

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Обґрунтування технології та параметрів

зварювання магістрального трубопроводу

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МП_м-61
спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Робак Т.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Паньків В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Дячун А.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри

(підпис)
 « » Окіпний І.Б.
(прізвище та ініціали)
 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Робак Тарас Богданович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування технології та параметрів зварювання
 магістрального трубопроводу

Керівник роботи Паньків Віталій Романович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «16» листопада 2023 року № 4/7-1058

2. Термін подання студентом завершеної роботи . 20.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: ескізний проект деталі, базовий процес зварювання,
 магістральна труба

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

1. Аналітична частина. 2. Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська
 частина. 4. Проектна частина. 5. Безпека в надзвичайних ситуаціях, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів):
креслення труби магістрального трубопроводу, циклограма зварювання, форма струму,
 базовий технологічний процес зварювання

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>К.т.н., доц. Ткаченко І.Г.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Д.т.н., проф. Стадник І.Я.</i>		

7. Дата видачі завдання 16 листопада 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналітична частина</i>	16.11-20.11	
2	<i>Науково-дослідна частина</i>	21.11-30.11	
3	<i>Технологічно- конструкторська частина</i>	01.12-07.12	
4	<i>Проектна частина</i>	07.12-.11.12	
5	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	12.12-20.12	
6	<i>Графічна частина</i>	20.11-20.12	

Студент

(підпис)*Робак Т.Б.*_____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Паньків В.Р.*_____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Робак Т.Б. Обґрунтування технології та параметрів зварювання магістрального трубопроводу. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 131 Прикладна механіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2023.

Об'єктом дослідження є магістральний трубопровід.

Мета роботи – порівняльний аналіз застосування технологій механізованих способів зварювання при капітальному ремонті магістральних трубопроводів, визначення найбільш перспективного способу з технологічної та економічної точки зору.

У процесі дослідження проводилися розрахунки зварюваності сталі та необхідної температури підігріву, розрахунки режимів зварювання. Проведено обґрунтування вибору зварювальних матеріалів та зварювального обладнання. Розглянуто питання розробки технології виготовлення зварної конструкції. Розглянуто типи перенесення електродного металу. Наведено заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

В результаті дослідження було здійснено аналіз зварювання неповоротного стику механізованим способом у середовищі вуглекислого газу методом STT та самозахисної порошковим дротом. На підставі отриманих результатів було виявлено, що застосування даного способу має ряд переваг, одним з яких якісно виконаний кореневий шов.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, 5 розділів пояснювальної записки, 7 додатків і списку використаних джерел з 23 найменувань. Основний зміст пояснювальної записки виконано на 68 сторінках, має 16 рисунків і 14 таблиць.

Ключові слова: зварювання, магістральний трубопровід, ремонт, розрахунок, зварювання методом STT, зварювання самозахисним порошковим дротом, технічний контроль.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1. Опис зварної конструкції	9
1.2. Матеріал зварної конструкції	13
1.3 Технологічне зварювання металу зварної конструкції	15
1.4 Види капітального ремонту трубопроводів	19
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	15
2.1 Аналіз джерела живлення під час зварювання методом STT	20
2.2 Дослідження процесу механізованого зварювання методом	15
STT	23
3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
3.1 Характеристика зварювання в захисному газі електродом, що	
плавиться	31
3.2 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів	34
3.3 Типи перенесення металу під час зварювання в захисних газах	35
3.4 Вплив полярності струму на процес зварювання у захисних	35
газах	40
3.5 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів	42
3.6 Розрахунок режимів зварювання	47
4. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	
4.1 Розробка технології виготовлення зварного виробу	53
4.2 Обладнання та техніка механізованого зварювання	57
4.3 Технічний контроль якості та виправлення браку	60
5. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ТА ОХОРОНА	
ПРАЦІ	66
5.1 Безпека в надзвичайних ситуаціях	66
5.1.1 Аналіз основних шкідливих та небезпечних виробничих	
факторів на ділянці складання та зварювання виробу	66
5.1.2 Техніка безпеки під час зварювальних робіт	67

5.2 Охорона праці	69
5.2.1 Пожежна безпека	69
5.2.2 Охорона праці під час роботи з підйомними пристроями	70
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	73
ДОДАТКИ	75

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час у нашій країні розробляється та реалізується багато великих проектів з будівництва та ремонту магістральних та промислових трубопроводів.

При капітальному ремонті магістральних трубопроводів використовуються різні способи зварювання.

Актуальними завданнями при зварюванні є:

- зниження обсягу металу, що наплавляється;
- грамотна розробка технологічного оснащення та підготовка під зварювання;
- впровадження ефективної структури способу зварювання та парку зварювального обладнання.

Основним завданням всіх видів зварювання є якісне виконання зварювання неповоротних стиків труб. Головна проблема зварювання неповоротних стиків труб полягає в тому, що при зварюванні постійно змінюється просторове становище зварювальної ванни. На зварювальну ванну в кожному положення діє різний комплекс сил. Це ускладнює завдання формування кореневого та наступних шарів шва у зв'язку з виникненням пропалів, напливів та інших дефектів зварної шва.

Для прискорення процесу зварювання неповоротних стиків труб та отримання якісно виконаного зварного з'єднання широке застосування отримали механізовані методи зварювання.

Мета роботи: визначення найбільш перспективного способу механізованого зварювання з технологічної та економічної точки зору.

Завдання: розглянути можливість застосування механізованих способів зварювання у важкодоступних районах; розглянути типи перенесення електродного металу при механізованих способах зварювання; оцінити вплив типу перенесення якості зварного шва; провести порівняння механізованих способів зварювання з традиційною ручним дуговим зварюванням.

Метою дослідження є підвищення якості зварних з'єднань шляхом обґрунтування параметрів автоматизованого електродугового зварювання поздовжніх і кільцевих швів корпусу контейнера.

Об'єкт дослідження – технологічний процес зварювання магістрального трубопроводу.

Предмет дослідження – параметри та режими електродугового зварювання.

Отримані результати. Запропоновано удосконалену технологію збирання та технологічний процес електродугового зварювання магістрального трубопроводу.

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

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Окремі результати роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 2023 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

Публікації. Часткові результати досліджень за темою магістерської роботи опубліковано в 1 праці: збірник тез XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 2023 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається з вступу, 5 розділів пояснювальної записки, 7 додатків і списку використаних джерел з 23 найменувань. Основний зміст пояснювальної записки виконано на 75 сторінках, має 20 рисунків і 18 таблиць.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис зварної конструкції

Трубопроводи поділяються на промислові, магістральні та технологічні. По магістральних трубопроводах транспортуються весь природний газ, що видобувається, і майже вся нафта, а також більша частина продуктів нафтопереробки від місць переробки до місць споживання за промисловим трубопроводам транспортується продукт від місця видобутку до місцю переробки.

За призначенням нафтопроводи можна поділити на наступні три групи:

- промислові - трубопроводи, які з'єднують свердловини з різними технологічними об'єктами та установками підготовки нафти на місця видобутку;

- магістральні - трубопроводи, що служать для транспорту товарної нафти з районів видобутку, виробництва чи зберігання споживачам.

Магістральний нафтопровід має високу пропускну здатність, великою протяжністю, великим діаметром від 219 до 1400 мм та високим тиском від 1,2 до 10 МПа;

- технологічні - трубопроводи, які призначені для транспорту різних технологічних рідин, що забезпечують роботу технологічного обладнання, у межах підприємства.

Магістральним нафтопроводом прийнято називати інженерно-технічну споруду, що складаються з підземних, підводних, наземних та надземних трубопроводів, сховищ нафти та інших технологічних об'єктів, що забезпечують транспортування, приймання, здачу нафти споживачам чи перевалку нафти в інший вид транспорту.

До складу магістральних нафтопроводів входять лінійні споруди, головні та проміжні нафто-перекачувальні станції, пункти наливу нафти та резервуарні парки.

Лінійні споруди згідно з СНіП 2.05.06 – 85 включають, власне, сам магістральний нафтопровід, який має відгалуження та лупінги, запірну арматуру, переходи через природні та штучні перешкоди, вузли підключення, вузли пуску та прийому очисних пристроїв, лінії та об'єкти для технологічного зв'язку, засоби телемеханіки, ЛЕП для забезпечення електропостачання об'єктів трубопроводу, засоби захисту від пожеж, протиерозійні споруди для захисту трубопроводу від розмивів та зсувів, земляні комори для аварійного скидання нафти, будівлі та споруди лінійної аварійно-експлуатаційної служби, вздовж трасові дороги, вертолiтні майданчики, під'їзні шляхи, розпізнавальні та попереджувальні знаки, пункти підігріву нафти.

Підземна схема прокладки є найпоширенішою (біля 98% загального обсягу лінійної частини, що споруджується). За цієї схеми позначка верхньої утворюючої труби розташовується нижче за позначку денної поверхні ґрунту. Глибина закладання трубопроводів (від верху труби) залежить від діаметра від особливих геологічних умов, наприклад, для підтримки певної температури нафти, рельєфу та характеристики ґрунтів місцевості і повинна бути не менше (м): 0,8 при Ду < 1000 мм; 1,0 при Ду ≥ 1000 мм.

Магістральні нафтопроводи в залежності від діаметра ділять на чотири класи: I клас - з Ду 1000-1220 мм, II клас - з Ду 500-1000 мм, III клас - Ду 300-500мм, IV клас Ду < 300 мм.

Товщина стінок труб визначається проектним тиском у трубопроводі. Трубопровід, прокладається по районах з вічномерзлими ґрунтами або через болота, можна укладати на опори або штучні насипи.

При перетині нафтопроводом великих річок, закріплення його на дні річки здійснюється за допомогою спеціальних залізобетон вантажів – обтяжувачів або спеціальним анкерами, або прокладання здійснюється нижче за рівень дна річки.

Для забезпечення безпеки, крім основної нитки, споруджується резервна нитка через перехід аналогічного діаметра. На перетинах залізниць і великих шосейних доріг трубопровід проходить в патроні з труб, діаметр яких на 100 - 200 мм більший за діаметр трубопроводу.

Запірна арматура на лінійній частині встановлюється з інтервалом 10 - 30 км залежно від рельєфу траси для забезпечення перекриття ділянок у разі виникнення аварії або проведення ремонту.

Уздовж траси проходять лінії зв'язку, що мають диспетчерське призначення.

Вони можуть використовуватися для передачі сигналів телеметрії, для контролю за процесом перекачування. Станції катодного та дренажного захисту, протектори, розташовані по довжині траси, є доповненням до ізоляційного покриття для забезпечення захисту від корозії.

Проміжні НПС споруджують з метою забезпечення подальшого процесу перекачування, так як частина енергії потоку нафти витрачається на подолання сил тертя. Їх розмішають трасою через кожні 50 – 200 км, в відповідно до гідравлічного розрахунку.

Перекачують станції обладнуються в основному відцентровими насосами з приводами від електродвигунів. Подача сучасних магістральних насосів може досягати до 12500 м³/год. На початку нафтопроводу розташовується головна нафто перекачувальна станція (ГНПС), вона знаходиться недалеко від нафтового промислу.

Основною відмінністю ГНПС від проміжних НПС є те, що вона має резервуарний парк, обсяг якого дорівнює тридобовій пропускній Можливості нафтопроводу. Крім основних споруд, на насосних станціях є комплекси допоміжних об'єктів, до них відносяться трансформатори, котельні, системи водопостачання, каналізації та інші.

Нафтопроводи великої протяжності розбивають на експлуатаційні ділянки для забезпечення незалежної роботи насосного обладнання на цих ділянках. Протяжність ділянок може становити від 100 км. до 300 км.

Кінцевим пунктом нафтопроводу може бути нафтопереробний завод, перевалочна база для перевалки на інший вид транспорту, морський нафтоналивний термінал для відвантаження нафти в танкери та експорту її за кордон.

Труби, зварені в безперервну нитку, є основним елементом магістрального нафтопроводу. Зварна конструкція являє собою дві труби, зварених між собою, як представлено на рис. 1.1.

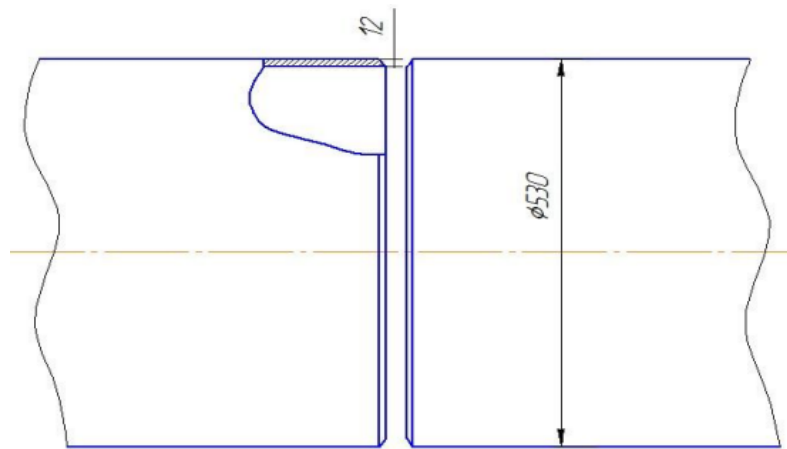


Рисунок 1.1 – Схема стику магістрального трубопроводу

Для спорудження та капітального ремонту лінійної частини магістральних нафтопроводів можуть бути використані зварні прямо шовні та спіральні шовні труби, виготовлені з низьковуглецевих або низьколегованих сталей.

Труби поставляються відповідно до державних стандартів або за технічними умовами, що затверджуються в установленому порядку.

Дані порядок визначено в інструкції із застосування сталевих труб газової та нафтової промисловості (Р 51-31323949-58-2000).

Кожна труба чи партія труб має мати сертифікат заводу. У цьому сертифікаті зазначаються регламентуючі стандарти чи технічні умови прийнятно-здавальних характеристик.

Овальність кінців труб (відношення різниці між найбільшим і найменшим діаметром до номінального діаметру) не повинна перевищувати 1% від номінального діаметра для труб із товщиною стінки менше 20 мм.

Допускається кривизна труб до 1,5 мм на її ділянці довжиною до одного метра. Сумарна кривизна труби має бути не вище 0,2 % від довжини всієї труби. Кінці труб обрізають під прямим кутом. Відхилення від перпендикулярності зрізу повинна бути в межах 1,6 мм.

У металі труб не допускаються тріщини, рванини, а також розшарування, що перевищують межі, які встановлені нормативними документами з їхньої поставки.

Не допускається розшарування, що виходять на торці труб.

1.2 Матеріал зварної конструкції

Для виготовлення труб, що працюють при різних температурах використовується низьколегована конструкційна сталь 14ХГС. Сталь 14ХГС володіє гарантованими механічними характеристиками та хімічним складом, високою опірністю крихкому руйнуванню при низьких температурах та підвищеної корозійної стійкості.

Застосування:

- електрозварювальні труби магістральних трубопроводів високого тиску;
- зварювальні конструкції, листові, клапанні конструктивні деталі.

Легованими називаються сталі, що містять спеціально введені елементи. Марганець – легуючий компонент при його утриманні у сталі більше 0,7% за нижньою межею, а кремній понад 0,4%.

Вуглецеві сталі з підвищеним вмістом марганцю відносять до низьколегованих конструкційних сталей. Легуючі елементи, які вводять у сталь, змінюють її властивості, вступаючи у взаємодію з залізом і вуглецем. призводить до підвищення механічних властивостей сталі.

Сталь 14ХГС низьколегована конструкційна хромо-кремнево-марганцевого типу. Мікроструктура ферито-перлітна.

Наявний марганець в сталі 14ХГС підвищує ударну в'язкість, сприяє зменшенню вмісту кисню в сталі, забезпечуючи задовільний зварюваність. Кремній вводиться як розкислювач та зміцнюючий елемент.

Хром вводиться для підвищеної стійкості до корозії. Порівняно з іншими низьколегованими сталями з цієї сталі виходять зварні з'єднання з більш високою міцністю при змінних та ударних навантаженнях.

При виробництві зварних конструкцій широко використовують конструкційні сталі, з низьким вмістом вуглецю та легуючих елементів. Загальний вміст легуючих елементів у таких сталях зазвичай вбирається у 4,0 %, а вуглецю 0,25 %.

Хімічний склад сталі 14ХГС, наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 14ХГС, %

C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	Cr, %	Cu, %	S, %	P, %
0,11-0,16	0,4-0,7	0,9-1,3	до 0,3	0,5-0,8	до 0,3	до 0,04	до 0,035

Якість та властивості матеріалів повинні задовольняти вимогам відповідних стандартів та технічних умов та підтверджуватись сертифікатів постачальників.

При відсутності або неповноті сертифіката або маркування виробник труб повинен провести всі необхідні випробування з оформленням їх результатів протоколом, який доповнює або замінює сертифікат постачальника матеріалу.

У сертифікаті має бути вказаний режим термообробки напівфабрикату на підприємстві-виробнику.

Механічні характеристики сталі 14ХГС, наведені в табл. 1.2, де: σ_t - межа плинності; σ_b - тимчасовий опір розриву; δ_5 -відносне подовження при розриві; КСУ – ударна в'язкість.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 14ХГС за нормальної температури 20⁰ С

σ_b , МПа	σ_t , МПа для толщин до 20 мм	δ_5 , % для толщин до 20 мм	КСУ, кДж/м ²
490	345	22	340-390

Дана сталь містить знижену кількість сірки та фосфору, застосовується при виготовленні зварних конструкцій у більшому обсязі стан постачання, після термічної обробки (нормалізації).

Ведуться роботи з термічного зміцнення цих сталей (загартування з відпусткою).

1.3 Технологічне зварювання металу зварної конструкції

Зварювання - властивість металу або комбінації форми металів за допомогою встановленої технології зварювання з'єднання, яке відповідає вимогам, належна конструкція або експлуатація продукту.

Зварювання металу залежить від його хімічних та фізичних властивостей, кристалічна решітка, ступінь сплаву, наявність домішок та інших фактори.

Зварювання сталі становить 14 гг:

1. Без обмежень - зварювання проводиться без нагрівання та без подальшого термічна обробка.

2. Обмежене зварювання - зварювання можливе при нагріванні до 100-120 ° С та подальша термічна обробка.

3. Важко зварювальна - для отримання зварних швів високої якості. Потрібні додаткові операції: під час зварювання на 200-300 ° С, термічна обробка після зварювання - відпал.

Великий вплив на зварювання металів та сплавів має свої хімічний склад. Зварювання вуглецевої сталі змінюється в залежно від змісту основних домішок. Вуглець - це найбільше важливий елемент у складі сталі, який визначає майже всі основні властивості сталі в процесі переробки, включаючи зварювання.

З збільшення вмісту вуглецю в сталі погіршується. У Кучеряві зони виявляються загартовуванням структур і тріщин, а шов ще виходить пористим. Тому для отримання високоякісної звареної конструкції повинні застосовувати різні технологічні прийоми.

На рис. 1.2 показаний тепловий цикл зварного з'єднання.

Кожен метал складається з найдрібніших зерен. Ці зерна можна бачити на зламі. Структурою металу називають сукупність усіх зерен у ньому. У метали розрізняють макро- та мікроструктуру. Макроструктуру можна розглянути неозброєним оком та при збільшенні. Мікроструктура – структура металу, яка вивчається зі збільшенням 60 – 100 раз.

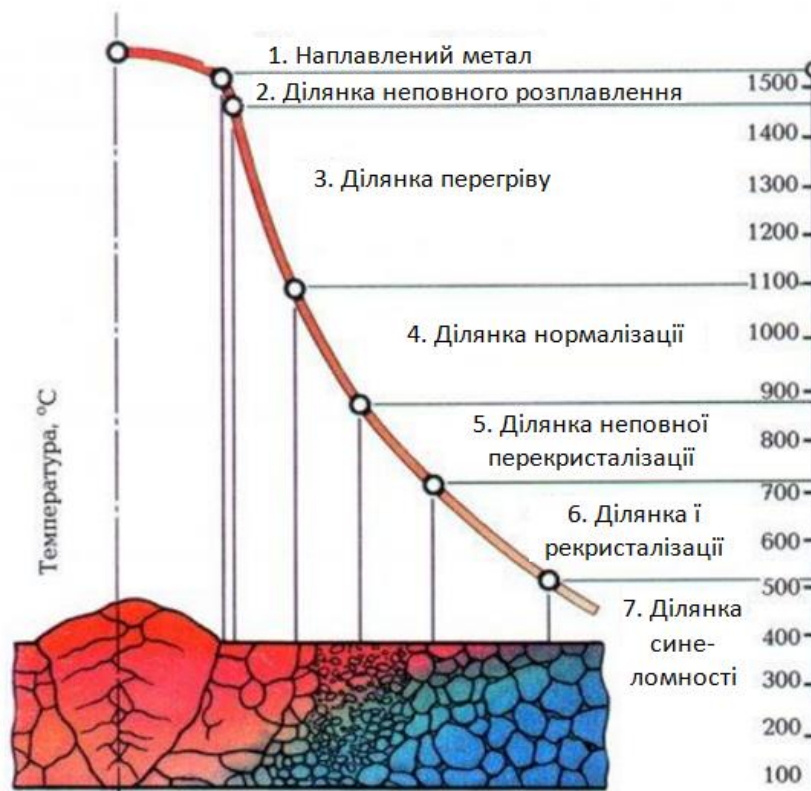


Рисунок 1.2 - Тепловий цикл зварного з'єднання

На ділянці 1 метал знаходився в розплавленому стані, затвердівши, утворив зварний шов, який має литу структуру зі стовпчастих кристалів. Дана структура металу шва є грубою, що несприятливо позначається на шві, оскільки відбувається зниження міцності та пластичності металу. Зона термічного впливу складається кількох структурних ділянок, які відрізняються формою та будовою зерна, ці відмінності викликані різною температурою нагріву близько 1530 °С.

Ширина ділянки 1 становить приблизно половину ширини шва.

Ділянка неповного розплавлення 2 - ділянка, на якій відбувається перехід від металу, що наплавляється до основного. Тут утворюється з'єднання і в цьому місці проходить межа сплавлення, яка є дуже вузьку область (0,1-0,4 мм) основного металу, де відбувається нагрівання до часткового оплавлення зерен. У цьому місці відбувається значне зростання зерен, накопичуються домішки, тому через це ця ділянка є найслабшим місцем зварного з'єднання. Міцність та пластичність тут знижено, порівняно з основним металом. Температура ділянки становить 1530-1470 °С.

Ділянка перегріву 3 - область основного металу, що нагрівається до температури 1470 - 1100°C, через це метал має крупнозернисту структуру та знижені механічні властивості. (Пластичність і ударну в'язкість). Чим ширша зона перегріву і чим більше зерно, тим нижче ці властивості. Ширина ділянки 3 становить 3 - 4 мм.

Ділянка нормалізації 4 - область, де метал нагрівається від 880 до 1100°C. Процес перекристалізації металу на цій ділянці відбувається без перегріву внаслідок чого через нагрівання та охолодження утворюється дрібнозерниста структура, внаслідок цього метал даної ділянки має високими механічними властивостями. Ширина ділянки 4 становить 0,2 - 0,4 мм.

Ділянка неповної перекристалізації 5 - металу в цій зоні при зварюванні нагрівається до температур 720 - 880°C. Неповна перекристалізація через, викликану недостатнім часом і температурою нагрівання.

Структуру цієї ділянки можна охарактеризувати як суміш дрібних зерен, які встигли перекристалізуватися, та великих зерен, які не встигли пройти процес перекристалізації. Порівняно з попередньою ділянкою, метал цієї ділянки має нижчі механічні властивості. Ширина його становить 0,1-3 мм.

Ділянка рекристалізації 6 — метал у цій галузі нагрівається до температур у діапазоні від 510 до 720°C. Якщо перед процесом зварювання сталь була схильна до прокатки, кування, штампування, тобто. випробувала холодну деформацію, то в цій зоні відбувається рекристалізація, внаслідок чого відбувається зростання зерна металу, структура стає грубішою, як наслідок, усе це веде до розміцнення. Ширина ділянки 6 складає 0,1 - 1,5 мм.

Ділянка 7. У цій галузі нагрівання йде до температур 200 - 510°C. Цей ділянка є перехідною від зони термічного впливу до основного металу. У цій зоні можливе випадання карбідів заліза та нітридів через процесів старіння, які можуть відбуватися у цій зоні. З цієї причини механічні властивості металу для цієї зони знижуються.

Зварне з'єднання має бути досить міцним для забезпечення надійності конструкції, тому технологія зварювання має забезпечувати максимальну продуктивність та економічність процесу зварювання.

Для отримання нормальної працездатності зварних з'єднань зварюваність необхідно оцінювати виходячи з таких положень:

- одержання зварної бездефектної сполуки, а особливо без холодних та гарячих тріщин;
- отримання мікроструктури, міцності та в'язкості зварної сполуки, що забезпечують надійність в експлуатації у заданих температурних умовах;
- необхідність вживання спеціальних технологічних заходів при зварюванні (підігрів, регулювання погонної енергії та ін.);
- необхідність проведення термообробки.

Приблизним показником зварюваності стали відомого хімічного складу є еквівалентний вміст вуглецю. У залежності від еквівалентного вмісту вуглецю сталі зварюваності ділять на чотири групи: добре, задовільно, обмежено та погано сталі, що зварюються.

Ми будемо використовувати методологію для визначення повного еквівалента вуглецю. Щоб знайти необхідне значення [5]:

$$\sum C_3 = C_3 + C_p, \quad 1.1$$

де C - хімічний еквівалент вуглецю, C_p - це розмір, еквівалентний вуглецю.

Еквівалентний вміст вуглецю визначається формулою:

$$C_3 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}, \quad 1.2$$

де C , Mn , Cr , Ni , Cu , P - відсоток легованих елементів у металі шва.

$$C_3 = 0,16 + \frac{1,3}{6} + \frac{0,8}{5} + \frac{0,3}{15} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,035}{2} = 0,6.$$

Ми визначаємо еквівалент розміру вуглецю:

$$C_p = 0,005 \cdot \delta \cdot C_3, \quad 1.3$$

де δ - товщина зварної сталі, мм.

$$C_p = 0,005 \cdot 12 \cdot 0,6 = 0,036.$$

Знаходимо повний еквівалент вуглецю

$$\sum C_3 = 0,6 + 0,036 = 0,636.$$

Повний вуглецевий еквівалент $c > 0,45$, отже, ця сталь належить до IV групи зварюваності, а це означає, що зварювання повинно здійснюватися з Попереднє або споріднене нагрівання та термічна обробка кінця зварювання.

Температура, необхідна для нагріву, визначається наступним шляхом:

$$T_n = 350 \cdot \sqrt{\sum C_s - 0,25} = 350 \cdot \sqrt{0,636 - 0,25} = 217^\circ\text{C}. \quad 1.4$$

Сталь із вмістом до 0,2% C має високу критичну швидкість охолодження під час затвердіння, тому після зварювання в розтопленому металі та в зоні термічного розплавлення не утворює структури окалини. Низьковуглецеві та низьколеговані сталі зварюються майже будь-якими методами зварювання.

1.4 Види капітального ремонту трубопроводів

Капітальний ремонт магістрального трубопроводу – це комплекс технічних заходів, спрямованих на повне чи часткове відновлення лінійної частини експлуатованого нафтопроводу до проектних показників з урахуванням вимог чинних нормативних документів.

Капітальний ремонт лінійної частини магістральних трубопроводів поділяється на такі види: із заміною труб; із заміною ізоляційного покриття; вибіркового ремонту.

Капітальний ремонт магістральних трубопроводів із заміною труб проводиться такими способами: укладанням ділянки трубопроводу, що знову прокладається, в загальну з ділянкою, що замінюється траншею, з подальшим демонтажем останнього; укладанням ділянки трубопроводу, що знову прокладається в окрему траншею в межах існуючого технічного коридору комунікацій, з наступним демонтажем ділянки, що замінюється; демонтажем заміної ділянки трубопроводу та укладанням знову.

Вибірковий ремонт включає: ремонт ділянки трубопроводу з усуненням дефектів стінки труби або з установкою муфти; ремонт ділянки трубопроводу із заміною «котушки», труби, вузла лінійної арматури.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз джерела живлення під час зварювання методом STT

Джерело живлення зварювальної дуги має відповідати наступним вимогам:

- забезпечувати необхідну для цього технологічного процесу силу струму дуги та напруга дуги;
- мати необхідний вигляд зовнішньої характеристики, щоб виконувати умови стабільного горіння дуги;
- мати такі динамічні параметри, щоб можна було забезпечити нормальне збудження дуги та мінімальний коефіцієнт розбризування.

Зварювальний апарат Lincoln Electric Invertec STT II з революційною технологією STT® II, являє собою інвенторне зварювальне джерело з високою частотою перетворення, в якому застосована покращена технологія управління формою зварювального струму (Waveform Control Technology®), що забезпечує значні переваги в порівнянні з традиційною MIG-зварюванням короткими замиканнями.

Особливості зварювального апарату:

1. Кероване проплавлення та тепло-вкладання – ідеально для зварювання з'єднань з відкритим зазором між деталями або тонколистових матеріалів, де вкрай неприпустимі пропали деталей, що зварюються.
2. Низький рівень розбризування металу та мінімальний викид зварювальних газів, завдяки автоматичному контролю зварювального струму та оптимізації процесу перенесення металу.
3. Можливість використання різних газів та сумішей – технологія STT® II дозволяє використовувати різні типи захисних газів та їх сумішей: аргон або 100% CO₂ для дроту великого діаметра.
4. Хороший вид шва та більш висока швидкість зварювання без шкоди якості та зовнішній вигляд шва, або процес STT.

Абревіатура STT розшифровується як "Surface Tension Transfer" (переклад: «Передача поверхневого натягу») здатний замінити традиційний спосіб аргоно-дугового зварювання.

5. Параметри, що регулюються: базовий струм, час спаду заднього фронту імпульсу та піковий струм - дозволяють точно встановити величину тепло-вкладання, зменшити ймовірність пропалення та встановити потрібне проплавлення.

6. Контроль над швидкістю подачі та напругою.

7. Режим тригера пальника 2-х та 4-х тактний.

8. Яскравий, цифровий дисплей вольтметра та амперметра.

Спеціалізований комплект обладнання для зварювання самозахисного порошковим дротом, розроблений і випускається фірмою Lincoln Electric, включає наступне:

- спеціальне джерело зварювального струму - Idealarc DC-400, Invertec V350-PRO, Invertec V300-I, SAM-400 та джерела типу Commander різних модифікацій;

- адаптер моделі K350 чи K350-1;

- механізм подачі порошкового дроту LN-23P;

- зварювальний пальник K345 зі шлангом та кабелями.

Застосування: багатфункціональне напівавтоматичне зварювання Invertec V350-Pro з використанням імпульсних та програмованих режимів, електродугове зварювання покритим електродом, електродугове стружка.

Оснащення: Джерело зварювального струму інвенторного типу.

Універсальна модель, з жорсткою і зовнішньою характеристикою, що подає.

Вбудований цифровий амперметр та вольтметр. Регульовані функції "Hot Start" - тимчасове збільшення зварювального струму в момент запалення дуги, "Arc Force" - регулювання струму короткого замикання, дозволяє керувати зварювальною дугою роблячи її "м'якою" або "жорсткою", "Touch-Start" - запалення дуги точковим торканням. Спеціалізовані імпульсні режими "Power Mode" та "Pulse-on-pulse". Роз'єм ПДК. Підключення ПК через SRS.

Регулювання: вихідна потужність, вибір зварювального процесу, налаштування динамічні властивості дуги, форсаж дуги, рівень гарячого стану.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики зварювальних напівавтоматів Invertec V350-Pro та Lincoln Electric Invertec STT II

Найменування	Lincoln Electric Invertec STT II	Invertec V350-Pro
Напруга живлення мережі, В	380	380
Частота живлення мережі, Гц	50/60	50/60
ПВ 60%, А	225	225
ПВ 100%, А	200	200
Номінальна потужність при максимальному струмі, кВт	6,8	6,8
Діапазон зварювального струму, А	5-450	До 350
Напруга холостого ходу, В	85	85
Споживана потужність холостого ходу, Вт	40	40
ККД при ПВ 100%	0,85	0,85
Діаметр дроту, мм	1-1,6	1-1,6
Швидкість подачі дроту, м/хв	0,9-19,1	0,9-19,1
Діапазон регулювання напруги, В	15-36	15-36
Габаритні розміри, мм	590-340-220	380-340-700
Маса, кг	53	36

Механізоване зварювання методом STT служить для односторонньої напівавтоматичного зварювання дротом суцільного перерізу в середовищі вуглекислого газу кореневого шва неповоротних стиків труб діаметром 325-1220 мм із товщиною стінок до 20 мм включно.

Також таким методом можна для зварювати всі шари шва стиків аналогічних діаметрів із товщиною стінки до 12 мм.

Процес перенесення краплі у зварювальну ванну відбувається за допомогою сил поверхневого натягу. Цей процес схожий на процес перенесення короткими замиканнями, що реалізований при дуговому зварюванні в середовищі захисних газів, але з однією відмінністю - зварювальна ванна втягує в себе розплавлений метал з кінця електродного дроту за рахунок сил поверхневого натягу.

Електромагнітна стискаюча дія, яка виникає при Пінч-ефекті, сприяє відокремленню краплі, але не є основою механізму перенесення, як це спостерігається при звичайному зварюванні короткими замиканнями.

Цей вид перенесення забезпечує скорочення розбризкування та димоутворення на відміну від традиційних методів зварювання. Простота використання цього методу дозволяє значно знизити можливість утворення несплавлень. У процесі зварювання над зварювальною ванною забезпечується гарний контроль. При використанні цього методу від зварювальника не потрібно високої кваліфікації, щоб виконати зварне з'єднання високої якості. Ще гідністю даного способу є те, що простота процесу STT сприяє скороченню часу навчання зварювальників.

2.2 Дослідження процесу механізованого зварювання методом STT

STT - це модифікований метод передачі металу за допомогою короткого замикання, який використовує джерело живлення високочастотного інвертора для контролю швидкості передачі металу. На відміну від інших вольт-напругних машин GMAW, машина STT не має ручки регулювання напруги. Робота виконується без будь-яких змін налаштувань напруги. При цьому будь-які коливання довжини присадкового дроту не впливають на теплотворну здатність, оскільки джерело живлення забезпечує керування присадкового дроту без залежності від швидкості подачі дроту під час процесу. Це вказує на те, що різний ступінь струму (вищий або менший) може бути використаний без приєднання нового дротяного електрода.

Техніка STT використовує передову електронну технологію, відому як технологія контролю форми хвилі, яка оптимізує зварювальний струм (форму хвилі) і характеристики дуги для конкретної роботи. Ця технологія контролює та регулює поверхневий натяг краплі наповнювача, коли вона прилипає до зварювальної ванни. Для цього використовується високошвидкісний інвертор, який точно налаштовує форму вихідного струму протягом фази замикання.

Джерело живлення, яке керує процесом STT, не працює ні в режимі постійної напруги, ні в режимі постійного струму. Скоріше він регулює первинні модулі форми струму STT, тобто фоновий струм, піковий струм і кінцевий струм. Форма хвилі струму має особливу криву, яку можна класифікувати на чотири основні фази, що відповідають п'яти стадіям відділення крапель і генерації дуги.

Рисунок 2.1 ілюструє форму хвилі струму STT разом із відділенням краплі від дрютяного електрода та повторним запалюванням дуги.

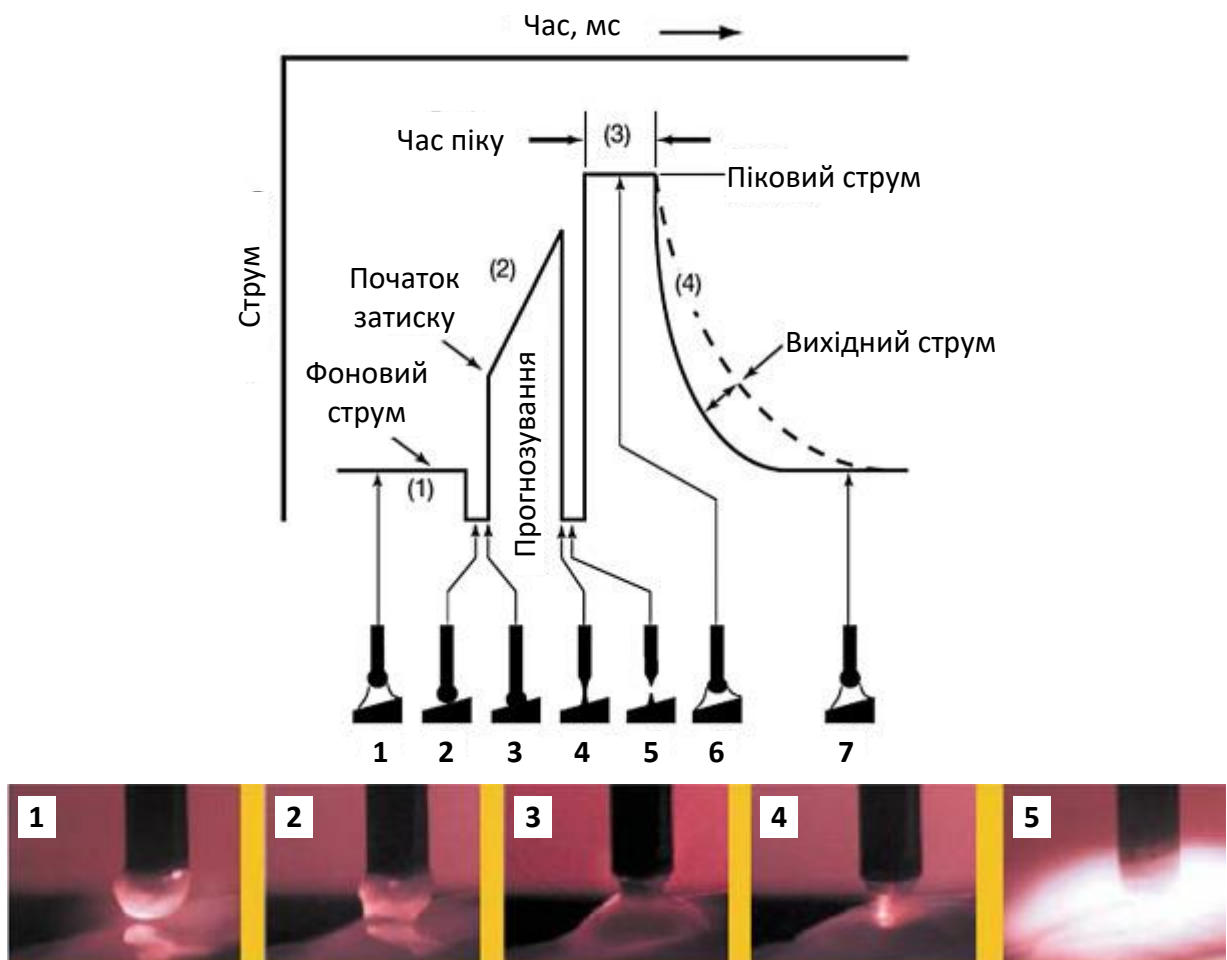


Рисунок 2.1 – Форма струму STT з відділенням крапель і повторним запалюванням дуги

Характеристику аналізу фази первинних модулів і процесу зварювання методом STT наведено в табл. 2.2.

Компанія «Lincoln Electric» цілеспрямовано для процесу STT розробила 225-амперне інвенторне джерело живлення Invertec STT II, що реалізує технологію управління формою зварювального струму.

Таблиця 2.2 – Характеристика аналізу фази первинних модулів і процесу зварювання методом STT

№	Етап/Фаза	Крок	Опис
1	Фоновий струм	1	Розплавлений край присадного дроту торкається зварювальної ванни на фоновій фазі.
		2	Фоновий струм зменшується до низького рівня, щоб можна було уникнути передчасного відділення крапель.
2	Пінч-ефект	3	Тут струм швидко зростає, і починається пінч-ефект (електромагнітна сила). Він відокремлює розплавлену краплю, одночасно контролюючи усадку рідкого містка від дротяного електрода.
3	Відокремлення краплі (струм фону)	4	Коли відрив розплавленої краплі наближається до того, щоб відбутися від кінчика присадного дроту, джерело живлення регулює силу струму, зменшуючи її до нижчого значення, ніж рівень фонового струму. Таким чином, сили поверхневого натягу спадають, і розплавлена крапля плавно переноситься в зварювальну ванну. Це організоване розділення відбувається без розбрикування.
		5	Джерело живлення підвищує значення сили струму до максимального рівня. Сила анода струменя притискає розплавлену зварювальну ванну, щоб уникнути повторного приєднання дротяного електрода. Коли струм падає нижче рівня фонового струму, фаза хвоста надає додаткову енергію розплавленій краплі. Ця додаткова енергія підвищує текучість зварювальної ванни, що призводить до кращого змочування зварного шва.
4	Піковий час (піковий струм)	6	Тут утворення нової краплі починається з утворенням плазмової сили. Сила штовхає зварювальну ванну від розплавленої краплі, щоб уникнути випадкового короткого замикання. На цьому етапі піковий струм контролює встановлення дуги та забезпечує достатню енергію для нагрівання основного металу для чудового плавлення.
5	Кінцевий струм	7	Фаза кінцевого виходу використовується для забезпечення енергією розплавленої краплі для швидкого руху та кращого змочування носка зварного шва. Значення хвоста залишається низьким у більшості випадків зварювання труб.

У процесі зварювання форма вихідного струму регулюється певним чином, внаслідок цього домагаються вищезгаданих переваг. Invertec STT II має на відміну від звичайних зварювальних апаратів.

Він не є ні джерелом з жорсткою характеристикою, ні джерелом з круто падаючою характеристикою. Invertec має зворотний зв'язок, за допомогою якого відстежуються основні етапи перенесення краплі та процеси, що відбуваються між електродом та зварювальною ванною.

При необхідності апарат автоматично змінює величину та форму зварювального струму.

Джерело не регулює напругу на дузі. Напруга, яка необхідно дузі, автоматично встановлюється джерелом. Через це кількість тепла, що вводиться у зварювальну ванну, не залежить від швидкості подачі дроту.

Крім цього, умови контролю за формуванням зварювальної ванни покращуються. Пінч-ефект автоматично контролюється джерелом.

Процес STT особливо рекомендований при зварюванні труб із зазором для виконання корневих швів.

Процес перенесення металу та форми струму і напруги методу зварювання STT наведено на рис. 2.2, а циклограму методу STT - на рис. 2.3.

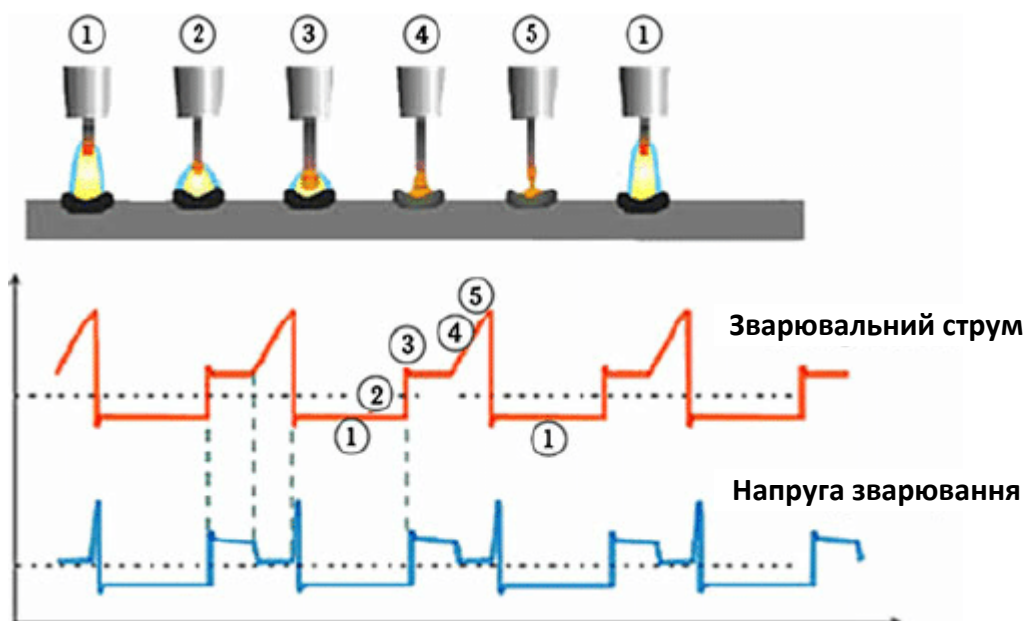


Рисунок 2.2 – Процес перенесення металу та форми струму і напруги методу зварювання STT

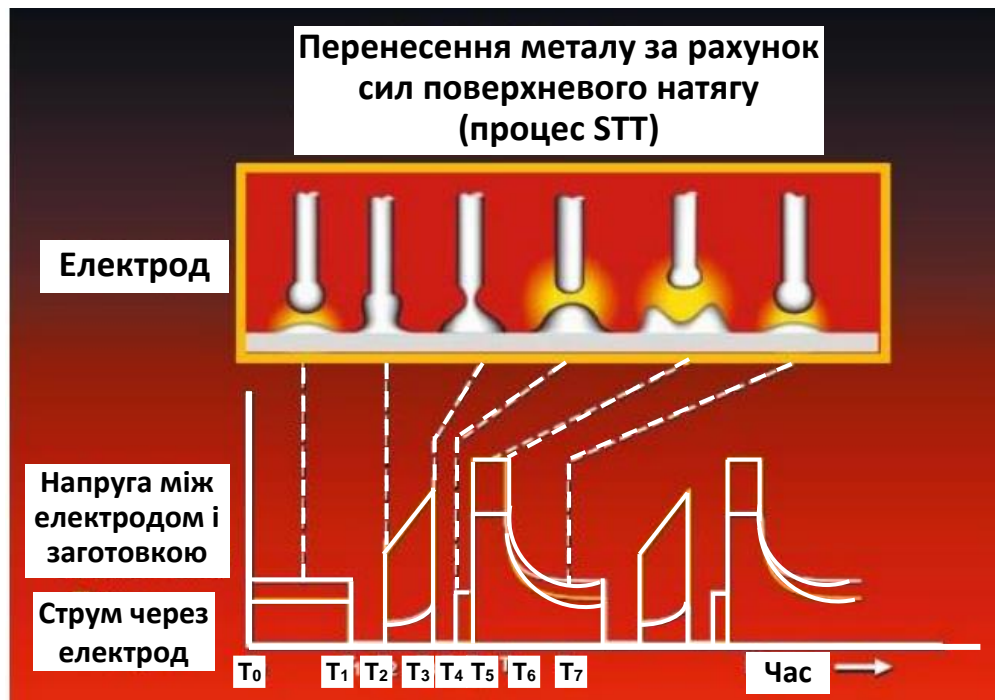


Рисунок 2.3 – Циклограма методу зварювання STT

Аналіз циклограми методу зварювання STT:

1. T_0 - T_1 - базовий струм - це значення струму дуги до короткого замикання зі зварювальною ванною. Це постійне значення може бути встановлено між 50 та 100А.

2. T_1 - T_2 - формування краплі - при першому ж замиканні електрода на зварювальну ванну при базовому струмі детектор різниці потенціалів на дузі виявляє це замикання. Базовий струм знижується до значення 10А та утримується у цьому значенні приблизно 0,75 мсек.

3. T_2 - T_3 – у цьому інтервалі часу відбуваються:

- обтискання краплі: слідом за формуванням краплі струмів на замороченому електрод зростає. Перенесення розплавленого металу у зварювальну ванну прискорюється рахунок ефекту обтискання. Електричний опір між електродом і краплею в цій фазі не дорівнює нулю через високий опір металу, нагрітого до температури плавлення.

- обчислення швидкості зміни напруги - переріз шийки, з'єднує електрод з краплею, на цій фазі зменшується через обтискання, і опір шийки зростає. Пропорційно зростанню опору змінюється та різниця потенціалів.

Досягнення швидкості зміни напруги певного значення вказує на те, що перетин досяг критичного значення та крапля готова відокремитися. Струм зменшується до 5А протягом мікросекунд. Це відбувається до того, як електрод виходить із короткого замикання зі зварювальною ванною.

4. T4 - відділення краплі - власне відділення краплі відбувається в момент T4 за низького струму. Після того, як шийка між каплею та електродом сильно звужується, зменшується сила поверхневого натягу, яка діє краплю з боку електрода. За рахунок сил поверхневого натяги, що діють з боку зварювальної ванни на краплю, крапля м'яко відокремлюється і плавно з'єднується зі зварювальною ванною.

5. T5-T6 – зростання плазмового стовпа – після відділення краплі та переривання короткого замикання між електродом і зварювальною ванною, електрод подається високий струм, який знову викликає плавлення електрода та підтримка довжини дуги. Форма ділянки електрода, що плавиться в цей момент дуже вибаглива. Реактивні сили, що діють на електрод зі сторони катода зварювальної ванни, підтискають вгору почату формуватися краплю, подовжуючи дугу та виключаючи можливість передчасного виникнення короткого замикання.

Одночасно високе значення струму, що діє на цій фазі, виконує завдання покращення сплавлення та змочування, на короткий час розширюючи дугу та викликаючи сильний ефект катодного прогрівання. При традиційному ж процесі збільшення струму для покращення сплавлення породжує серію некерованих коротких замикань, утворюючи величезну кількість зварювальних бризки.

6. T6-T7 – стабілізація – у цей період відбувається плавне зниження струму до величини базового, запобігаючи тому, що веде до перемішування зварювальної ванни кидок через раптову різку зміну величини електродинамічних сил, що діють на зварювальну ванну

При необхідності, для покращення прогріву заготовки - на цій фазі можна вказати підвищене значення базового струму.

Механізоване зварювання методом STT може бути використане в склад наступних технологічних варіантів зварювання:

- кореневий шар шва виконується механізованим зварюванням методом STT, що заповнюють та облицювальний шари шва – механізованим зварюванням самозахисним порошковим дротом типу Іннершилд;

- кореневий шар шва виконується механізованим зварюванням методом STT, що заповнюють та облицювальний шари шва – ручним дуговим зварюванням електродами з основним видом покриття методом "підйом";

- кореневий шар шва виконується механізованим зварюванням методом STT, що заповнюють та облицювальний шари шва – ручним дуговим зварюванням електродами з основним видом покриття методом "на спуск";

Спеціалізований комплект обладнання для зварювання самозахисного порошковим дротом, розроблений і випускається фірмою Lincoln Electric, включає наступне:

- спеціальне джерело зварювального струму - Idealarc DC-400, Invertec V350-PRO, Invertec V300-I, SAM-400 та джерела типу Commander різних модифікацій;

- адаптер моделі K350 чи K350-1;

- механізм подачі порошкового дроту LN-23P;

- зварювальний пальник K345 зі шлангом та кабелями.

Застосування: багатofункціональне напівавтоматичне зварювання Invertec V350-Pro з використанням імпульсних та програмованих режимів, електродугове зварювання покритим електродом, електродугове стружка.

Оснащення: Джерело зварювального струму інверторного типу. Універсальна модель, з жорсткою і зовнішньою характеристикою, що подає.

Вбудований цифровий амперметр та вольтметр. Регульовані функції "Hot Start" - тимчасове збільшення зварювального струму в момент запалення дуги, "Arc Force" - регулювання струму короткого замикання, дозволяє керувати зварювальною дугою роблячи її "м'якою" або "жорсткою", "Touch-Start" - запалення дуги точковим торканням. Спеціалізовані імпульсні режими "Power Mode" та "Pulse-on-pulse". Роз'єм ПДК. Підключення ПК через SRS.

Регулювання: вихідна потужність, вибір зварювального процесу, налаштування динамічні властивості дуги, форсаж дуги, рівень гарячого страту.

Самозахисний порошковий дріт може бути використаний в склад наступних комбінованих технологічних варіантів зварювання [23]:

- зварювання кореневого шару електродами з основним видом покриття та всіх наступних шарів дротом типу Іннершилд;

- зварювання кореневого шару шва та "гарячого" проходу електродами з целюлозним видом покриття та всіх наступних шарів дротом типу Іннершилд;

- зварювання кореневого шару шва електродами з целюлозним виглядом покриття, "гарячого" проходу та всіх наступних шарів дротом типу Іннершилд;

- зварювання кореневого шару шва напівавтоматичним зварюванням у середовищі вуглекислого газу методом STT та всіх наступних шарів дротом типу Іннершилд.

При зварюванні згідно з першим технологічним варіантом кореневий шар шва повинен виконуватись електродами типу E50A діаметром 2,5 - 3,25 мм. марок ЛБ-52У, Лінкольн 16П, Фенікс К50Р Мод, ОК 53.70 та ін.

При зварюванні відповідно до другого та третього технологічних варіантів кореневий шар шва виконується електродами типу E42 - E50 діаметром 3,2 - 4,0 мм марок Флітвелд 5П+, Пайпвелд 6010, Фоке Ціль та ін.

При зварюванні згідно з четвертим технологічним варіантом кореневої шар шва виконується дротом суцільного перерізу марки L-56 діаметром 1-1,2 мм.

Зварювання "гарячого" проходу допускається виконувати як електродами з целюлозним видом покриття (другий технологічний варіант зварювання), так і дротом типу Іннершилд (третій технологічний варіант зварювання).

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Характеристика зварювання в захисному газі електродом, що плавиться

Механізоване зварювання дротом суцільного перерізу в захисному газі – вид електричного дугового зварювання, при якому подача електродної дроту здійснюється з постійною швидкістю і автоматично, а палик переміщається вздовж шва рукою зварювальника.

Від впливу навколишнього середовища електрична дуга, зварювальна ванна та її частина, що кристалізується, захищені газом, що подається до зони зварювання.

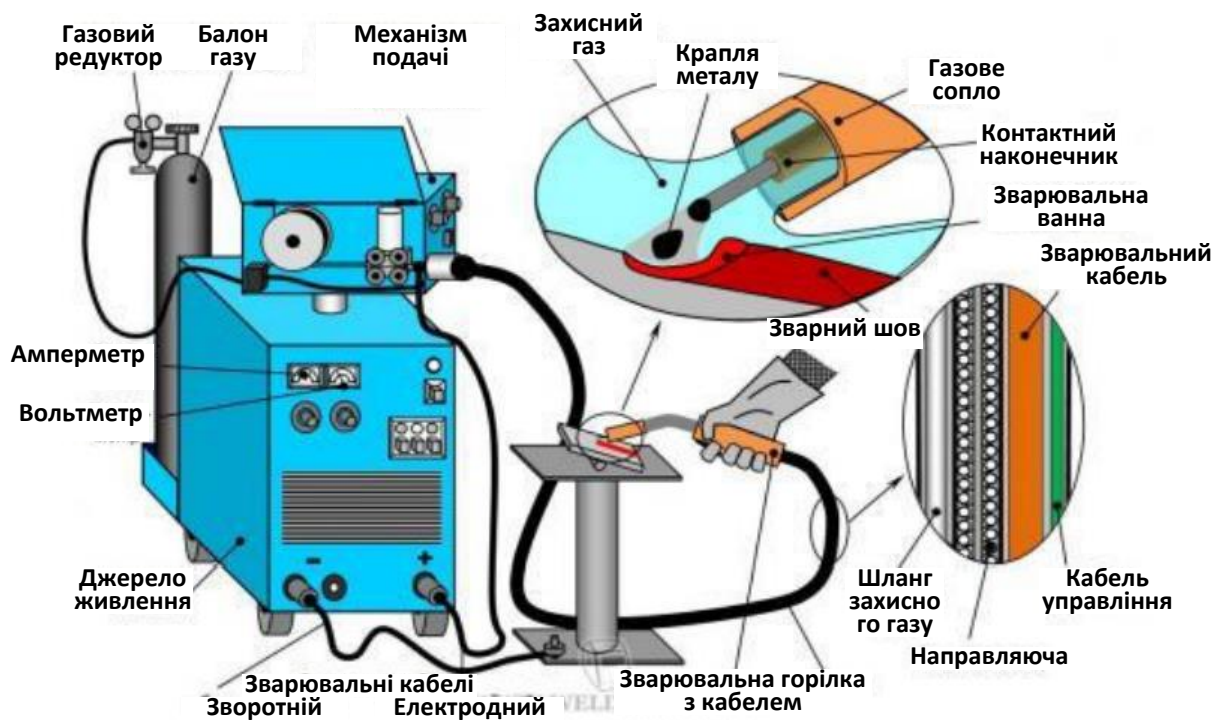


Рисунок 3.1 – Устаткування для зварювання у захисному газі електродом що плавиться

Головні компоненти механізованого процесу зварювання:

- зварювальний апарат (джерело живлення);
- механізм подачі дроту;
- балон із захисним газом.

Електрична дуга розплавляє електродний дріт та кромки. вироби, утворюється зварювальна ванна, в якій відбувається перемішування основного металу та металу електродного дроту. У міру переміщення електричної дуги рідкий метал зварювальної ванни кристалізується і відбувається утворення зварного шва, що з'єднує кромки виробу.

Механізоване зварювання в захисних газах проводиться на постійному струмі зворотної полярності. Як джерело живлення використовують зварювальні апарати, мають жорстку або порожнисту вольт-амперну характеристику. Жорстка характеристика сприяє автоматичному відновленню заданої довжини дуги у разі її порушення, наприклад, через коливання руки зварювальника.

Для зварювання у захисних газах є широкий діапазон вибору електродного дроту, який відрізняється по діаметру та хімічному складу. Хімічний склад електродного дроту залежить від хімічного складу зварюваної сталі та частково від типу захисного газу. Хімічний склад дроту має бути близьким до хімічного складу основного металу. Діаметр дроту залежить від товщини металу, що зварюється, положення, в якому проводиться зварювання, та типу зварного з'єднання.

Захисний газ запобігає прямому контакту навколишнього середовища з розплавленим металом зварювальної ванни та електричною дугою. Захисний газ впливає на стабільне горіння електричної дуги, геометричну форму зварного шва, глибину проплавлення основного металу, міцність зварного шва.

Широке поширення в промисловості набула зварювання в захисні гази. Цей спосіб дозволяє вручну, напів-автоматично або автоматично в різних просторових положеннях з'єднувати різноманітні метали і сплави різної товщини.

У зону дуги в процесі зварювання через сопло безперервно подається захисний газ та зварювальний дріт. Тепловою дуги розплавляється електродний дріт та основний метал. Розплавлений метал у зварювальній ванні при охолодженні кристалізується та утворює шов.

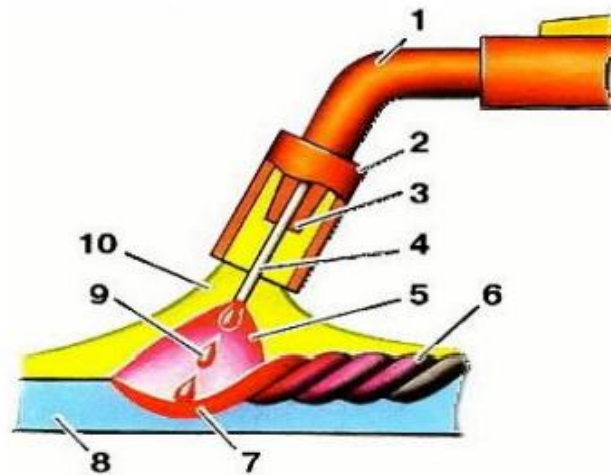


Рисунок 3.2 – Схема механізованого зварювання в захисному газі, що плавиться електродом: 1 – пальник; 2 – сопло; 3 - струмопровідний наконечник; 4 – електродна дрот; 5 – зварювальна дуга; 6 – зварювальний шов; 7 – зварювальна ванна; 8 – основний метал; 9 – краплі електродного металу; 10 – газовий захист.

Як захисні гази застосовують інертні гази (аргон і гелій) і активні гази (вуглекислий газ, водень, кисень і азот) гази, а також суміші газів у різних пропорціях.

Завдяки широкому діапазону застосовуваних захисних газів, які мають різні теплофізичні властивості, технологічні можливості цього способу, як щодо металів, що зварюються, так і їх товщин більше, ніж під час використання інших способів. Причиною цього є те, що теплофізичні властивості захисних газів мають великий вплив на технологічні властивості дуги та форму швів.

Переваги зварювання у захисних газах у порівнянні з іншими видами зварювання наступні:

- висока продуктивність;
- висока проплавна здатність;
- значний спектр матеріалів, що зварюються;
- зварювання у всіх просторових положеннях;
- відсутність на поверхні ванни шлаку;
- легка техніка зварювання.

До недоліків способу відноситься:

- більш складне зварювальне обладнання;
- неможливість використання даного методу в умовах монтажу через протягу, вітру, дощу;
- за певних режимів зварювання виникають складнощі з видаленням бризки розплавленого металу.

3.2 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів

При зварюванні сталей з низьким вмістом вуглецю та легуючих елементів для захисту зони горіння дуги та металу зварювальної ванни широко використовується вуглекислий газ через його дешевизну. Також допускається використання суміші вуглекислого газу з киснем (до 30%) та аргоном (до 50%). Кисень збільшує окислювальну дію на зварювальну ванну, це дозволяє зменшити вміст легуючих елементів у металі шва.

Використання кисню дозволяє знизити розбрикування металу при зварюванні, підвищити плинність металу, зв'язуючи водень, зменшити ймовірність утворення пор. Добавки до вуглекислого газу аргону змінюють технологічні властивості дуги (глибину проплавлення та форму шва, стабільність дуги та ін.) та дозволяють регулювати концентрацію легуючих елементів у металі шва. В основному використовується напівавтоматичне зварювання у вуглекислому газі. Технологія зварювання в CO₂ аналогічна технології зварювання низьковуглецевих сталей. Застосовуються такі ж зварювальні матеріали, що і для зварювання сталей низьким вмістом вуглецю. Сталі 15ХСНД, 14ХГС та 10ХСНД зварюють зварювальним дротом Св-08Г2С. Хімічний склад дроту представлений у таблиці 3.2.

Слід зазначити, що зварювання низьколегованих сталей рекомендується проводити в середовищі вуглекислого газу, щільністю струму понад 200-250 А/мм² на постійному струмі зворотної полярності. Вуглекислий газ за чистотою щонайменше 99,5%. Як захисний газ приймаємо – вуглекислоту.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад наплавленого металу та межа міцності металу шва

Марка проволоки, мм	Хим. состав наплавленного металла						σ_B , Н/мм ²
	C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Cu, %	
Св-08Г2С	0,06	1,8	0,88	0,012	0,01	<0,25	550
Св-12ГС	<0,14	0,8-1,1	0,6-0,9	<0,025	<0,03	<0,25	550
Св-08	<0,1	0,3-0,6	<0,03	0,04	0,04	<0,25	540

Таблиця 3.2 - Хімічний склад дроту Св-08Г2С

Массовая доля химических элементов, в пределах или не более %										
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P	Mo	As	N
0,05-0,11	1,8-2,1	0,7-0,95	0,2	0,25	0,2	0,01	0,015	0,15	0,08	0,008

3.3 Типи перенесення металу під час зварювання в захисних газах

Процес зварювання серед захисних газів, будучи процесом, у якому використовується плавиться електрод, характеризується перенесенням електродного металу через дугу у зварювальну ванну. Перенесення металу здійснюється за допомогою крапель розплавленого електродного металу, що формуються на торці електродного дроту. Їх розмір та частота переходу у зварювальну ванну залежать від матеріалу та діаметра електродного дроту, типу захисного газу, полярності та значення струму зварювання, напруги дуги та інших факторів.

Характер перенесення електродного металу визначає, зокрема, стабільність процесу зварювання, рівень розбризкування, геометричні параметри, зовнішній вигляд та якість зварного шва.

При зварюванні в захисних газах процес перенесення електродного металу здійснюється двома формами.

Перша форма – перенесення із короткими замиканнями. При цьому типі перенесення крапля електродного металу стосується зварювальної ванни, ще не відірвавшись від кінця електрода. Дуга гасне, відбувається коротке замикання, крапля електродного металу втягується у зварювальну ванну.

Перенесення з електродного металу з короткими замиканнями відбувається за низького напрузі дуги, це гарантує, що торкання краплі зварювальної ванни відбудеться ще до її відокремлення від електрода.

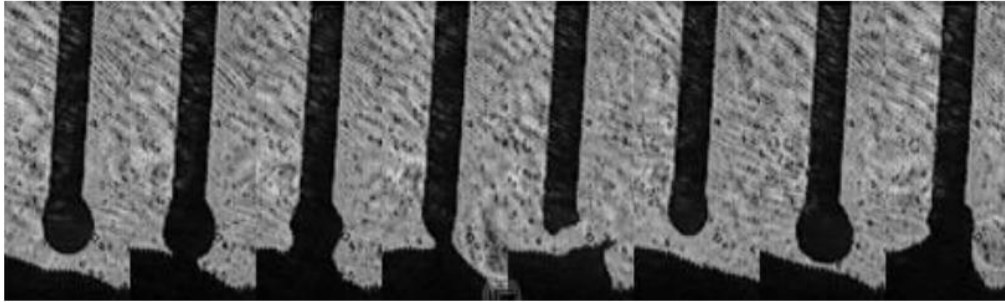


Рисунок 3.3 – Перенесення металу з короткими замиканнями

Завдяки низьким режимам зварювання, а також тому факту, що протягом частини часу дуга не горить, тепло-вкладання в основний метал при зварюванні короткими замикання обмежено. Ця особливість процесу зварювання з короткими замиканнями робить його найбільш підходящим для зварювання струб з невеликий завтовшки стінки. Зварювальна ванна малих розмірів та коротка дуга, що обмежує надмірне зростання крапель, забезпечують легке управління процесом і дозволяють здійснювати зварювання у всіх просторових положеннях, включаючи стельове та вертикальне, як показано рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Зварювання у вертикальному положенні

При використанні зварювання з короткими замиканнями стосовно з'єднанням з великими товщинами можуть спостерігатися підрізи та відсутність проплавлення.

Друга форма – перенесення без коротких замикань. При цьому типі перенесення крапля електродного металу відривається від кінця електрода, не торкаючись поверхні зварювальної ванни.

Дана форма перенесення електродного металу підрозділяється на перенесення крупними краплями та перенесення дрібними краплями.

Велико-крапельне перенесення металу має місце, коли зварювання ведеться на високих напругах дуги (що виключають короткі замикання) та середніх значення струму зварювання. Він, як правило, характеризується нерегулярним переходом великих крапель розплавленого електродного металу (перевищують діаметр електрода) та низькою частотою перенесення (від 1 до 10 крапель за секунду). Через те, що сила тяжіння відіграє вирішальну роль у цьому типі перенесення металу, зварювання обмежена тільки нижнім положенням.

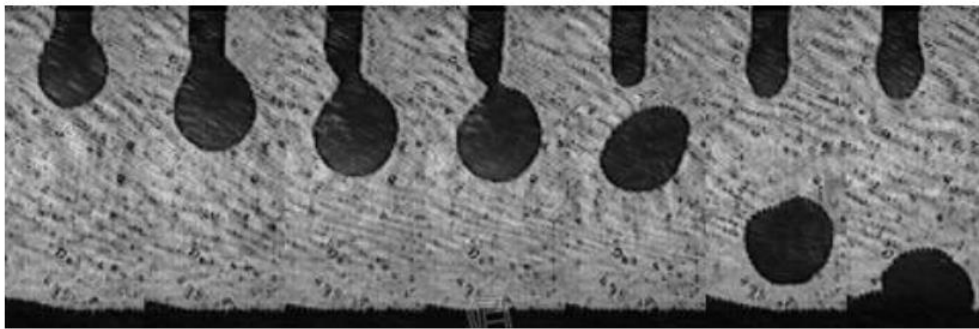


Рисунок 3.5 – Крупно крапельне перенесення електродного металу

При зварюванні у вертикальному положенні деякі краплі можуть падати вниз, минаючи зварювальну ванну.

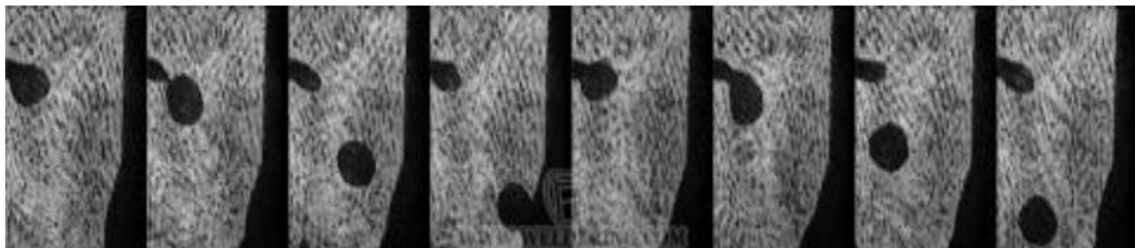


Рисунок 3.6 – Втрати металу під час зварювання у вертикальному положенні

Зварювальна ванна має великі розміри і, тому, важко керована з тенденцією стікання вниз при зварюванні у вертикальному положенні або випадання при зварюванні у стельовому положенні, що також виключає можливість зварювання у цих просторових положеннях.

Ці недоліки, а також нерівномірне формування зварного шва призводять до небажаності використання цього типу перенесення металу під час зварювання в захисних газах.

Дрібно-крапельний перенесення металу характеризується однаковими краплями малих розмірів (близькими до діаметра електрода), що відокремлюються від торця електрода із високою частотою.

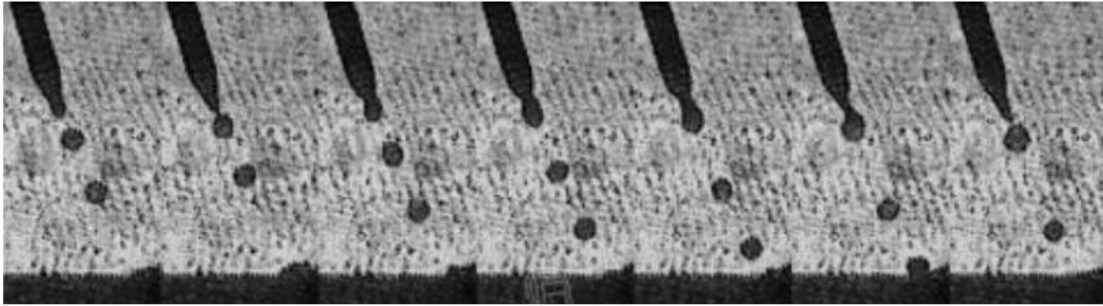


Рисунок 3.7 – Дрібно-крапельний перенесення електродного металу

Такий тип перенесення зазвичай спостерігається при зварюванні на зворотному полярності в захисній суміші на базі аргону і при високих напругах дуги та струмах зварювання.

У зв'язку з тим, що цей тип перенесення вимагає використання високого струму зварювання, що призводить до високого тепло-вкладання і великого зварювальної ванні, він може бути застосований тільки в нижньому положенні і не прийнятний для зварювання тонколистового металу.

Його використовують для зварювання та заповнення обробок металу великих товщинах (зазвичай більше 3 мм завтовшки), насамперед при зварюванні важких металоконструкцій.

Головними характеристиками процесу зварювання з дрібно-крапельним перенесенням є:

- висока стабільність дуги,
- практична відсутність розбризкування,
- помірне утворення зварювальних димів,
- хороша змочуваність країв шва і високе проплавлення,
- гладка та рівномірна поверхня зварного шва,

- можливість ведення зварювання на підвищених режимах та висока швидкість наплавлення.

Завдяки цим перевагам дрібно-крапельне перенесення металу є завжди бажаним там, де його застосування можливе, проте, він вимагає суворого вибору та підтримання параметрів процесу зварювання.

При зварюванні у середовищі CO_2 можливий лише один тип перенесення – з короткими замиканнями.

При одному з різновидів зварювання в захисних газах використовуються імпульси струму, які керують переходом крапель електродного металу таким способом, щоб дрібно-крапельне перенесення металу здійснювалося на середніх струмах зварювання (I_{cp}) нижче критичного значення. При цьому типі перенесення електродного металу відбувається примусова зміна струму між струмом бази (I_b) та струмом імпульсу (I_i). Базовий рівень струму вибирається так, щоб забезпечити підтримку горіння дуги при малому впливі на розплавлення електродного дроту. Струм імпульсу перевищує рівень струму, при якому велико-крапельне перенесення металу переходить у дрібно-крапельне.

Струм імпульсу відповідає за розплавлення кінця електродного дроту, утворення краплі електродного металу певного розміру, відділення цієї краплі електродного металу з кінця електродного дроту під дією електромагнітної сили (Пінч-ефект). Період пульсації струму імпульсу визначається сумою тривалостей імпульсу (t_i) та бази (t_b).

Величина, обернена до періоду пульсації, називається частотою пульсації.

Швидкість розплавлення електродного дроту залежить від енергії, яку виділяє електричну дугу, а енергію електричної дуги визначає частота імпульсів струму, амплітуда імпульсів та їх тривалість.

Процес імпульсно-дугового зварювання поєднує в собі переваги процесу зварювання з короткими замиканнями (такі як низьке тепло-укладання та можливість зварювання у всіх просторових положеннях) та процесу зварювання з дрібно-капельним перенесенням (відсутність розбризкування та гарне формування металу шва).

Протягом одного імпульсу струму може бути сформовано та перенесено у зварювальну ванну від однієї до кількох крапель. Оптимальним є таке перенесення металу, коли за кожен імпульс струму формується і переноситься лише одна крапля електродного металу, як це показано на малюнку нижче. Для його здійснення необхідне ретельне регулювання параметрів зварювання ІДС, що у сучасних джерелах струму здійснюється автоматично з урахуванням синергетичного управління.

3.4 Вплив полярності струму на процес зварювання у захисних газах

Полярність струму зварювання істотно позначається на характері протікання процесу зварювання у захисних газах. Так, при використанні зворотної полярності процес зварювання характеризується такими особливостями (рис. 3.8):

- підвищене введення тепла у виріб;
- глибше проплавлення;
- менша ефективність плавлення електрода;
- великий вибір реалізованих типів перенесення - металу, що дозволяє вибрати оптимальний (з короткими замиканнями, велико-крапельний, дрібно-крапельний, струменевий, ІДС...).

У той час як при зварюванні на прямій полярності спостерігається:

- знижене введення тепла у виріб;
- менш глибоке проплавлення;
- більша ефективність плавлення електрода;
- характер перенесення електродного металу вкрай несприятливий (велико-крапельний з низькою регулярністю).

Різниця у виділенні тепла в анодній та катодній областях визначає більш глибоке проплавлення основного металу на зворотній полярності.

Також таке зварювання має вищу швидкість розплавлення електрода на прямій полярності.



Рисунок 3.8 – Порівняльний аналіз особливостей зварювання у захисних газах на зворотної та на прямій полярності

А також спостерігається на прямій полярності несприятливий перенесення металу, коли крапля має тенденцію бути відштовхнутою у протилежний бік від зварювальної ванни.

Останнє є результатом дії підвищеної сили реакції. Сила реакції виникає внаслідок реактивного впливу на краплю струменя парів металу, що виходить з активної плями, тобто. Ділянки поверхні краплі із найвищою температурою. Сила реакції перешкоджає відділення краплі від торця електрода, а будучи значною, вона може викликати перенесення металу з характерним відштовхуванням крапель убік від дуги, що супроводжується великим розбризуванням металу. Дія цієї сили на порядок нижче на зворотній полярності (коли електрод є анодом), ніж прямий (коли електрод є катодом).

Головними перевагами процесу зварювання МІГ/МАГ є висока продуктивність та висока якість зварного шва. Висока продуктивність пояснюється відсутністю втрат часу зміну електрода, а також тим, що цей спосіб дозволяє використовувати високий струм зварювання.

Ще однією перевагою цього способу зварювання є низька тепло-вкладання, особливо при зварюванні короткою дугою (при зварюванні з короткими замикання), що робить цей спосіб найбільш підходящим для зварювання у всіх просторові положення.

До недоліків цього процесу порівняно зі зварюванням покритими електродами можна віднести наступне:

- обладнання більш складне та дорожче;
- складніше виконувати зварювання у важкодоступних місцях, оскільки пальник, як правило, більше електродотримача і повинна знаходитися близько від зони зварювання, що завжди можливо;
- більш складний взаємозв'язок між параметрами зварювання;
- висуваються більш високі вимоги до підготовки та очищення країв;
- сильніше випромінювання від дуги.

3.5 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів

Для зварювання порошковим дротом може використовуватися також обладнання, що і для зварювання дротом суцільного перерізу в середовищі захисні газу. Порошковий дріт являє собою електрод, вивернутий навиворіт. Це порожня трубка із нелегованої сталі, яка заповнена флюсом. Конструкція порошкових дротів різна, рис. 3.9.

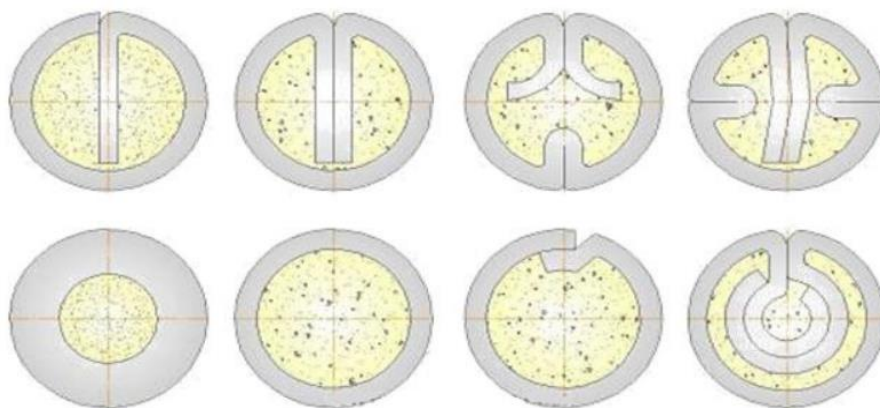


Рисунок 3.9 – Конструкція порошкових дротів

Кожен вид порошкового дроту може мати різний склад флюсу.

Флюс впливає на характеристику дуги, на перенесення електродного металу. З його допомогою можна впливати на формування зварного шва та на металургійні особливості шва. Процес зварювання порошковим дротом дозволяє за допомогою флюсу вводити в метал шва легуючі елементи, що неможливо зробити при зварюванні дротом суцільного перерізу, тому що не буде належного контролю за зварювальною ванною.

Для зварювання порошковим дротом допустимо використання захисних газів. Однак, в даний час все більше застосування знаходить зварювання самозахисним порошковим дротом (Інершилд), в якому необхідний об'єм захисного газу утворюється при згорянні флюсу.

По суті, зварювання самозахисним порошковим дротом є різновидом процесу зварювання у захисних газах. Відмінність полягає в тому, що немає необхідності наявності балонів із захисним газом і не потрібно додаткових укриттів у процесі зварювання.

Склад флюсу для порошкового дроту підбирається з урахуванням того, який області буде проводитися зварювання та який матеріал зварюється. Головним завданням флюсу є очищення металу шва від кисню та азоту, надають негативний вплив на механічні характеристики шва. Зниження вмісту кисню та азоту досягається шляхом введення до складу флюсу кремнію та марганцю. Кремній і марганець відіграють роль розкислювачів і покращують механічні властивості металу шва.

До складу флюсу також додають кальцій, натрій, калій для того, щоб забезпечити надійну захист розплавленого металу від впливу навколишнього середовища при кристалізації металу зварювальної ванни, зменшити розбризкування металу.

Функції шлаку:

- формування поверхні зварного шва заданої форми;
- контроль зварювальної ванни у різних положеннях;
- збільшення часу охолодження зварювальної ванни.

З технічної та економічної точок зору додавати у флюс легуючі елементи простіше та дешевше, ніж виготовляти суцільну дріт з легованого металу, то добавки легуючих елементів через флюс виявляється більш пріоритетним у порівнянні з легуванням шва через суцільний дріт.

Як легуючі елементи використовують хром, нікель, марганець, молібден, вуглець. Додавання цих елементів покращує зварюваність металу, збільшує міцність, пластичність та межу плинності металу.

Застосування знаходять порошкові дроти, що містять більший об'єм. металевого порошку, порівняно із звичайним порошковим дротом.

Флюс таких дротів містить кількість кремнію та марганцю еквівалентне їх вмісту у дроті суцільного перерізу. Можливе додавання до 2% нікелю з метою збільшення ударної в'язкості за низьких температур. Даний тип дротів застосовується для зварювання стикових швів різних просторових положеннях, забезпечується високу продуктивність, що сприяє отриманню якісного шва.

Спосіб напівавтоматичного зварювання самозахисним дротом Іннершилд призначений для зварювання заповнювальних та облицювальних шарів шва. неповоротних та поворотних стиків труб діаметром 325 - 1220 мм з товщинами стінок 6 - 20 мм включно.

До складу наповнювача порошкового дроту входять такі компоненти:

- газоутворювальні – забезпечують захист розплавлених крапель та зварювальної ванни від азоту та кисню повітря (мармур, целюлоза та карбонати Ca, Na, Mg);

- шлакоутворювальні – сполуки, що утворюють шлаковий захист (рутиловий концентрат, флюоритовий концентрат, алюмосилікати),

- розкислювачі – беруть участь у металургійних процесах, протікають у зварювальній ванні, забезпечуючи металургійну якість зварного шва (феромарганець, феротитан);

- металеві складові – підвищують продуктивність наплавлення (металевий порошок, сполуки заліза).

Марку самозахисного порошкового дроту вибирають залежно від класу міцності зварюваних труб:

- для зварювання стиків труб із сталей з нормативною межею міцності до 530 МПа включно застосовується самозахисна порошкова дріт марки NR-207 діаметром 1,7 мм;

- для зварювання стиків труб із сталей з нормативною межею міцності від 540 до 590 МПа включно застосовується самозахисна порошковий дріт марки (NR-208H діаметром 1,7 мм та 2,0 мм).

Обидві марки дроту атестовані в установленому порядку та допущені для зварювання стиків труб газо-, нафтопроводів різного діаметра та товщин стінок.

У процесі роботи з використанням самозахисної порошкової дроту слід враховувати такі технологічні особливості:

- кореневий шар шва виконується електродами з основним або целюлозним видами покриття.;
- перед виконанням першого шару порошковим дротом необхідно ретельно зачистити зварений електродами кореневий шар шва. або "гарячий" прохід;
- процес зварювання порошковим дротом у всіх випадках виконується на постійному струмі прямої полярності;
- напрямок зварювання - "на спуск";
- починати зварювання слід завжди при вильоті дроту 12 – 15 мм.

Змінюючи кут нахилу зварювального пальника, частково можна контролювати рівень проплавлення. Кут зменшується – ступінь проплавлення збільшується, кут збільшується – ступінь проплавлення зменшується.

У разі зварювання труб із товщинами стінок до 12 мм використовують традиційний для ручного дугового зварювання порядок заповнення оброблення, при котрому кожен шар шва виконується за один прохід. Рекомендована техніка - прямий рух без поперечних коливань або з невеликими поперечними коливаннями

Для труб із товщинами понад 12 мм використовують наступний порядок заповнення обробки:

- два перші заповнювальні шари виконують за принципом "шар за один прохід";
- при зварюванні всіх наступних шарів для забезпечення збалансованого заповнення обробки застосовують техніку накладання перекриваючих валиків. При цьому формування шару відбувається за два проходу за рахунок валиків, що перекривають один одного. Можна застосовувати невеликі поперечні коливання для забезпечення більш плавного переходу шва до основного металу;

- облицювальний шар виконують за два-три проходи (в залежно від товщини стінки та ширини розкриття обробки).

Допускається виконання облицювального шару за один прохід для труб товщинами стінок до 16 мм, проте при товщинах стінки 14-16 мм погіршується зовнішній вигляд шва і можуть утворитися подрізи облицювального шару.

При комбінованій (двокосій) обробці техніка зварювання та порядок заповнення обробки не має великих відмінностей у порівнянні зі зварюванням труб товщиною понад 12 мм із стандартним 30-градусним скосом кромки. Для третього та наступних заповнювальних та облицювальних проходів також рекомендується техніка накладання валиків, що полегшує процес зварювання та дозволяє отримати оптимальні механічні властивості зварного з'єднання та найбільш сприятливу форму облицювального шару.

У зв'язку з великою лінійною швидкістю зварювання та особливістю формування зварного шва у вертикальній площині перед виконанням облицювального шару в положенні 100 - 500 (200 - 400) виконують додатковий (коригуючий) шар.

Коригуючий шар дозволяє забезпечити рівномірність заповнення обробки перед накладанням облицювального шару (шарів). Розташування та кількість коригувальних шарів залежить від товщини стінки труби та особливостей заповнення обробки кожним зварником.

Спосіб зварювання самозахисним порошковим дротом має наступні особливості, що зумовлюють його переваги:

- висока швидкість зварювання (до 14 – 20 м/год);
- можливість форсування режиму зварювання;
- немає необхідності зміни електродів, отже, підвищується ефективність роботи зварювальника;
- велика глибина проплавлення;
- можливість ведення процесу зварювання без додаткових укриттів;
- можливість усунення поверхневих дефектів;
- зварювальний дріт відразу готовий до роботи.

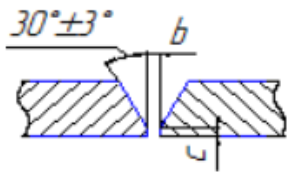
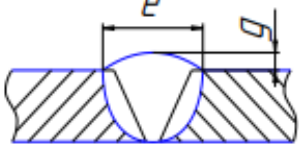
Деякі недоліки, що виникають при зварюванні порошкової дротом:

- процес зварювання дротом Іннершилд відбувається на високому струмі (230 - 300 А) і супроводжується досить великим розбризкуванням.

При цьому краплі мають високу температуру. У зв'язку з цим при зварюванні дротом типу Іннершилд необхідно використання спеціального одягу (шкіряні костюми) та масок (фіброметал).

3.6 Розрахунок режимів зварювання

Таблиця 3.3 – Конструктивні елементи зварного з'єднання

Умовне позначення зварного з'єднання	Конструктивні елементи та розміри		b, мм	c, мм	e, мм	g, мм
	Підготовка кромки зварних деталей	Підготовка кромки зварного шва				
C17			2,4	2	16	2

Режим зварювання – сукупність основних характеристик зварювального процесу, які забезпечують одержання зварних швів заданих розмірів, геометричної форми та якості, рис. 3.10.

Розрахуємо загальну площу поперечного перерізу наплавленого металу для того, щоб визначити необхідну кількість проходів при стиковому сватку з'єднання з обробкою кромки.

Площа наплавлення зазвичай знаходять як суму площ елементарних геометричних фігур:

$$F_n = h^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + b \cdot S + 0,75 \cdot q \cdot e. \quad 3.1$$

Визначимо площу наплавлення:

$$F_n = 10^2 \cdot \operatorname{tg} 30 + 2,5 \cdot 12 + 0,75 \cdot 2 \cdot 16 = 111 \text{ мм}^2.$$

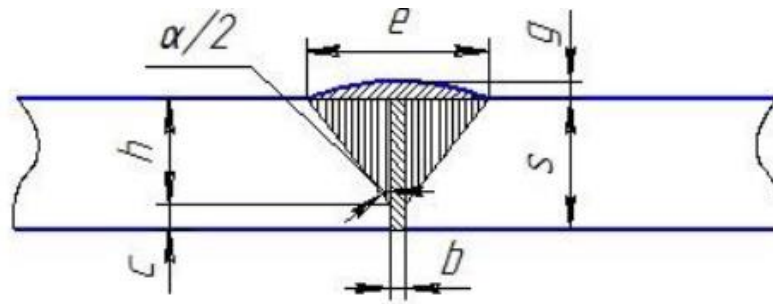


Рисунок 3.10 – Геометричні елементи площі перерізу стикового шва

При зварюванні в середовищі захисних газів електродним дротом діаметром 1 – 1,4 мм у нижньому положенні площа поперечного перерізу наплавленого металу першого проходу 20 – 30 мм², другого 30 – 60 мм², наступних заповнювальних та облицювальних проходів 40 – 70 мм²; для вертикального положення зварювання площа першого проходу 20 – 40 мм², другого 40 – 60 мм², наступних 40 -70 мм².

Зварювання стику виробляємо в три проходи. Для першого площа складе 21 мм², для наступного та облицювального – 45 мм².

До основних параметрів режиму механізованого дугового зварювання в захисних газах плавким електродом, що визначаються розрахунком, відносяться: зварювальний струм, напруга на дузі, швидкість зварювання, діаметр та швидкість подачі електродного дроту. Основні параметри: захисне середовище, рід струму, полярність встановлюють, виходячи з умов зварювання конкретного Вироби. Для зварювання даного з'єднання обраний тип з'єднання С17 з обробкою кромки.

Силу зварювального струму $I_{зв}$ розрахуємо за формулою (6) [7]:

$$I_{зв} = \pi \cdot d_э \cdot j / 4, \quad 3.2$$

де d – діаметр електродного дроту 1 мм (для кореневого шва) 1,2 мм (для заповнювальних проходів); j – допустима щільність струму, для зварювання вуглекислому газі 200÷250 А/мм².

- для кореневого шва:

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot 200 = 157 \text{ А},$$

приймаємо $I_{зв} = 160 \text{ А}$.

- для наступних проходів:

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 250 = 283 \text{ A},$$

приймаємо $I_{зв} = 285 \text{ A}$.

Визначаємо оптимальну напругу дуги [13]:

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_3}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad 3.3$$

- для кореневого шва:

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1}} \cdot 160 \pm 1 = 28 \pm 1 \text{ В};$$

- для наступних проходів:

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \cdot 285 \pm 1 = 33 \pm 1 \text{ В}.$$

Визначимо коефіцієнт форми провару [13]:

$$\psi_{np} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_3 \cdot U_{\partial}}{I_{св}}, \quad 3.4$$

де K' - коефіцієнт для струму зворотної полярності 0,92.

- для кореневого шва:

$$\psi_{np} = 0,92 \times (19 - 0,01 \cdot 160) \cdot \frac{1 \cdot 28}{160} = 2,8;$$

- для наступних проходів:

$$\psi_{np} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 285) \cdot \frac{1,2 \cdot 33}{285} = 2,06.$$

Для механізованого зварювання значення ψ_{np} повинні становити 0,8...4,0, в нашому випадку значення коефіцієнта знаходиться в даному інтервалі, отже, режими підібрані правильно.

Визначимо швидкість зварювання за формулою [13]:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n}, \quad 3.5$$

де α_n - коефіцієнт наплавлення; γ - щільність електродного металу, г/см³.

Для визначення коефіцієнта наплавлення α_n при механізованому способі зварювання в середовищі CO₂ скористаємося наступною формулою [13]:

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

де ψ_n - коефіцієнт втрат, що визначається за формулою:

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot j - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot j^2. \quad 3.7$$

Підставимо відомі значення щільності струму j формулу (3.7), отримаємо:

- для кореневого шва:

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 200 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 200^2 = 12,6\%;$$

- для наступних проходів:

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 250 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 250^2 = 11,3\%.$$

Для того щоб визначити коефіцієнт наплавлення нам необхідно розрахувати коефіцієнт розплавлення α_p (г/А год) за формулою (величину вильоту електрода lv приймаємо 15 мм) [13]:

$$\alpha_p = A + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{I_{cв}} \cdot \frac{l_v}{d^2}. \quad 3.8$$

- для кореневого шва:

$$\alpha_p = 16,7 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{160} \cdot \frac{15}{1^2} = 17,3$$

- для наступних проходів:

$$\alpha_p = 24,8 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{285} \cdot \frac{15}{1,2^2} = 25,3$$

Тоді коефіцієнта наплавлення α_n згідно з формулою (3.6):

- для кореневого шва:

$$\alpha_n = 17,3 \cdot (1 - 0,126) = 15,1$$

- для наступних проходів:

$$\alpha_n = 25,3 \cdot (1 - 0,113) = 22,1$$

Тоді швидкість зварювання $V_{зв}$ (м/год) визначається:

- для першого проходу:

$$V_{cв} = \frac{15,1 \cdot 160}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,21} = 0,41 \frac{см}{с} = 14,76$$

- для наступних проходів:

$$V_{cв} = \frac{22,1 \cdot 285}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,45} = 0,5 \frac{см}{с} = 18$$

Визначаємо швидкість $V_{нзн}$ (м/год) подачі електродного дроту за

$$V_{нзн} = \frac{\alpha_p \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_{эл}}, \quad 3.9$$

формулою [13]:

де $F_{эл}$ - площа поперечного перерізу електрода, см².

- для першого проходу:

$$V_{нзн} = \frac{17,3 \cdot 160}{3600 \cdot 7,8 \cdot 1 \cdot 10^{-2}} = 9,86 \frac{см}{с} = 355 :$$

- для наступних проходів:

$$V_{нзн} = \frac{25,3 \cdot 285}{3600 \cdot 7,8 \cdot 1,13 \cdot 10^{-2}} = 22,7 \frac{см}{с} = 817$$

Погонна енергія розраховується за формулою [13]:

$$q_n = \frac{\eta_n \cdot I_{св} \cdot U_d}{V_{св}}, \quad 3.9$$

де η_n – л ефективний коефіцієнт корисної дії нагріву виробу дугою, який при зварюванні в захисному газі становить 0,8...0,84, приймаємо:

Таблиця 3.4 - Результати розрахунків режимів зварювання

Параметр	Для кореневого шва	Для наступних проходів
Струм зварювання, А	160	285
Оптимальна напруга дуги, В	28±1	33±1
Коефіцієнт форми провару	2,8	2,06
Коефіцієнт втрат	12,6	11,3
Коефіцієнт розплавлення	17,3	25,3
Коефіцієнт наплавлення	15,1	22,1
Швидкість зварювання, м/год	14,76	18
Швидкість подачі дроту, м/год	355	817
Погонна енергія, Дж/см	8741,5	15048

- для першого проходу:

$$q_n = \frac{0,8 \cdot 160 \cdot 28}{0,41} = 8741,5 \frac{Дж}{см};$$

- для наступних проходів:

$$q_n = \frac{0,8 \cdot 285 \cdot 33}{0,5} = 15048 \frac{Дж}{см}.$$

Отримані розрахунки зведемо до табл. 3.4, табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Рекомендовані режими зварювання гарячого, що заповнює та облицювальних проходів самозахисним порошковим дротом Innershield NR-207

Параметр	Гарячий прохід	Заповнюючий шар	Облицювальний шар
Швидкість подачі дроту, м/год	160	183	160
Напруга, В	18-19	19-20	18-19
Струм зварювання, А	200	225	200
Вильот електрода, мм	12-19	12-19	12-19
Кут нахилу електрода, град.	0-30	0-30	0-30
Коефіцієнт наплавлення	1,75	2,0	1,75
Температура підігріву, °С	20-135	20-135	20-135

4 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

4.1 Розробка технології виготовлення зварного виробу

Заготівельні операції.

Заготівельними операціями є: очищення труб, підготовка та зачищення кромки, складання стику, попередній підігрів.

Монтаж різних вузлів трубопроводу, незалежно від того, виробляється він у цехових чи польових умовах, повинен виконуватися так, щоб повністю змонтований трубопровід відповідав нормам та конкретних вимог будівельного проекту. Труби розкладають на краю траншеї на спеціальних лежанках так, щоб було забезпечено безперешкодний доступ до торців труб, для цього труби розташовують під осі траншеї. Відстань від нижньої утворювальної труби до ґрунту має бути не менше 450 мм. У процесі розкладання труб необхідно проводити їх огляд щодо відповідності вимогам.

Переміщення труб безпосередньо до місця збирання стику здійснюється трубоукладачем.

Технології збирання та зварювання.

Перед збиранням стику зачищається внутрішня порожнина труб від забруднень та іржі. За допомогою шліфувальної машинки очищаються до металевих блиску кромки та прилеглі до них поверхні на ширину щонайменше 15 мм. Перед збиранням проводиться огляд поверхні кромки, що зварюються труб. Якщо на неізольованих кінцях труб є дефекти глибиною до 5% від товщини стінки, ці дефекти усуваються шліфуванням.

Посилення заводських поздовжніх та спіральних швів зовні труби слід видалити до величини 0 – 0,5 мм на ділянці шириною 10 – 15 мм від торця труби. Вибіти та задираки фасок глибиною до 5 мм труб 1-ї групи міцності (Таблиця 8) слід відремонтувати електродами з основним видом покриття типу Е50А діаметром 2,5-3,2 мм; 2-ї групи міцності (табл. 4.1) - електродами з основним видом покриття типу Е60 діаметром 3,0-3,2 мм. При цьому перед початком зварювання здійснюється попередній підігрів до 100+30 °С.

Таблиця 4.1 – Групи за класами міцності труб та деталей трубопроводів

Номер групи	Клас міцності	Нормативне значення миттєвого опору розриву основного металу, МПа
	До К54 включно	до 530 включно
	К55...К60	539...588
	К65	637

Після ремонту кромки труб необхідно зачистити шліфувальною машинкою, відновити заводське оброблення кромки, товщина стінки має відповідати нормативному значенню.

Якщо є плавні вм'ятини на кінцях труб з глибиною не більше 3,5% від діаметра, то можливе їх виправлення без застосування ударів за допомогою розтискних пристроїв гідравлічного типу з проведенням місцевого підігріву труби до 150°C, незалежно від температури навколишнього повітря.

Якщо кінці труб мають забоїни і задири фасок глибиною більше 5 мм або вм'ятини глибиною понад 3,5% від діаметра труби, а також будь-які вм'ятини з надривами або різкими перегинами, що мають дефекти, які не підлягають виправленню, вони мають бути зрізані.


Після цього проводиться обробка спеціалізованим верстатом або шліфувальною машинкою. Метал кромки, що утворився після різання, видаляється на глибину не менше ніж 1 мм.

Після вирізки дефектної ділянки проводиться ультразвуковий контроль прилеглої ділянки шириною не менше 40 мм по всьому колу, для визначення можливих розшарування. Якщо при ультразвуковому контролі виявлено наявність розшарування в металі, проводиться обрізка труби на величину не менше 300 мм від торця і проводиться повторний ультразвуковий контроль.

Складання стику проводиться на спеціальному внутрішньому гідравлічному центраторі.

Центратор встановлюють таким чином, щоб мідна технологічна підкладка, призначена для формування зворотного валика, що знаходилася в площині стику. Зовнішній вигляд внутрішнього гідравлічного центратора представлений у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Центратор внутрішній гідравлічний

Внутрішній центратор гідравлічний	Технічна характеристика центра тора ЦВ-54
	<ul style="list-style-type: none"> - діаметр труб 530 мм; - товщина стінки 6-14 мм; - число затискачів в одному ряду 8; - число центруючі рядів 2; - сумарне зусилля, яке надається одним рядом 900-1000кН; - довжина 2280 мм; - діаметр 530 мм; - маса 500 кг

При складанні заводські шви слід зміщувати відносного один одного не менше ніж на 100 мм – при діаметрі труб понад 530 мм.

Під час встановлення зазору в стиках слід керуватися табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Величина зазорів у стиках

Спосіб зварювання	Діаметр зварювального дроту, мм	Величина зазору, мм
Механізоване зварювання методом STT	1-1,2	2,5-4
Механізоване зварювання самозахисним порошковим дротом Innershield	1,7	2,5-4

При механізованому зварюванні допускається виконання складання стику без прихваток. Якщо при центруванні труб та встановленні технологічного зазору виникла потреба прихватки, дозволяється її виконання на режимах зварювання, аналогічних зварюванню кореневого шару, з подальшим її видаленням процесі виконання кореневого шару. Прихватки виконуються на відстані 100 мм від заводських швів.

Перед початком процесу зварювання проводиться попередній підігрів до температури, розрахованої для цієї сталі. Попередній підігрів стиків труб із товщиною стінки менше 22 мм повинен здійснюватися за допомогою установок індукційного нагріву або кільцевих пропанових пальників.

Засоби нагріву повинні рівномірно підігрівати торці труб по всьому периметру стику та прилеглі до стику ділянки поверхні труби у смугі шириною 150 мм.

При підігріві не повинна бути порушена цілісність ізоляції, для неї захисту слід використовувати термостійкі матеріали та спеціальні полум'ягасники для пальників.

Типова схема зварювання та послідовність зварювання окремих ділянок наведено на рис. 4.1.

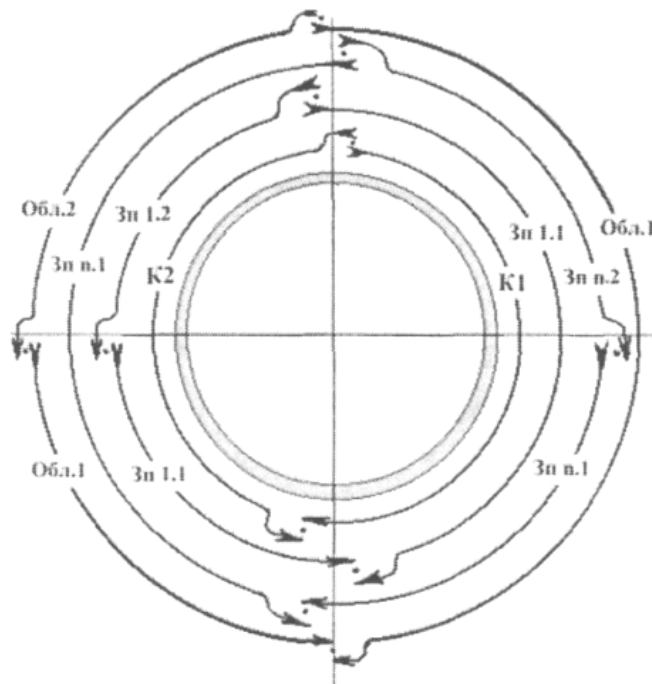


Рисунок 4.1 – Схема зварювання та послідовність зварювання окремих ділянок шва

Прийняті позначення:

- К1, К2 – ділянки кореневого шару на лівому та правому напівпериметри труби; - Зп 1.1 - шари, що заповнюють.

- Перша цифра – номер шару, друга - послідовність зварювання в межах шару; Обл.1 – облицювальний шар. Цифра означає - послідовність зварювання в межах шару

Інтервал часу між закінченням зварювання кореневого шва та початком зварювання 1-го шва, що заповнює, не повинен перевищувати 10 хв.

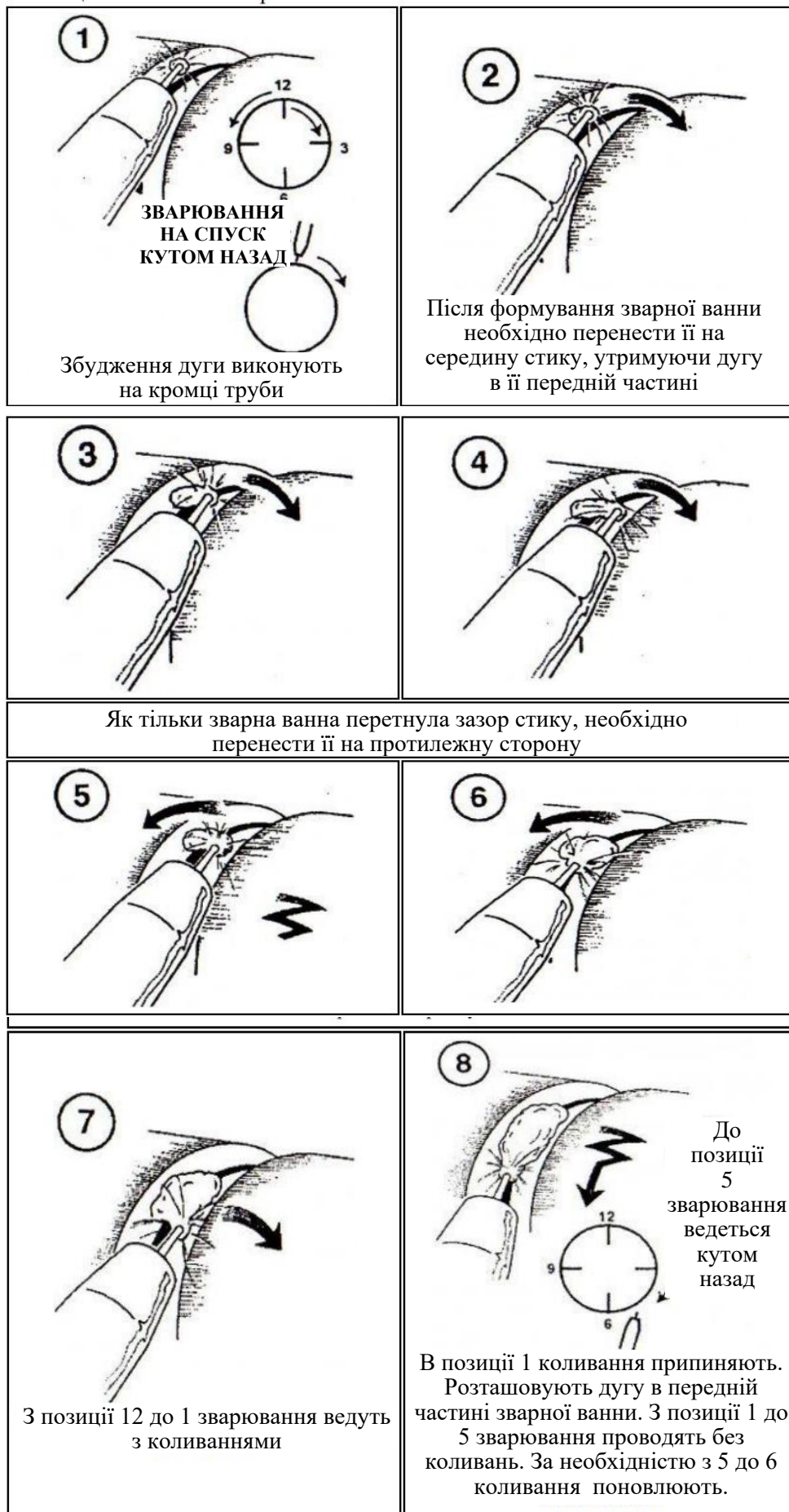
4.2 Обладнання та техніка механізованого зварювання

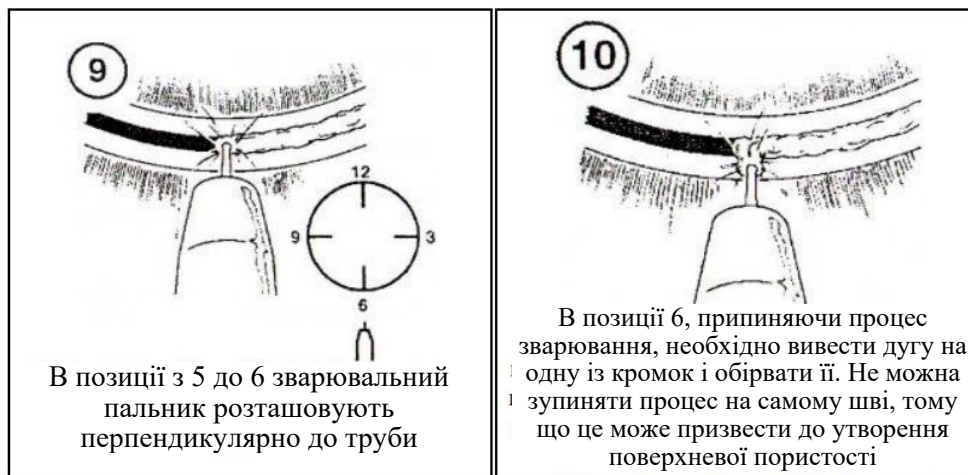
Спеціалізований комплект обладнання для механізованого зварювання, що випускається фірмою Lincoln Electric представлено табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Комплект обладнання для зварювання

<p>Спеціальне джерело живлення Invertec STT-II, Invertec V350-PRO</p>	
<p>Механізм подачі дроту LN-27 або LF-37</p>	
<p>Зварювальний пальник Magnum 200 з шлангом, зварювальний пальник К 345</p>	
<p>Коаксіальний кабель</p>	
<p>Газовий балон з редуктором, витратомір і підігрівач газу</p>	
<p>Захисна палатка</p>	

Таблиця 4.5 – Техніка зварювання





Напівавтоматичне зварювання кореневого шва неповоротних стиків труб ведуть на спуск. Процес починають у верхній частині труби у положенні 12-ти годин.

Порушення дуги виробляють на одній із кромки.

Потім дугу переносять на протилежну кромку, формуючи при цьому зварювальну ванну. На цьому ділянці труби зварювання здійснюють з дугоподібними коливаннями невеликий амплітуди.

Дугу слід розташовувати всередині зварювальної ванни в першій 1/4 або 1/3 від переднього фронту. Дугу не можна розташовувати на передній кромці зварювальної ванни.

У позиціях від 12-ї до 1-ї години зварювання роблять кутом назад. У цьому кут нахилу електрода становить 45° . Здійснюючи дугоподібні коливання, не слід затримуватись на кромках труби.

Прямолінійні коливання з краю на край призводять до збільшення проплавлення.

Техніка та послідовність зварювання стику представлена в таблиці 4.5.

Здається, що при розташуванні дуги у зварювальній ванні не можна досягти необхідного проплавлення, як це спостерігається при звичайній напівавтоматичне зварювання в захисних газах, де збільшення проплавлення відбувається при розміщенні дуги на передній кромці ванни.

Однак при зварюванні STT велика глибина проплавлення досягається, якщо дуга горить усередині зварювальної ванни.

З позиції 1-ї години амплітуду коливань можна зменшити і потім остаточно припинити їх, продовжуючи рухатися вздовж стику і розташовуючи дугу усередині зварювальної ванни у першій третині від її переднього фронту. Кут нахилу електрода на цій ділянці зменшують на 10° .

У позиції 4:30 - 5:00 коливання можна відновити та збільшити кут нахилу електрода. Це залежить від зазору і притуплення кромки, що зварюються.

При припиненні зварювання переривається дуга однією з кромки. По зовнішньому виду наплавленого валика можна судити про необхідність коригування зварювальних параметрів.

Існують різні комбінації величин пікового та базового струму, які дозволяють одержати необхідну форму кореневого шва. Збільшення розбризкування спостерігається при занадто низькому значенні пікового струму.

При складанні з'єднання необхідно, щоб початок і кінець кожної прихватки були зішліфовані для забезпечення плавного переходу від кореневого шва до прихватки. Цей процес не дозволяє проплавити прихватку.

Після завершення процесу зварювання проводиться візуальна оцінка якості облицювального шару. При виявленні зовнішніх дефектів зварного шва, провадиться їх усунення шліфуванням до неруйнівного контролю.

4.3 Технічний контроль якості та виправлення браку

При виготовленні зварної конструкції часто в ній виникають різного роду напруги, які можуть бути дуже вище експлуатаційних, що може призвести до неприпустимих деформацій та руйнування.

Основними причинами виникнення зварювальних деформацій та напруг є нерівномірне нагрівання та охолодження виробу та структурні перетворення на металі шва [4].

Нерівномірне нагрівання та охолодження викликають теплові напруги та деформації.

При зварюванні відбувається місцеве нагрівання невеликого обсягу металу, який, розширюючись, впливає на довколишні менш нагріті шари металу. Чим вища температура нагріву, а також чим більше коефіцієнт лінійного розширення та нижче теплопровідність металу, тим більше теплові напруги та деформації розвиваються у зварюваному шві.

Деформації, що виникають при зварюванні, поділяють на тимчасові, існуючі тільки під час зварювання конструкції, та залишкові, що залишаються після завершення зварювання та охолодження конструкції.

Важливе значення для практики мають залишкові зварювальні деформації. Залежно від характеру і форми, розмірів деталей, що зварюються, розрізняють деформацію в площини та деформацію з площини елементів, що з'єднуються. Величина та характер залишкових деформацій значною мірою визначають товщиною та властивостями основного металу, режимом зварювання, послідовністю накладання швів, конструктивними формами зварюваних деталей та формою шва.

Зміна розмірів та форми зварної конструкції в деяких випадках знижує її працездатність та псує її зовнішній вигляд. Якщо залишкові деформації досягають помітної величини, то вони можуть призвести до невірної шлюбу.

При розробці, технології складання та зварювання конструкції з даної сталі слід враховувати необхідність зниження залишкових деформацій до величини, за якої вони не відбиваються на працездатності та зовнішньому вигляді конструкції та не ускладнюють зварювання окремих елементів [4].

Зварювальні напруги можуть бути зняті майже повністю, якщо у шві та при шовній зоні створити додаткові пластичні деформації. Це досягається проковування швів. Проковують кожен шар, за винятком першого, у якому від ударів можуть утворитися тріщини. Цей прийом застосовують для зняття напруги при заварці тріщин і замикаючих швів жорсткі конструкції [4].

Для зменшення напруг, що виникають, застосовують відповідний порядок накладання швів.

Порядок заповнення швів має велике значення для зменшення залишкових напруг та деформацій. Під порядком заповнення швів розуміється як порядок заповнення оброблення шва за поперечним перерізом, і послідовність зварювання по довжині шва.

Для зменшення деформацій та напруг, які утворюються після зварювання, необхідно виконання наступних умов:

- раціональне конструювання;
- збирання заготовок та призначення їх розмірів з урахуванням наступних деформацій та переміщень;
- створення деформацій та переміщень зворотних зварювальним;
- раціональна послідовність складально-зварювальних операцій;
- Зниження погонної енергії зварювання;
- зменшення площі зони пластичних деформацій шляхом штучного охолодження металу у процесі зварювання;
- закріплення виробів у пристосуваннях.

У процесі виготовлення, монтажу та ремонту необхідно здійснювати систематичний контроль якості зварювальних робіт та зварних з'єднань, попередній контроль (включаючи вхідний контроль), операційний контроль та приймальний контроль зварних з'єднань.

Для забезпечення необхідного рівня якості необхідно проводити:

- перевірку кваліфікації зварювальників;
- контроль вихідних матеріалів, труб;
- систематичний операційний (технологічний) контроль, здійснюваний у процесі збирання та зварювання;
- візуальний контроль (зовнішній огляд) та обмір готових зварних з'єднань;
- перевірку зварних швів неруйнівними методами контролю.

До зварювання стиків труб, при використанні дугових методів зварювання, допускаються зварювальники, які закінчили спеціалізовані професійні технічні училища чи курси.

Зварювальники повинні мати посвідчення встановленої форми, так само мають бути атестовані для зварювання труб, відповідної групи за діаметром.

Атестацію та перевірку кваліфікації зварювальників здійснює постійно діюча комісія під головуванням головного інженера.

До складу комісії мають бути включені інженерно-технічні працівники служб зварювання, контролю, охорони праці та техніки безпеки, а також представники профспілкової організації.

Для проведення зварювальних робіт на будівництві магістральних та промислових трубопроводів допускається застосування електродів, дротів, захисних газів лише тих марок, які регламентуються вимогами.

Усі зварювальні матеріали, що постачаються для проведення робіт, повинні бути піддані кількісному та якісному контролю.

Контроль зварювальних матеріалів, що застосовуються в процесі зварювання, проводять працівники служби вхідного контролю чи комісія. У комісію входять: представник відділу постачання, представник монтажної організації, зварювальник, який виконує технологічні проби матеріалів.

При прийманні зварювальних матеріалів від постачальників та встановлення якості матеріалів особливу увагу звертають: на наявність сертифікатів для кожної партії та марки матеріалу, на цілісність упаковки, на стан електродів та зварювального дроту.

При збиранні з'єднань під зварювання перевіряють:

- чистоту порожнини труб та ступінь зачистки кромки та прилеглих до них поверхонь;
- дотримання допустимої різниці елементів, що зварюються;
- Дотримання допустимої величини зміщення зовнішніх кромки зварюваних елементів;
- величину технологічних зазорів у стиках;
- довжину і кількість прихваток.

При необхідності проводять просушування кромки, що зварюються, і здійснюють попередній підігрів для зварювання.

У процесі зварювання здійснюють безперервний операційний контроль за дотриманням режимів зварювання за допомогою приладів, встановлених на зварювальних апаратах, стежать за порядком накладання шарів та їх кількістю та якістю, стежать за часом перерв між проходами.

Усі зварні з'єднання труб, після завершення зварювання, мають бути очищені від шлаку, бризок металу, бруду. Після цього проводиться обмір і візуальний контроль.

При огляді зварної сполуки:

- перевіряють наявність на кожному стику тавра зварювальника, який виконував зварювання. Якщо зварювання одного стику виконували кілька зварювальників, то на кожному стику має бути проставлено тавро кожного зварника в даній бригаді, або одне тавро, присвоєне всієї бригаді;

- перевіряють наявність на одному з кінців кожної батоги її порядкового номери;

- переконуються у відсутності зовнішніх тріщин, не заплвлених кратерів і що виходять на поверхню пір.

Клеймо зварювальника або бригади, а також порядковий номер батогу або секції наноситься на труби електродами з основним видом покриття при умови, що труби виконані із сталі з межею міцності до 55 кгс/мм².

Якщо межа міцності сталі перевищує 55 кгс/мм², то тавро наносять тільки незмивною фарбою.

За результатами обміру зварені з'єднання, виконані дуговими методами, які повинні задовольняти наступним вимогам:

- величина зовнішнього зміщення крайок не повинна перевищувати допустимих значень;

- глибина підрізів має перевищувати допустимих значень;

- посилення зовнішнього та внутрішнього швів повинно мати висоту не менше 1,0 мм та не більше 3,0 мм та плавний перехід до основного металу;

- зварний шов облицювального шару повинен перекривати основний метал (при зварюванні дротом - на 1,5-3,5 мм).

Зварні з'єднання трубопроводів, виконані дуговими методами зварювання, які за результатами візуального контролю та обміру відповідають вимогам попередніх пунктів.

Усі висновки, результати роботи дефектоскопістів, знімки, звіти, акти, діаграми режимів зварювання підлягають обов'язковому зберіганню до здачі трубопроводу в експлуатацію.

До проведення технічної діагностики методами неруйнівного контролю допускаються лише дефектоскопісти, які закінчили вищі навчальні заклади, спеціалізовані професійні технічні училища, технікуми за відповідним напрямом підготовки або курси для дефектоскопістів. Обов'язковою є наявність документа про освіті та посвідчення встановленої форми.

Дефектоскопісти та інженерно-технічні працівники підрозділів контролю повинні проходити повторну атестацію (переатестацію).

Повторна атестація (переатестація) проводиться:

- періодично, не рідше одного разу на 12 міс.;
- при перерві у роботі понад 6 міс.

У посвідченні має бути проставлено печатку про проходження атестації та відзначено допуск до проведення робіт.

Залежно від призначення трубопроводу, його діаметра, виду середовища, що транспортується, і його тиску, категорії трубопроводу або його ділянок, визначаються проектом та встановлюються методи та обсяги неруйнівного контролю.

5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1.1 Аналіз основних шкідливих та небезпечних виробничих факторів на дільниці складання та зварювання виробу

На здоров'я та працездатність людини під час виконання складальних і зварювальних робіт впливає значна сукупність факторів виробництва та трудового процесу.

Шкідливий виробничий фактор – фактор середовища та трудового процесу, який викликає професійну патологію, тимчасове або стійке зниження працездатності, підвищує частоту соматичних та інфекційних захворювань.

Небезпечний виробничий фактор – фактор середовища та трудового процесу, який є причиною гострого захворювання або раптового погіршення здоров'я, смерті.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів на дільниці складання та зварювання корпусу контейнера належать:

- рухомі частини обладнання, механізми, машини;
- підвищена або знижена температура повітря поверхні обладнання;
- підвищена запиленість та загазованість повітря;
- підвищений рівень статичної електрики;
- електромагнітні випромінювання;
- підвищений рівень шуму, вібрації, ультразвуку та інфразвуку;
- відсутність або нестача природного та штучного освітлення;

- гострі кромки, задири та шорсткості на поверхнях заготовок інструментів та обладнання.

5.1.2 Техніка безпеки під час зварювальних робіт

Зварювальні роботи належать до виду робіт з підвищеним показником небезпеки. Серед небезпечних виробничих факторів виділяються:

- 1) високий рівень напруги електромережі;
- 2) світлове та ультрафіолетове випромінювання зварювальної дуги;
- 3) ймовірність появи іскри та бризок;
- 4) висока температура зварювальної дуги та матеріалів;
- 5) тиск газів, що у балонах.

Виходячи з цього, техніка безпеки при виконанні зварювальних робіт є дуже актуальною темою. Адже її порушення тягне за собою найсерйозніші наслідки.

Серед найчастіших травм, що фігурують у статистиці, переважають ураження електричним струмом, опіки очей та незахищених ділянок шкіри та травми механічної властивості.

Для забезпечення електробезпеки на складально-зварювальній ділянці відповідно до вимог ПОТ Р М-020-2001 вжито наступних заходів:

- проводи та кабелі для живлення електрообладнання машин та установок мають надійну ізоляцію та захист від механічних пошкоджень;
- електрообладнання машин термічного різання повинно мати заземлення;
- заземленню підлягають у стаціонарних машин станина або рейковий шлях, у переносних машин - корпус машини;
- заземлені всі цехові газопроводи;
- електричний опір між заземлюючим пристроєм та будь-якою точкою газопроводу не перевищує 100 Ом;
- забороняється проводити ремонт машин термічного різання під напругою;

- переносні машини термічного різання під час їх пересування необхідно відключати від електричної мережі;
- застосовувані обладнання та пристрої задовольняють вимогам чинних стандартів і нормалей на відповідне зварювальне обладнання;
- напруга холостого ходу джерел зварювального струму не перевищує максимальних значень, зазначених у стандартах на відповідне обладнання;
- з'єднання зварювальних кабелів проводять опресовуванням, зварюванням або паянням з наступною ізоляцією місць з'єднання;
- в електрозварювальних апаратах та джерелах їх живлення елементи, що знаходяться під напругою повинні бути закриті захисними огорожувальними пристроями;
- електрозварювальні установки приєднуються до джерела живлення через рубильник і запобіжник або автоматичний вимикач.

Основні заходи безпеки технологічних процесів вжиті на збирально-зварювальній ділянці відповідно до вимог ПОТ Р М-020-2001:

- стаціонарне робоче місце має пристрої для відсмоктування шкідливих речовин;
- для захисту від іскор і бризок розплавленого металу зварювальник користується захисними окулярами або захисним щитком, спецодягом та рукавичками;
- при перервах у роботі (обідня перерва та ін.) вимкнути рубильник електричної станції, закрити вентиля води, що охолоджує системи повітря;
- у зимовий час необхідно зберігати циркуляцію води;
- при припиненні подачі електроенергії вимкнути рубильник зварювальної машини;
- зварювальне обладнання, призначене для зварювання під флюсом на стаціонарних постах має, пристосування для механізованого засипання флюсу у зварювальну ванну та флюсовідсмоктування з бункером і фільтром;
- порожні балони зберігаються окремо від балонів, наповнених газом;
- газові балони захищені від ударів та дії прямих сонячних променів;

- від опалювальних приладів балони встановлюються на відстані щонайменше 1 м;
- по закінченні роботи балони з газом розміщуються у спеціально відведеному для зберігання балонів на місці, що виключає доступ сторонніх осіб;
- на робочому місці під ногами робітників розташований гумовий килим діелектричний.

5.2 Охорона праці

5.2.1 Пожежна безпека

Проектована ділянка за класифікацією виробництв з пожежної безпеки відноситься до категорії Г – пожежо-небезпечне виробництво, що використовує горючі і важко горючі рідини, тверді горючі і важко горючі матеріали та речовини, процес обробки яких супроводжується виділенням іскор, полум'я.

Джерелами пожежі в цеху можуть служити джерела живлення зварювальної дуги, газові балони, технічні олії та рідини обробних верстатів, пошкоджені електропроводи обладнання.

Передбачено, що місця, відведені для проведення зварювальних робіт та установки зварювального обладнання, повинні бути очищені від легкозаймистих матеріалів у радіусі не менше 5 м.

При проведенні зварювальних робіт забороняється користуватися одягом і рукавицями зі слідами олій і жирів, бензину, гасу та інших горючих рідин.

Перед початком роботи зварювальник перевіряє справність зварювальної апаратури, підготовленість робочого місця у протипожежному відношенні, або наявність засобів пожежогасіння, внутрішніх пожежних кранів, піску, вогнегасників. Якщо робоче місце не підготовлено, до робіт приступати не можна. Під час роботи не допускається попадання іскор розплавленого металу та розкидання електродних недогарків на горючі конструкції та матеріали, а після роботи робоче місце ретельно оглядається.

Забороняється захаращувати та закривати проходи до пожежного інвентарю. Курити необхідно у спеціально відведених місцях, обладнаних засобами пожежогасіння.

У разі виникнення пожежі або загоряння необхідно негайно відключити зварювальну установку. Подати сигнал пожежної тривоги та повідомити про пожежу майстра, керівника, зателефонувати до пожежної охорони. До прибуття пожежної охорони необхідно розпочати ліквідацію пожежі найбільш доцільними для цієї ситуації методами.

Відповідно до обраної категорії приміщення з пожежної небезпеки на ділянці передбачені такі засоби пожежогасіння:

- а) два порошкові вогнегасники масою 4 кг кожен;
- б) два ящики з піском;
- в) щит пожежний ЩПП обладнаний бруктом, багром, двома відрами, совковою та штиковою лопатою, візком для перевезення обладнання, азбестовим полотном, ємністю для зберігання води об'ємом 0,2 м³.

5.2.2 Охорона праці під час роботи з підйомними пристроями

Підйомні пристрої на виробництві є джерелом підвищеної небезпеки.

У роботі з підйомними пристроями є спеціальні вимоги, невиконання яких тягне за собою тяжкі наслідки різного роду.

При цьому вимоги є наступними:

- до роботи із застосуванням підйомника допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, інструктаж, навчання та стажування на робочому місці, перевірку знань охорони праці;

- мають групу з електробезпеки не нижче II групи.

Вимоги безпеки перед початком робіт:

- перевірити та надіти спеціальний одяг, засоби індивідуального захисту;
- дивитись і підготувати своє робоче місце;
- підготувати необхідний для даної роботи інструмент, перевірити їх зовнішнім оглядом та переконатися в їх справності;

- перевірити стан ізоляційних проводів, при пошкодженні ізоляції експлуатувати підйомник забороняється;

- перевірити обладнання підйомника, а перед початком робіт необхідно подати попереджувальний сигнал

Вимоги безпеки під час роботи:

- при нормальній роботі витягу не повинен спостерігатися підвищений шум механізму витягу, підвищений нагрівання гвинтової пари;

- забороняється проводити будь-які роботи з підйомником та його пультом керування при піднятому вантажі;

- перед підйомом вантажу переконатися у правильному положенні зачіпних пристроїв;

- під час роботи на підйомнику необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, спецодяг повинен бути застебнутий.

Вимоги безпеки в аварійній ситуації:

- негайно припинити роботи та сповістити керівника робіт;

- під керівництвом керівника робіт оперативно вжити заходів щодо усунення причин аварій чи ситуацій, які можуть призвести до аварій чи нещасних випадках.

ВИСНОВОК

В результаті проведеного порівняльного аналізу застосування технологій механізованого зварювання було встановлено, що зварювання в середовищі вуглекислого газу дротом суцільного перерізу є найбільш вигідним з економічної точки зору. Витрати при цьому способі в 2,3 рази менше, ніж при РДС, і 1,45 менше у порівнянні з СПП.

Висока продуктивність даного методу дозволяє швидко та якісно проводити ремонт магістральних трубопроводів за умови:

- доступність балонів із захисним газом (логістика газу);
- якості газу (вплив на формування шва);
- наявність додаткових укриттів.

Якщо ці умови не можуть бути виконані, то рекомендується застосування самозахисного порошкового дроту. Процес зварювання самозахисним порошковим дротом може вестись без використання додаткових укриттів.

Висока щільність струму та проплавлення, характерні для даного процесу, що забезпечують надійне видалення поверхневих зварювальних дефектів, і, отже, висока якість зварного з'єднання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малишкевич І.Ю., Робак Т.Б. Процес зварювання тонкостінних зварних виробів: тези доп. XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 7-8 грудня 2023 р. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. С. 127 – 129.
2. Кривов Г.О., Зворикін К.О. Виробництво зварних конструкцій : підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: КВІЦ, 2012. 896 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением : під ред. академіка Б. Є. Патона. К.: Машинобудування, 1974. 767 с.
4. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник. Миколаїв : НУК, 2004. 225 с.
5. ДСТУ 8713-79 Зварювання під флюсом. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
6. ДСТУ 14771-76 Дугове зварювання в захисних газах. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
7. Александров О.Г., Антонюк Д.А., Капустян О.Є. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення : навч. посібник. Львів : Новий світ, 2013. 224 с.
8. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. К.: Основа, 2021. 400 с.
9. Пулька Ч.В. Пути совершенствования технологии индукционной наплавки тонких стальных дисков/ Ч.В. Пулька, О.Н. Шаблій, В.Н. Барановский [та ін.] // Междун. науч.-техн. и произв. журнал «Автоматическая сварка». 2015. № 5–6 (742). С. 64–67.
10. Пулька Ч.В. Математична модель оптимізації енерговитрат індукційного наплавлення / Ч.В. Пулька, О.М. Шаблій, В.М. Барановський [та ін.] // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Серія «Техніка і енергетика АПК» / Редкол.: С.М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. К., 2015. Вип. 226. С. 386–393.

11. Стельмах І.С. Перспективи використання методу плазмового зварювання для відновлення культиваторних лап / І.С. Стельмах, Г.А. Герасимчук, В.М. Барановський // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). Луцьк : ЛНТУ, 2015. Вип. 51. С. 182–186.

12. Pulka Ch.V. Ways of updating the technology of induction surfacing of thin steel disk / Ch.V. Pulka, O.N. Shably, V.M. Baranovsky [but other] // The Paton WELDING JOURNAL. Kiev, E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. May-June 2015. – № 5–6/2015. – Pg. 59–62.

13. Лопата Л.А. Создание износостойких композиционных покрытий на основе порошков самофлюсующихся сплавов электроконтактным припеканием / Л.А. Лопата, В.Я. Николайчук, В.Н. Барановский, С.Л. Чиграй // Проблемы трибологии. Міжн. наук. журнал : Хмельницький нац.ун-т. 2015. № 4. С. 92–98.

14. Барановський В. Експериментальні дослідження контактного точкового зварювання деталей сільськогосподарських машин / Віктор Барановський // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль, 2015. – Т. 4 (80). С. 111–118.

15. Барановский В.Н. Методы применения контактной точечной сварки в сельскохозяйственном машиностроении / В.Н. Барановский // Lucrări științifice, UASM. Chișinău: Centrul editorial UASM, 2015. Vol. 45. – С. 191–195

16. Левченко О.Г. Охрана праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с.

17. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Складально-зварювальне оснащення». Вид. Тернопільського нац. технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 254 с.

18. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва». Вид. Тернопільського національного технічного ун-ту. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 58 с.

19. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Виробництво зварних конструкцій». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 66 с.

20. Барановський В.М., Підгурський М.І., Сенчишин В.С. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва» для студентів денної та заочної форми навчання для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Спеціаліст» і «Магістр» зі спеціальності 7.05050401, 8.05050401 «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 54 с.

21. Барановський В.М., Підгурський М.І., Мариненко С.Ю. Конспект лекцій з дисципліни «Безпека життєдіяльності для студентів всіх спеціальностей і форм навчання. Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 141 с./67 с.

22. Барановський В.М., Пулька Ч.В., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Основи наукових досліджень» для студентів спеціальності 8.05050401 – «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 86 с.

23. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів з курсу «Безпека життєдіяльності». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 62 с.

24. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. Львів, 1997. 275с.

25. Жидецький В. Ц., Джиги рей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : підручник (видавн. 5-те, доповнене). Л.: Афіша, 2000. 350 с.

ДОДАТКИ