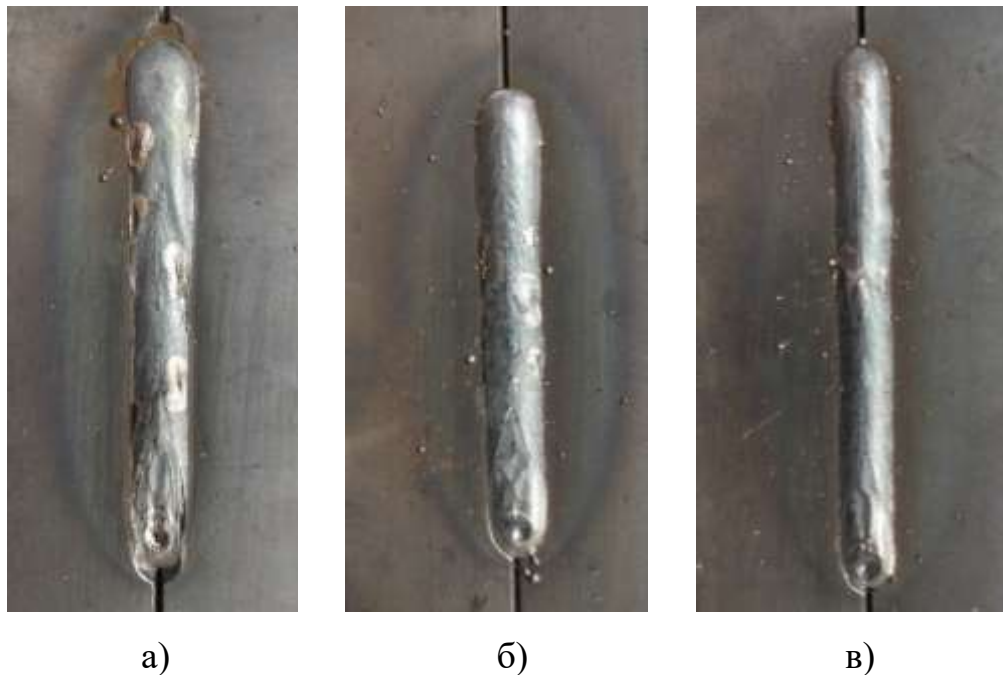


Рисунок 3.18 – Фото зварних швів

а - $I_{зв} = 220 \text{ А}$, $\Delta = +3$; б - $I_{зв} = 220 \text{ А}$, $\Delta = 0$; в - $I_{зв} = 220 \text{ А}$, $\Delta = -3$

Результати досліджень геометричних параметрів зварних швів наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Середні значення геометричних параметрів зварних швів

$I_{зв}, A$	e, mm			q, mm		
	-3	0	+3	-3	0	+3
160	5,2	7	8,1	1,05	2,52	2,16
190	6,4	8,9	10,8	1,66	2,33	1,75
220	8,5	10,3	11,6	2,08	2,17	1,43

Для аналізу отриманих експериментальних даних побудуємо графічні залежності ширини та висоти зварних швів від сили зварювального струму за різних значень корекції довжини зварювальної дуги. Ці залежності представлено на рис. 3.19 та 3.20.

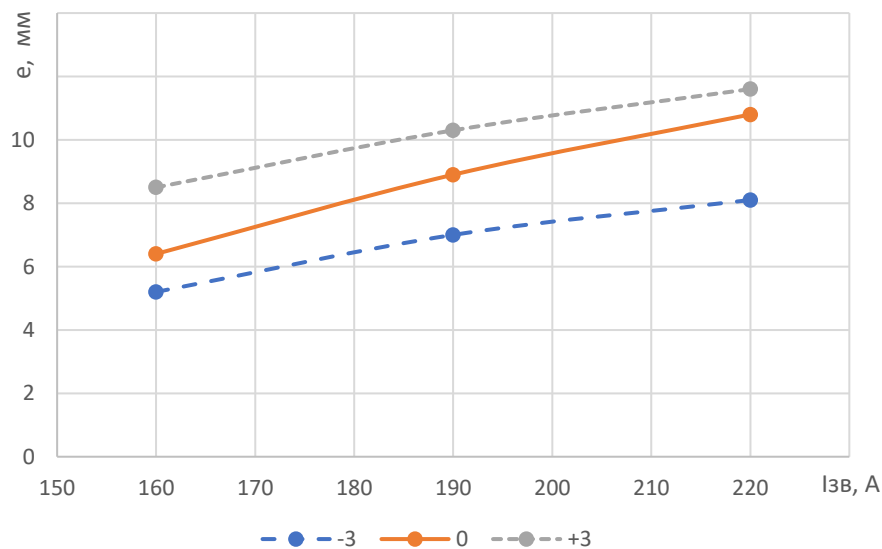


Рисунок 3.19 – Криві залежності впливу зварювального струму $I_{зв}$ та корекції довжини дуги Δ на ширину зварного шва e

Аналізуючи рис. 3.19 бачимо, що вплив сили зварювального струму на ширину зварного шва має практично лінійну залежність. Дана залежність повторюється при різних значеннях корекції довжини дуги.

Так, при вимкненій функції корекції дуги при зростанні струму від 160 А до 220 А ширина зварного шва зросла на 40,7 %.

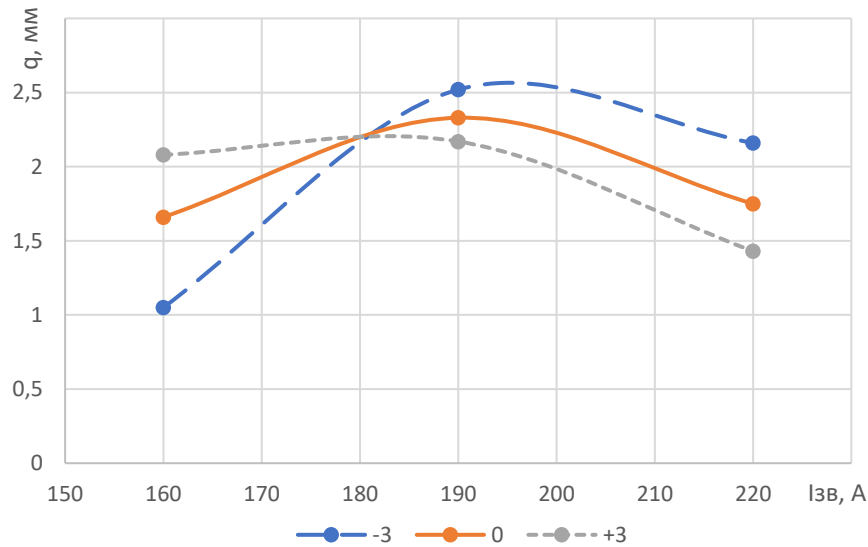


Рисунок 3.20 – Криві залежності впливу зварювального струму $I_{зв}$ та корекції довжини дуги Δ на висоту зварного шва q

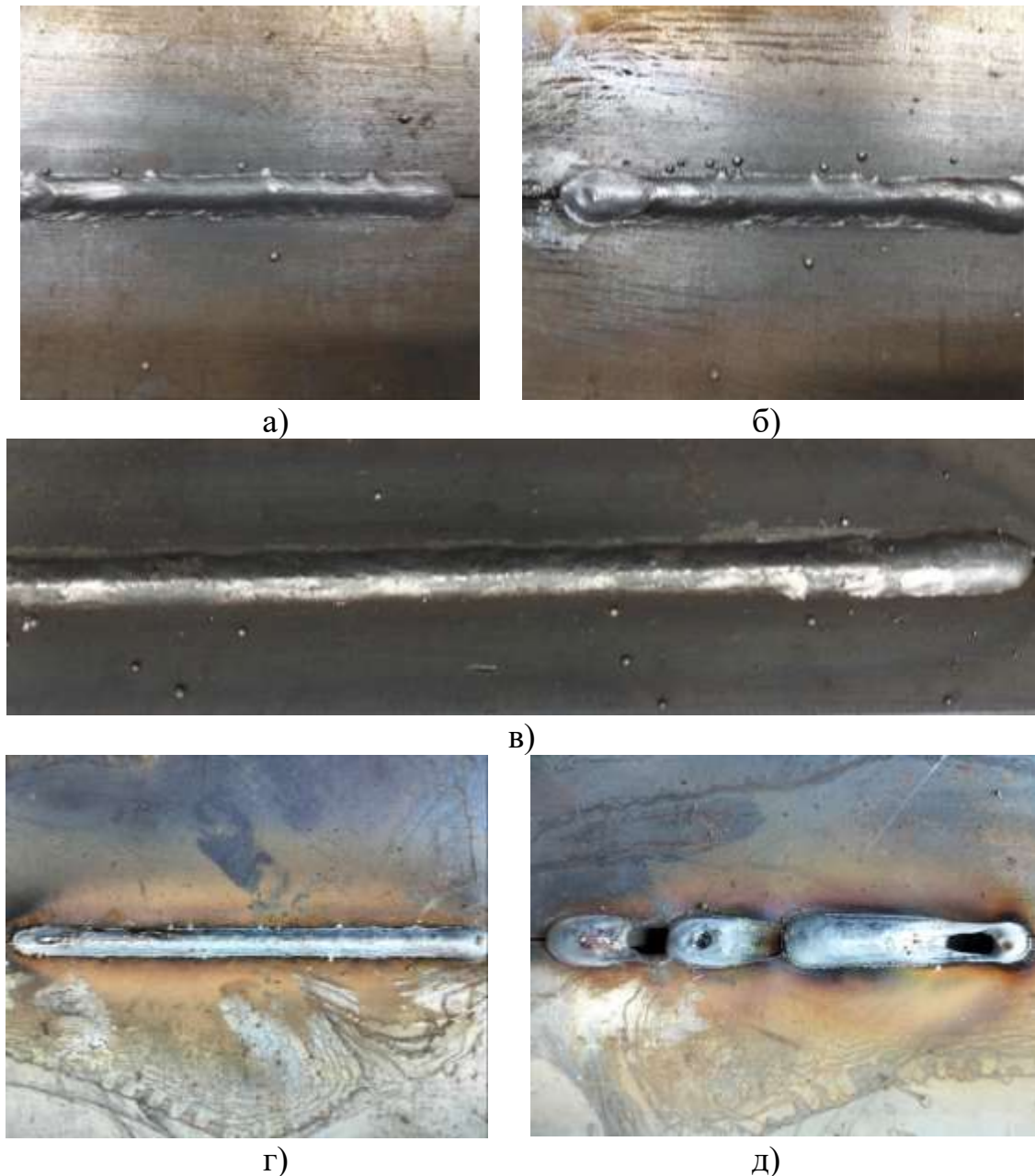
Мінусові значення корекції дуги призводять до зменшення ширини зварного шва. При збільшенні зварювального струму від 160 А до 220 А ширина зварного шва збільшилась на 35,8 %. Якщо ж порівняти отримані результати з нульовою корекцією, то ширина шва зросла на 19...25 %.

Додатні значення корекції дуги здатні збільшувати ширину шва без зміни сили зварювального струму. Як видно з рис. 3.19, ширина швів при додатній корекції є значно більшою за ширину швів, отриманих при нульовій корекції на тих же струмах. Вплив плюсової корекції є майже симетричним мінусовій. При ній зварний шов збільшувався майже на 25 %. Що стосується впливу величини зварювального струму, то при його збільшенні від 160 А до 220 А ширина зварного шва збільшилась на 26,7 %.

Зі збільшенням струму, висота шва спочатку зростає (ділянка до 190...200 А), а потім починає спадати. Це є наслідком того, що вищі значення струму створюють гарячішу зварювальну дугу. Метал заготовок розплавляється інтенсивніше, ванна рідкіша і ширша, а отже, розплав присадкового матеріалу краще розтікається та змішується з металом деталей. В результаті шов виходить нищий з кращим проваром.

Швидкість зварювання є одним з найважливіших параметрів процесу автоматичного електродугового зварювання. Вона має визначальний вплив на формування зварного шва, його форму та розміри а також відповідає за сплавлюваність електродного металу з металом деталей та забезпечення якісного провалу шва.

На рис. 3.21 представлені зразки зварних швів, отриманих при різних швидкості зварювання (переміщення зварювального пальника).



г)

д)

Рисунок 3.21 – Фото зварних швів

а - $I_{зв} = 160 \text{ A}$, $V_{зв} = 35 \text{ см/хв}$; б - $I_{зв} = 160 \text{ A}$, $V_{зв} = 45 \text{ см/хв}$;

в - $I_{зв} = 190 \text{ A}$, $V_{зв} = 35 \text{ см/хв}$; г - 220 A , $V_{зв} = 45 \text{ см/хв}$;

д - 220 A , $V_{зв} = 25 \text{ см/хв}$;

Результати досліджень геометричних параметрів зварних швів наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Середні значення геометричних параметрів зварних швів

$V_{зв}$, см/хв	e , мм			q , мм		
	25	35	45	25	35	45
160	5,6	7,2	12,5	2,56	2,64	2,21
190	8,5	10,4	11,8	1,55	2,51	2,37
220	7,7	8,3	9,4	1,13	2,26	2,76

Для аналізу отриманих експериментальних даних побудуємо графічні залежності ширини та висоти зварних швів від швидкості зварювання (швидкості переміщення пальника) за різних значень сили зварювального струму. Ці залежності представлено на рис. 3.22 та 3.23.

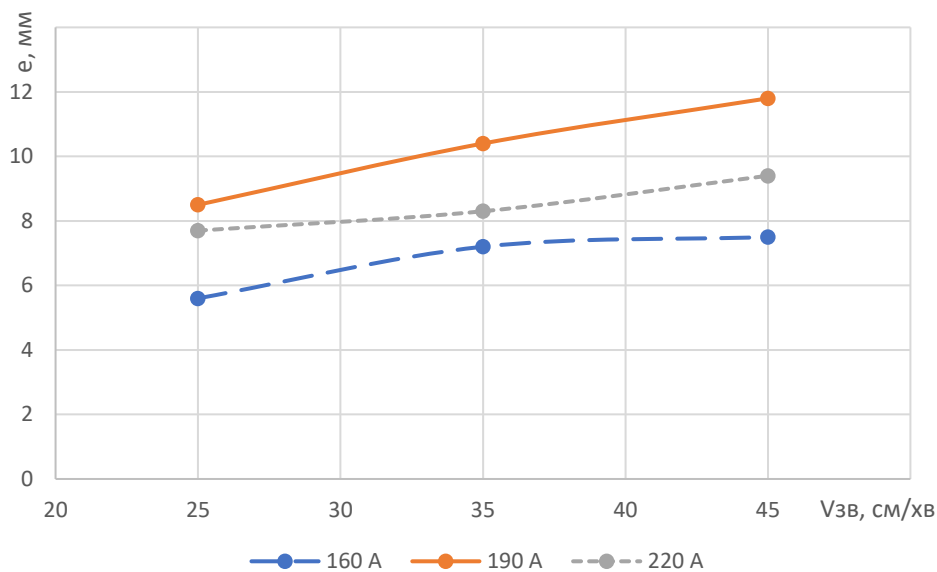


Рисунок 3.22 – Криві залежності впливу швидкості зварювання $V_{зв}$ та зварювального струму $I_{зв}$ на ширину зварного шва e

Аналізуючи дані табл. 3.6 та криві на рис. 3.22 бачимо, що зі збільшенням струму зварювання геометричні параметри зварних швів зростають, які і в попередньому досліді. Однак вплив швидкості зварювання має свої особливості.

Так, ширина шва на вищих зварювальних струмах зростала майже лінійно та збільшилася на 27 % і 18 % відповідно.

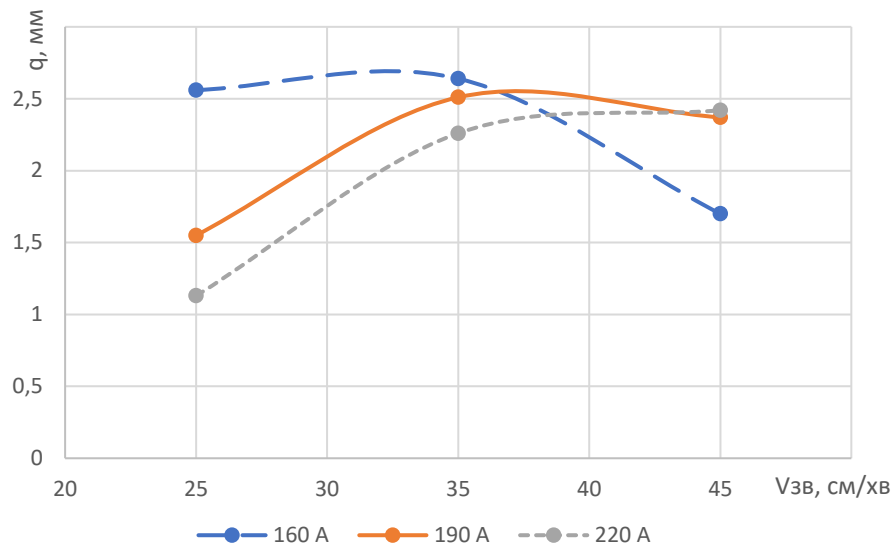


Рисунок 3.23 – Криві залежності впливу швидкості зварювання $V_{зв}$ та зварювального струму $I_{зв}$ на висоту зварного шва q

При струмі зварювання 160 А збільшення ширини шва триває впродовж збільшення швидкості зварювання понад 36 см/хв. Це значить, основний метал зварних листів не встигає розплавитись електричною дугою, зварювальна ванна холодна, розплавлений метал електродного дроту не змішується з основним а лягає на поверхню високим валиком. За низьких значень зварювального струму збільшення швидкості зварювання понад 36 см/хв призводить до нестабільного горіння дуги, утворення бризок, шов нерівномірний а сплавлювання присадкового металу з основним дуже погане.

Незадовільне формування шва при низькому струмі зварювання та високій швидкості переміщення пальника підтверджує крива на рис. 3.23. Як можна побачити, зі збільшенням швидкості зварювання понад 35 см/хв висота шва різко знижується. Причиною цього є нерівномірність шва по довжині.

При струмі зварювання 190 А зі збільшенням швидкості зварювання до 35-36 см/хв висота шва зростає, а далі майже не змінюється, навіть має тенденцію до зменшення. Зміна висоти шва при зростанні швидкості зварювання досягає 50 % і більше.

Максимальний струм зварювання 220 А забезпечує формування зварного шва меншої висоти. Однак слід пам'ятати, що при малих швидкостях зварювання та наявності зазорів між кромками зварюваних листів можливе провалювання шва і навіть пропали (див. рис 3.21,д).

Провар зварних швів оцінювали зовнішнім оглядом зварного з'єднання та за поперечними розрізами зварного шва під мікроскопом. Фото розрізів зварних стикових з'єднань, отриманих за допомогою мікроскопа Steindorff VM102 наведені на рис. 3.24.

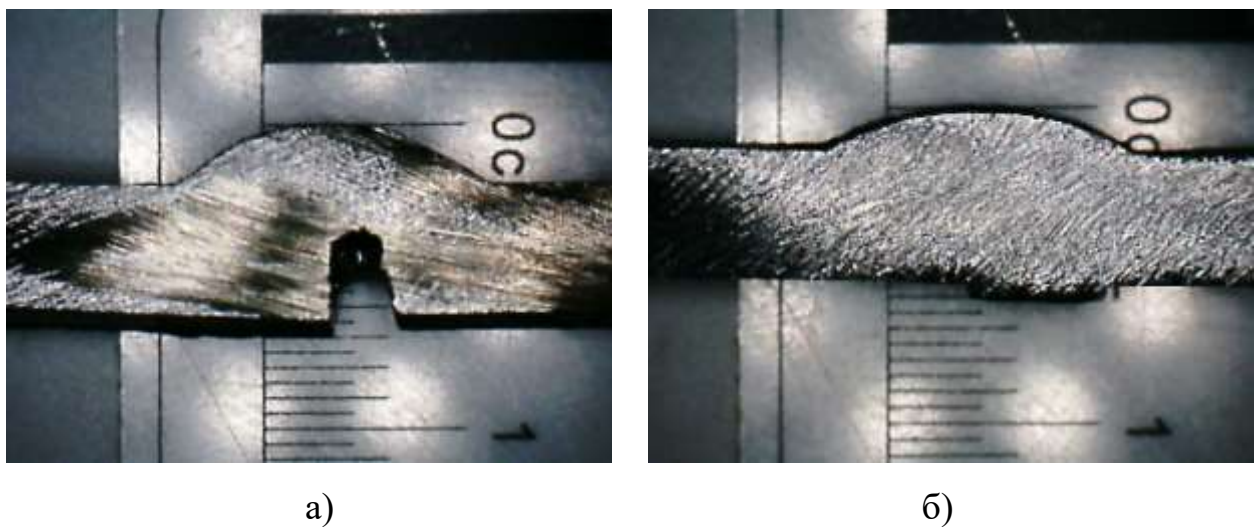


Рисунок 3.24 – Фото розрізів зварних стикових з'єднань листової сталі з неповним проваром (а) та повним проваром(б) шва

За допомогою шкали мікроскопа з ціною поділки 0,5 мм вимірювали розмір провару зварного шва.

Результати досліджень провару зварних швів за різних параметрів процесу зварювання наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Середні значення глибини провару зварних швів

$I_{зв}, A$	Δ			$V_{зв}, \text{см/хв}$		
	-3	0	+3	25	35	45
160	2	2,5	4,5	4,0	2,0	1,0
190	2,5	5,5	6,0	5,0	4,0	2,5
220	4,5	6,0	6,5	6,5	4,5	3,0

На рис. 3.25 та 3.26 представлені залежності глибини провару шва від параметрів процесу автоматичного зварювання.

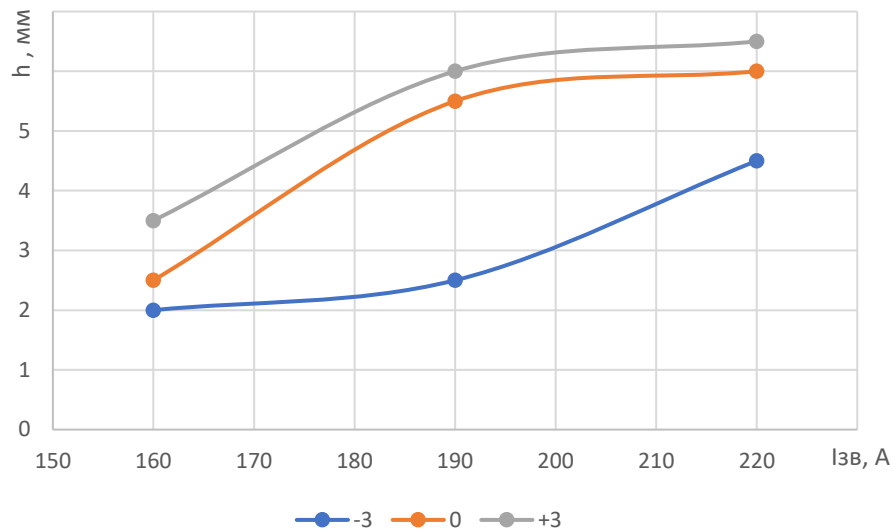


Рисунок 3.25 – Криві залежності впливу зварювального струму $I_{зв}$ та корекції довжини дуги Δ на провар шва h

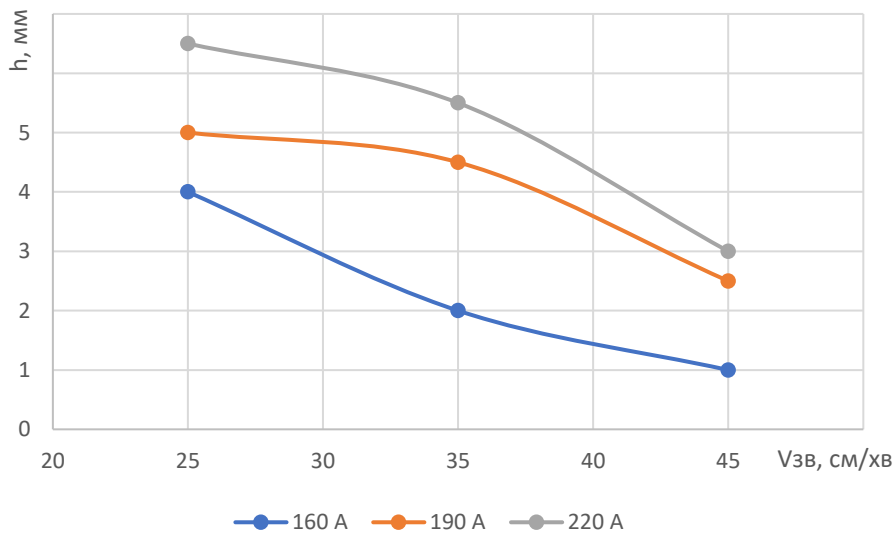


Рисунок 3.26 – Криві залежності впливу швидкості зварювання $V_{зв}$ та зварювального струму $I_{зв}$ на провар шва h

З рис. 3.25 бачимо, що мінусове корегування довжини дуги не дозволяє отримувати необхідний провар шва, який для листової сталі товщиною 6 мм мав би становити $6 \pm 0,5$ мм. При мінімальних значеннях струму також не завжди

вдається отримати необхідний провар. За таких умов частково вирішити цю проблему можливо тільки шляхом зменшення швидкості зварювання. На струмі зварювання 190 А при нульовому та додатньому корегуванні дуги провар шва забезпечувався.

Вплив швидкості зварювання на формування провару зварного шва можна оцінити за рис. 2.26. Як і в попередньому випадку при мінімальному струмі 160 А не вдається отримати повного провару шва при досліджуваних швидкостях зварювання. Повного провару вдається досягти при струмі зварювання понад 200 А при швидкості зварювання в межах 30...35 см/хв.

Висновки за розділом

Вплив сили зварювального струму на ширину зварного шва має практично лінійну залежність, яка повторюється при різних значеннях корекції довжини дуги. Мінусові значення корекції дуги призводять до зменшення ширини зварного шва. Додатні значення корекції дуги здатні збільшувати ширину шва без зміни сили зварювального струму. Вплив плюсової корекції є майже симетричним мінусовій. При ній зварний шов збільшувався майже на 25 %.

Зі збільшенням струму, висота шва спочатку зростає (ділянка до 190...200 А), а потім починає спадати. Це є наслідком того, що вищі значення струму створюють гарячішу зварювальну дугу при якій метал заготовок розплавляється інтенсивніше, ванна рідкіша і ширша, а отже, розплав присадкового матеріалу краще розтікається та змішується з металом деталей. В результаті шов виходить нищий з кращим проваром.

Мінімальні струми не дозволяють отримати повний провар шва при досліджуваних швидкостях зварювання. Повного провару вдається досягти при струмі зварювання понад 200 А при швидкості зварювання в межах 30...35 см/хв.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз вимог техніки безпеки під час зварювальних робіт

До роботи зварювальником допускати осіб, які досягли 18-річного віку, навчені і атестовані на II кваліфікаційну групу з електробезпеки, пройшли медичний огляд, вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці, які вже оволоділи безпечними методами виконання робіт і пройшли перевірку знань вимог охорони праці.

Зварювальник повинен бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту відповідно до типових норм.

Перебуваючи у зварювально-монтажному цеху, необхідно:

- звертати увагу на сигнали, що подаються з вантажопідіймальних кранів, кантувачів і рухомого транспорту;
- не стояти і не проходити під вантажем, піднятим краном, а також між верстатами, колонами, огорожами, стінами будівлі і ін., близько розташованими до пересувного вантажу;
- під час руху по цеху користуватися тільки встановленими проходами, що не перелазити через конвеєри, рольганги і т.п.

Перед початком роботи обов'язково слід одягти спецодяг, перевірити справність обладнання, електропроводки, трубопроводів та газової арматури, наявність і справність заземлення.

Витяжна вентиляція повинна бути встановлена над столом для зварювання.

Про всі помічені недоліки, несправності в обладнанні і про виниклі небезпеки повідомити майстру. До роботи можна приступати тільки після усунення всіх несправностей і дозволу майстра.

Не слід дивитися на дугу незахищеними очима. Необхідно користуватися захисною маскою зі світлофільтром.

Забороняється залишати без нагляду установку з підключеними стисненим повітрям і включеним напругою.

Під час роботи забороняється тримати шланги під пахвою, на плечах або затискати ногами. Забороняється допускати зіткнення шлангів з струмопровідними проводами.

При перегрів зварювального апарата робота повинна бути зупинена до повного його охолодження.

Не допускати попадання на шланги іскор, вогню або важких предметів, а також впливу високих температур.

Забороняється приєднання до шлангів вилок, трійників і т.п. для живлення декількох апаратів.

Не допускати проведення ремонту апаратури у робочому стані. У разі несправності негайно припинити роботу і повідомити майстру.

При щоденному обслуговуванні необхідно перевіряти справність підвідних проводів; справність контактних затискачів і роз'ємів на панелі з затискачами; заземлення джерела живлення; заземлення зварної конструкції або столу.

Справність захисних засобів слід перевіряти перед кожним застосуванням. Захисні засоби, у яких закінчився термін чергового випробування, застосовувати забороняється.

Для запобігання виникненню пожеж необхідно дотримуватися таких вимог:

- не захащувати доступи і проходи до протипожежного інвентарю, вогнегасників, гідрантів;
- зберігати горючі та легкозаймисті речовини в спеціально відведених місцях з дотриманням заходів пожежної безпеки;
- палити тільки в спеціально відведених місцях, забезпечених протипожежним інвентарем і урнами;
- використаний обтиральний матеріал зберігати в металевому ящику з щільно закривається кришкою;
- не підходити з відкритим вогнем до шлангів і балонів;
- не чистити і не прати робочий одяг бензином і іншими легкозаймистими рідинами.

При виникненні ситуацій, які можуть привести до аварій і нещасних випадків (наприклад, при пробої ізоляції в ланцюзі, протіканні шлангів), необхідно припинити роботу, відключити подачу електроенергії, вивести з небезпечної зони людей і повідомити про виниклу ситуацію керівнику робіт.

При виникненні аварії негайно вжити заходів з надання потерпілим першої допомоги, викликати машину швидкої допомоги.

При виявленні пожежі негайно повідомити в пожежну охорону по телефону 101, сповістити керівництво і до прибуття пожежних приступити до ліквідації вогнища пожежі наявними засобами в залежності від загорівся матеріалу.

При нещасному випадку надати потерпілому першу долікарську допомогу, повідомити про подію керівництву. По можливості зупинити обстановку, якщо це не призведе до аварії або травмування інших людей. При необхідності викликати бригаду швидкої допомоги по телефону 103 або допомогти доставити потерпілого в медичний заклад.

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 механізованого зварювання елементів трубопроводів. 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.

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”.

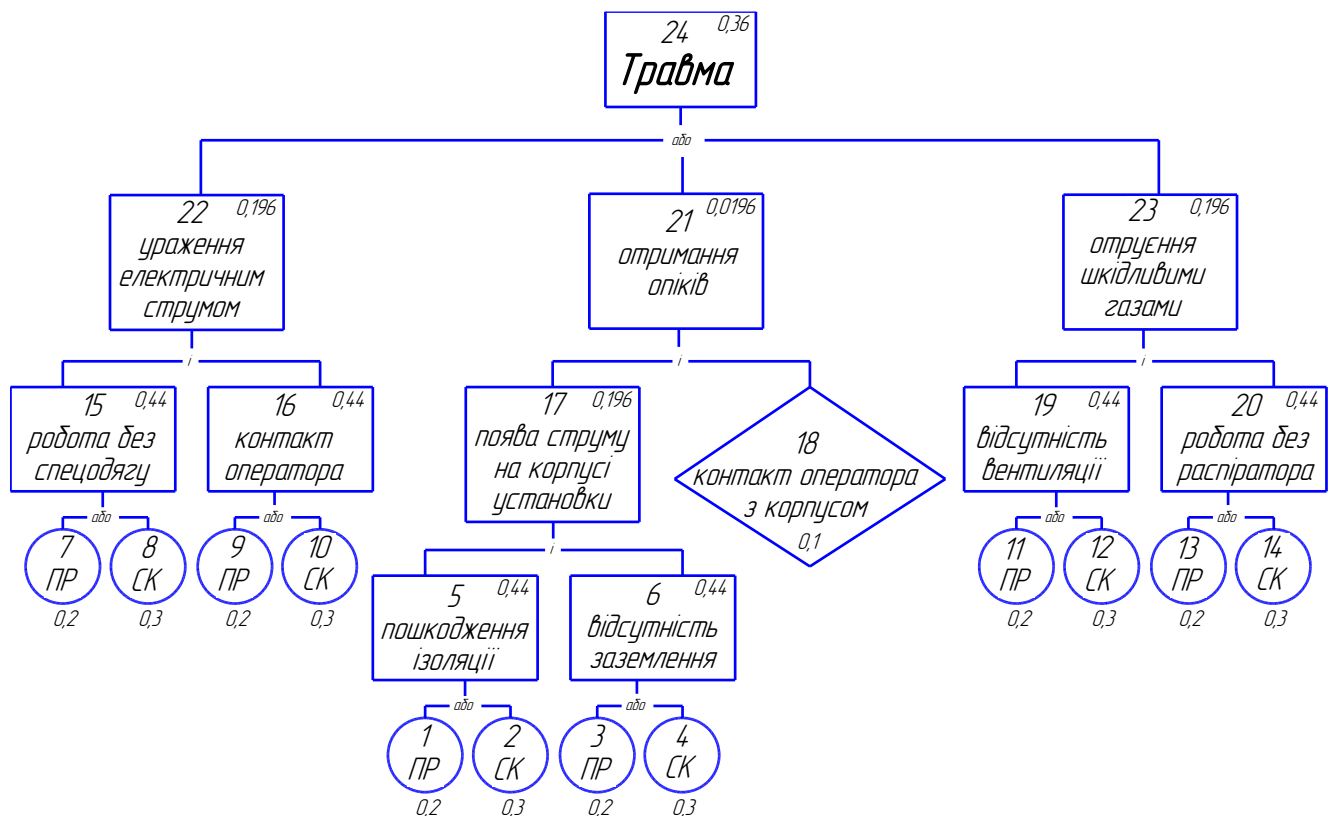


Рисунок 4.1. Модель процесу формування та виникнення травми

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.

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 елементів трубопроводів системи пневмотранспорту апаратом для механізованого зварювання в середовищі захисних газів за наявності і можливості виникнення існуючих небезпек та небезпечних діях на 100 робочих місць ймовірність виникнення травмонебезпечної ситуації становить 0,36 (36 %).

Такий високий показник пояснюється великою кількістю небезпечних факторів та високими вимогами щодо кваліфікації працівників, якості виконання технологічного процесу та умов безпеки праці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Процеси MIG/MAG зварювання мають найбільше поширення в автоматизованому зварювальному виробництві. Серед обладнання автоматизованого зварювання найбільш поширеними є зварювальні візки та колони, які використовуються для кріплення та переміщення зварювальних апаратів. До основних технічних характеристик автоматичних зварювальних установок відносять максимальні горизонтальне та вертикальне переміщення, кут та швидкість повороту, швидкість переміщення, відстань пальника до поверхні зварювання.

Для отримання міцного зварювального з'єднання автоматизована зварювальна установка повинна забезпечити оптимальні режими процесу зварювання, зокрема витримувати постійними довжину зварювальної дуги та швидкість переміщення зварювального пальника. Також на якість процесу зварювання суттєвий вплив має корекція дуги.

Вплив сили зварювального струму на ширину зварного шва має практично лінійну залежність, яка повторюється при різних значеннях корекції довжини дуги. Мінусові значення корекції дуги призводять до зменшення ширини зварного шва. Додатні значення корекції дуги здатні збільшувати ширину шва без зміни сили зварювального струму. Вплив плюсової корекції є майже симетричним мінусовій. При ній зварний шов збільшувався майже на 25 %.

Зі збільшенням струму, висота шва спочатку зростає (ділянка до 190...200 А), а потім починає спадати. Це є наслідком того, що вищі значення струму створюють гарячішу зварювальну дугу при якій метал заготовок розплавляється інтенсивніше, ванна рідкіша і ширша, а отже, розплав присадкового матеріалу краще розтікається та змішується з металом деталей. В результаті шов виходить нищий з кращим проваром.

Мінімальні струми не дозволяють отримати повний провар шва при досліджуваних швидкостях зварювання. Повного провару вдається досягти при струмі зварювання понад 200 А при швидкості зварювання в межах 30...35 см/хв.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Автоматичне керування електрозварювальними процесами і установками: навчальний посібник. За ред. В. К. Лебедєва, В. П. Черниша. Київ: Вища школа, 1994. 391 с.
2. Березін Л.Я., Хоменко М.М., Карпенко А.С. Засоби технологічного оснащення зварювального виробництва. Навчальний посібник. Чернігів: ЧДТУ, 2003. 142 с.
3. Гавриш П.А. Вплив швидкості зварювання на якість зварного з'єднання міді. Вісник Хмельницького національного університету. 2005. №6. – Т2. С.75-78.
4. Гавриш П. А., Кассов В. Д. Точність виготовлення зварних конструкцій. Краматорськ: ДДМА, 2006. 160 с.
5. Гайдамак О. Л. Автоматичне керування та автоматизація процесів зварювання і відновлення : лабораторний практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 51 с.
6. Городецький І. В, О. Тимочко. 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.
7. Гуменюк І.В. Іваськів О.В., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання: Підручник. Київ: Грамота, 2006. 512 с.
8. Драган С.В., Лабарткава А.В. Практикум зі зварювання: Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 68 с
9. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки. [Чинний від 1995-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1994. 48 с.
10. ДСТУ EN ISO 14171:2015 Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні й порошкові та комбінації дріт електродний/флюс для дугового зварювання під флюсом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 14171:2010, IDT; ISO 14171:2010, IDT). [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82838.

11. ДСТУ ISO 14175:2004 Матеріали зварювальні. Захисні газы для дугового зварювання та різання (ISO 14175:1997, IDT). [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50209
12. Завдовсєв А.В., Позняков В.Д., Жданов С.Л., Rogante M., Baudin T. Вплив режимів імпульсно-дугового зварювання на зміну параметрів шва і ЗТВ зварних з'єднань та механічні властивості низьколегованих сталей. *Автоматичне зварювання*, №12, 2020. С. 23-29. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.12.01>.
13. Зварювальні колони. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://svartech.com.ua/ua/g83820569-svarochnye-kolonny>.
14. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання. Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 437 с.
15. Контроль якості та технічна діагностика зварних конструкцій. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для підготовки бакалаврів з прикладної механіки за спеціалізацією «Технології та устаткування зварювання». /Укл. Болотов Г.П., Болотов М.Г. Чернігів: ЧНТУ, 2019. 31 с.
16. Лебедєв В. К., Черниш В. П. Автоматичне керування зварюванням. Київ: Вища школа, 1986. 296 с.
17. Матвійчук О.А. Апаратура для напівавтоматичного зварювання в захисному середовищі. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://rpl.ucoz.com/Navchannay/ZvarnicAparatura.pdf>.
18. Механізовані зварювальні системи. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnologiyi>
19. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. Кіровоград: КНТУ, 2010. 392 с.
20. Чертов І.М. Зварні конструкції: підручник. Київ: Арістей, 2006. 376 с. ISBN 966-8458-88-5.
21. Швець О.П. Вивчення обладнання для механізованого зварювання в середовищі захисних газів (MIG/MAG): методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни «Технології та обладнання зварювання

металів і пластмас» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування». Львів: ЛНАУ, 2018. 19 с.

22. Швець О. П., Шеремета Р. Б., Коруняк П. С. Автоматизовані технології зварювання та різки металів. методичні рекомендації до виконання практичних робіт студентами другого (магістерського) рівня вищої освіти. Львів: ЛНУП, 2024 р. 67 с.

23. Швець О. П., Березовецький С. А., Коруняк П. С. Вплив параметрів режиму MIG-пайки на формування зварного шва. The 2nd International scientific and practical conference “Perspectives of contemporary science: theory and practice” (April 1 -3, 2024) SPC “Sciconf.com.ua”, Lviv, Ukraine. 2024. 341-344 p.p.

24. Швець О. П., Березовецький С. А., Коруняк П.С., Баранович С.М., Шеремета Р.Б. Вплив режимів MIG-паяння на параметри зварних швів з врахуванням синергетичного ефекту роботи зварювального півавтомата. Вісн. ЛНУП «Агроінженерні дослідження», № 28. Львів, 2024. С. 25-31.

25. Adak D., Mukherjee M., Pal T. Development of a Direct Correlation of Bead Geometry, Grain Size and HAZ Width with the GMAW Process Parameters on Bead -onplate Welds of Mild Steel. Transactions of the Indian Institute of Metals, v. 68, n. 5, 2015. p. 839-849.

26. American Welding Society (AWS), Welding Handbook, Volume 2 – Welding Processes, Part 1. 9th Edition. Miami: American Welding Society (AWS), 2004.

27. Bohnart E.R. Welding: Principles and Practices. 6TH Edition. New York. McGraw-Hill Education, 2017.

28. Correia E. C. Analysis and optimization of the TIG-MIG/MAG process variables on the welding bead geometry parameters. 113p. Master dissertation, Federal University of Goiás, Catalão, Goiás, 2021.

29. Degarmo E., Black J.; & Kohser R. DeGarmo's materials and processes in manufacturing. 11 th Edition. Wiley & Sons, 2012.

30. Fronius Welding Automation. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnohiiyi/informatsiya-pro-produkt/welding-automation?%C2%A0filter=2862>.

31. Kah Paul Chu. Welding of Sheet metal using Modified short arc MIG/MAG welding process. Master's thesis. 2007. 72 p.
32. MIG/MAG. Навчальні документи. [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://www.fronius.com/~/downloads/Perfect%20Welding/Training%20Documents/PW_TD_MIG_MAG_RU.pdf.
33. Mita, T. Progress of arc welding technologies. *J. of the JWS*, 69(3). 2000. 190-196.
34. Jeffus L. Welding principles and applications. Clifton Park, N.Y.: Delmar Cengage Learning, 2012.
35. Joshua Emuejevoke Omajene, Jukka Martikainen, Paul Kah. Effect of Welding Parameters on Weld Bead Shape for Welds Done Underwater. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*. Vol. 2, No. 6, 2014, pp. 128-134. doi: 10.11648/j.ijmea.20140206.17.
36. Saraev Y.N., Solodskiy, S.A., Ulyanova, O.V. (2016). Improving Processes of Mechanized Pulsed Arc Welding of Low-Frequency Range Variation of Mode Parameters, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 127, 12019. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/127/1/012019>.
37. Srivastava B. K., Tewari S. P. & J. Prakash, A review on effect of arc welding parameters on mechanical behaviour of ferrous metals/alloys. *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 1425-1432, 2010.
38. Sushant S Pawale. heoretical & experimental study of MIG/MAG welding technique. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* – Volume 24 Number 3. June 2015. P. 142-144.
39. Trans Synergic 4000/5000. CMT 4000 Advanced. Джерела струму MIG/MAG. Інструкція з експлуатації. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.fronius.com/~/downloads/Perfect%20Welding/Operating%20Instructions/42%2C0426%2C0114%2CRU.pdf>
40. Ueyama T. Trends in developments in gas shielded ARC welding equipment in Japan. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://patonpublishinghouse.com/as/pdf/2013/pdfarticles/11/8.pdf>