

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: **Удосконалення технології зварювання неповоротних стиків
трубопроводів з дослідженням параметрів зварного шва.**

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

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Ракочий В.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Паньків М.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ткаченко І.Г.

(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)
« »	2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Ракочий Володимир Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології зварювання неповоротних стиків трубопроводів з дослідженням параметрів зварного шва

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

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2024 року № 4/7-1096

2. Термін подання студентом завершеної роботи . 20.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: існуючий технологічний процеси виготовлення трубопроводів сталей, методики дослідження зварних швів

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):
результати дослідження у вигляді таблиць, схем, графіків

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

[illegible]

Студент

(підпис)

Ракочий В.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Паньків М.Р.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Ракочий В.М. Удосконалення технології зварювання неповоротних стиків трубопроводів з дослідженням параметрів зварного шва. Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 131 Прикладна механіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2024 р.

Метою даної роботи є підвищення показників якості виготовлення зварних виробів шляхом розробки технології автоматичного електродугового зварювання неповоротних стиків трубопроводів та аналізу параметрів зварного шва.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи магістра є технологічний процес зварювання неповоротних стиків трубопроводів і аналіз впливу параметрів на характеристики зварного шва.

Предметом дослідження є взаємозв'язок впливу параметрів зварювання на показники зварного шва.

В результаті досліджень автоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу було встановлено, що нормального формування шва можна досягти, змінюючи співвідношення сил, що діють на зварювальну ванну. Варіюючи параметрами імпульсів та змінюючи кут нахилу електрода, отримана стабільність наплавленого металу у зварювальній ванні.

Обсяг роботи складає 86 сторінок, 4 таблиці, 32 рисунки, 10 додатків, 25 бібліографічних посилань.

Ключові слова: зварювання, магістральний трубопровід, будівництво, розрахунок режимів зварювання, зварювання імпульсним живленням, динамічна стабілізація зварювальної ванни.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Імпульсні методи управління дуговим зварюванням.....	9
1.2. Рух металу у зварювальній ванні при імпульсному живленні зварювальної дуги в нижньому положенні	9 14
1.3 Висновки до розділу	16
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	17
2.1 Основні сили, що діють на зварювальну ванну	17
2.2 Формування результуючої сили, що діє на зварювальну ванну при просторовому положенні, що змінюється.....	22
2.3 Вплив кута нахилу електрода на форму зварювальної ванни та геометрію наплавленого валика у нижньому положенні	25
3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	29
3.1 Опис зварної конструкції	29
3.2 Розрахунок режимів зварювання	34
4. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	52
4.1 Вибір зварювального автомата	52
4.2 Зварювання неповоротного стику при горизонтальному розташуванні труби.....	60
5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ	66
5.1 Надзвичайні ситуації, які пов'язані з пожежами.....	66
5.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при зварюванні виробу	69
ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	75
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність роботи. В даний час зварювання є однією з найпоширеніших технологій для з'єднання металевих деталей у багатьох галузях сучасної промисловості, у тому числі й у будівництві.

Її широке застосування обумовлено цілою низкою переваг, таких як зниження ваги конструкцій, скорочення термінів виготовлення виробів складної форми, великі можливості для механізації та автоматизації процесу.

Однак, поряд з перевагами, зварювання має і деякі недоліки, до яких можна віднести виникнення залишкових напруг і деформацій в зоні термічного впливу. Решткові деформації, що з'являються в результаті зварювання, ускладнюють процес складання великогабаритних конструкцій з окремих зварних блоків.

Крім того, небажано застосування зварювання для термозміцненої сталі, а також сталі, зміцненої витяжкою, у зв'язку з розміщенням ділянки навколошовної зони.

У поєднанні з іншими несприятливими факторами, такими як низька температура, знижені пластичні властивості металу, невдала форма з'єднання, залишкові зварювальні напруги можуть призвести до зниження несучої здатності конструкції.

Мета роботи – підвищення показників якості виготовлення зварних виробів шляхом розробки технології автоматичного електродугового зварювання неповоротних стиків трубопроводів та аналізу параметрів зварного шва.

Завдання дослідження:

1. Вивчити процес зварювання серед вуглекислого газу
2. Проаналізувати комплекс сил, які діють зварювальну ванну імпульсним живленням.

3. Виконати аналіз умов формування зварного шва у різних просторових положеннях

4. Визначити вплив кута нахилу та вплив тривалості імпульсу на формування шва.

Об'єкт дослідження – технологічний процес зварювання неповоротних стиків трубопроводів і аналіз впливу параметрів на характеристики зварного шва.

Предмет дослідження – взаємозв'язок впливу параметрів зварювання на показники зварного шва.

Отримані результати. Запропоновано удосконалену технологію виготовлення та технологічний процес зварювання неповоротних стиків трубопроводів.

У процесі дослідження проводилися розрахунки зварюваності сталі та розрахунки режимів зварювання.

Проведено обґрунтування вибору зварювальних матеріалів та способу зварювання.

Розглянуто питання розробки технології стабілізації зварювальної ванни. Проведено аналіз ресурсоефективності цього способу. Наведено заходи щодо охорони праці.

В результаті досліджень автоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу було встановлено, що нормального формування шва можна досягти, змінюючи співвідношення сил, що діють на зварювальну ванну. Варіюючи параметрами імпульсів та змінюючи кут нахилу електрода, отримана стабільність наплавленого металу у зварювальній ванні.

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

Автоматизація процесу зварювання – перспективний напрямок зварювального виробництва.

Спосіб зварювання серед вуглекислого газу імпульсним живленням може

бути використаний для виконання неповоротних стиків магістральних трубопроводів.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Окремі результати роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на XIII Міжн. науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024 р.

Публікації. Часткові результати досліджень за темою магістерської роботи опубліковано в 1 праці: збірник тез XIII Міжн. науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024 р.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків щодо роботи, бібліографічного списку зі 25 найменувань, 7 додатків. Робота викладена на 86 сторінках машинописного тексту, що включає 32 рисунки та 4 таблиці.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Імпульсні методи управління дуговим зварюванням

Магістральні трубопроводи – трубопроводи та відводи від них діаметром до 1420 мм включно з надлишковим тиском середовища понад 1,18 МПа до 15 МПа, призначені для транспортування нафти, води, газів та інших речовин від місця видобутку, виробництва, зберігання до місць споживання.

Матеріалом для труб магістральних трубопроводів є сталь. Труби діаметром до 500 мм включно виготовляються зі спокійних і напівспокійних вуглецевих і низьколегованих сталей. Труби діаметром до 1020 мм виготовляються зі спокійних і напівспокійних низьколегованих сталей. А при виготовленні труб діаметром до 1420 мм низьколеговані сталі у термічно або термомеханічно зміцненому стані [1].

Неповоротне зварювання – шви виконуються при стаціонарному положенні труби. Зварювання неповоротних стиків – один із найскладніших видів зварювальних робіт. Складність полягає в необхідності виконання зварювання в різних просторових положеннях них.

Неповоротні стики за положенням у просторі бувають вертикальними (вісь труби горизонтальна) та горизонтальними (вісь труба вертикальна).

Розрізняють методи зварювання трубопроводів:

- 1) за типом носіїв енергії (дугова, газова, плазмова, лазерна та ін);
- 2) за умовами формування з'єднання (вільне чи примусове формування зварного шва);
- 3) за способом захисту зони зварювання (під флюсом, у захисних газах, з використанням самозахисного електродного дроту);
- 4) за ступенем механізації та автоматизації процесу (ручна, механізована, автоматична) [2].

Для зварювання магістральних трубопроводів найбільшого поширення набули дугові методи зварювання.

Коли застосування механізованих методів неможливе, використовують ручне дугове зварювання. Ручне дугове зварювання рекомендується виконувати не менше ніж двома зварювальниками.

Широке застосування знаходять технології автоматичного зварювання неповоротних стиків трубопроводів порошковим дротом у суміші захисних газів.

Для дугового зварювання кільцевих стиків магістральних трубопроводів можуть застосовуватись наступні зварювальні матеріали:

- електроди покриті, з покриттями целюлозного та основного виду;
- дріт зварювальний суцільного перерізу;
- дріт зварювальний порошковий;
- флюс плавлений або керамічний;
- захисний газ активний та інертний, а також суміш захисних газів.

Складання труб при дуговому зварюванні трубопроводу в безперервну нитку слід проводити із застосуванням внутрішніх центраторів.

Складання стиків труб має гарантувати:

- перпендикулярність стику осі трубопроводу;
- рівномірність технологічного зазору;
- Мінімально можливу величину зміщення кромок.

У процесі збирання має бути виключено попадання олії, вологи та інших забруднень у обробку та зазори з'єднань.

Перед зварюванням кореневого шару шва проводиться просушування або попереднє підігрів торців труб та прилеглих до них ділянок.

При дуговому зварюванні неповоротних стиків трубопроводу шов має бути багат шаровим.

Число шарів залежить від товщини стінки труб, який застосовується способу зварювання.

Наприклад, при двостороннього автоматичного зварювання виконують внутрішній шов в один шар, а число зовнішніх шарів при діаметрі 1420 мм і товщині стінки від 24 мм до 28 мм дорівнює чотирьом.

За технологічними особливостями в кільцевому зварному шві можна виділити 4 зони шва:

- 1) кореневий шар шва;
- 2) перший заповнювальний прохід шва;
- 3) заповнюючі проходи шва;
- 4) облицювальний прохід шва.

Зварювання кореневого шару шва є технологічно найскладнішим. Від якості вивиконання кореневого проходу значною мірою залежать всі експлуатаційні характеристики майбутнього трубопроводу.

Найчастіше дефекти зварних швів утворюються у кореновому шарі шва або в його поєднанні з першим шаром, що заповнює (гарячим проходом). Кореневий шов магістральних трубопроводів рекомендується виконувати металопорошковим дротом «знизу-вгору».

Металопорошковий дріт сприяє появі безлічі центрів кристалізації зварювальної ванни при зварюванні, що забезпечує дрібнозернисту структуру металу шва, а також високі значення ударної в'язкості [3].

Перший заповнюючий прохід шва «гарячий прохід» виконують «знизу-вгору» автоматичним зварюванням рутиловим порошковим дротом.

Інші заповнювальні проходи виконуються автоматичним зварюванням рутиловими порошковими дроти в суміші газів.

Зварювання облицювального шару рекомендується виконувати зверху вниз. Це сприяє одержанню шва сприятливої зовнішньої форми.

Перед виконанням кожного наступного шару поверхня попередніх шарів повинна бути очищена від шлаку та бризок наплавленого металу.

Новий прохід шва слід виконувати, поки метал не встиг охолонути до недопущеної температури. Якщо проміжок часу між шарами перевищив допустимий, то можливо по- поновити процес зварювання тільки після підігріву металу шва.

Розробка зварювання імпульсним живленням дає великі можливості для керування процесом перенесення електродного металу.

Для зварювання довгою дугою розроблено відносно мало способів імпульсного живлення. Перші, розроблені імпульсні методи зварювання, були налаштовані управління розмірами зварювальної ванни [14].

У зварюванні імпульсним живленням дуги, що плавиться електродом серед захисних газів, процес відбувається з подачею імпульсів струму різних параметрів порівняно від зміни швидкості подачі електродного дроту.

Модують у своїй такі параметри як частота імпульсів і тривалість імпульсів (рис. 1.1).

Для підвищення якості зварних шов розглянемо зварювання з імпульсним живленням дуги, де регулюється автоматично довжина дугового проміжку за рахунок зміни параметрів імпульсів зварювального струму.

Регулювання процесу здійснюється за рахунок зміни тривалості імпульсів та періоду дії імпульсів.

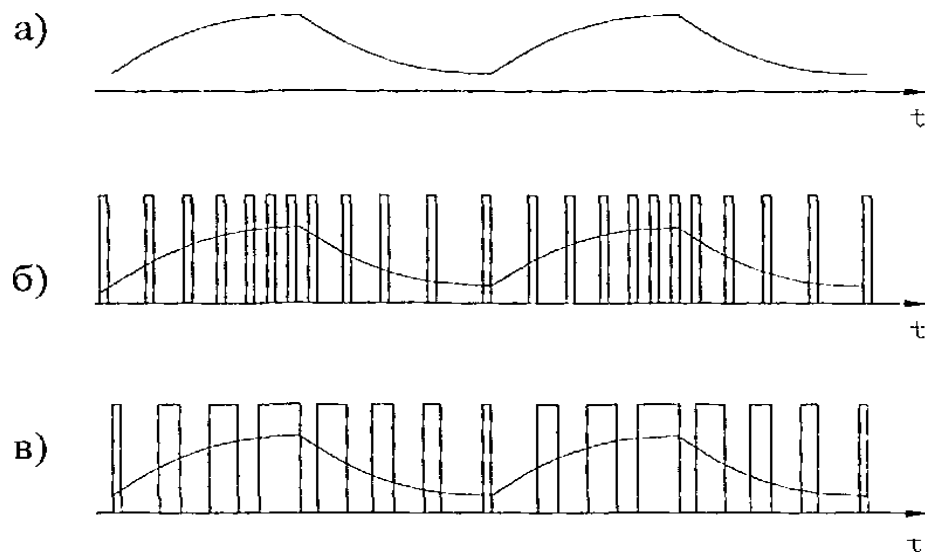


Рисунок 1.1 – Крива зміни швидкості подачі дроту(а); графік подачі імпульсів за частотної модуляції(б); зміна тривалості імпульсів при широтній модуляції (в)

У такому способі зварювання внаслідок зміни співвідношення енергії, що вводиться в електрод, змінюються умови розплавлення крапель і змінюється кількість енергії, що вводиться в електрод після того, як стався відрив краплі. Тому краплі, що залишилися на електроді різних розмірів.

У процесі відбувається поділ градації стадій плавлення та перенесення електродного металу.

У розвитку імпульсних способів зварювання важлива увага приділялася тонкому управлінню процесами плавлення та перенесення електродного металу над формуванням зварного з'єднання воно призводить до зменшення втрат на розбризкування.

Спосіб зварювання імпульсним живленням дозволяє дозувати енергію на розплавлення кожної наступної краплі ще з моменту її відриву.

Момент відриву фіксується за сплеском напруги на дузі.

Осцилограми способу зварювання імпульсним живленням представлена на рис. 1.2.

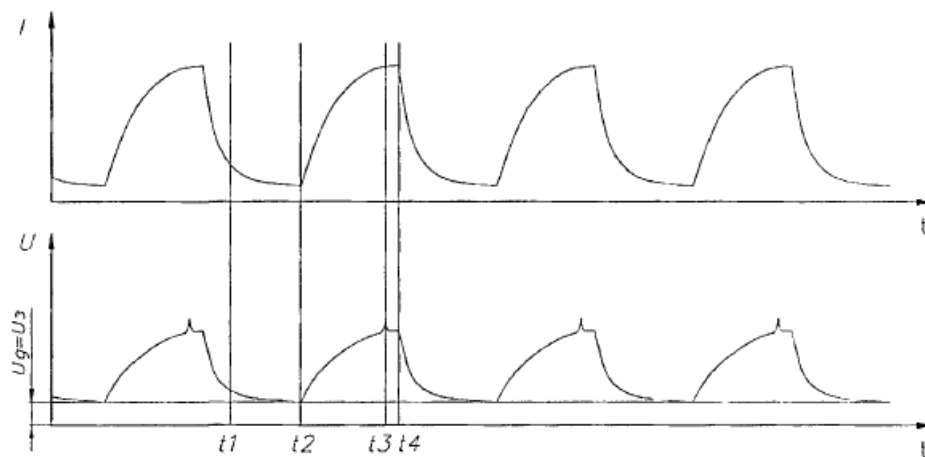


Рисунок 1.2 – Осцилограми струму та напруги при імпульсному живленні

При такому способі зварювання з імпульсним живленням дуги електродом, що плавиться, відбувається автоматичне регулювання довжини дугового проміжку.

Стає це можливо після зміни параметрів імпульсів зварювального струму залежно від напруги на дузі.

У такому способі зварювання забезпечується стабільність процесу на стадії краплі.

У цьому керованому процесі імпульс переносить лише одну краплю електродного металу майже одного розміру, внаслідок чого зменшується розбризкування та покращується якість зварного з'єднання.

1.2 Рух металу у зварювальній ванні при імпульсному живленні зварювальної дуги в нижньому положенні

Розглянутий спосіб зварювання електродом, що плавиться, з імпульсним живленням зварювальної дуги надає на ванну схожу дію, що і при зварюванні з короткими замиканнями.

Враховуючи вплив імпульсної дуги на зварювальну ванну, потрібно виділити дві характерні ділянки - імпульс і горіння чергової дуги в паузі, рис. 1.3, 1.4.

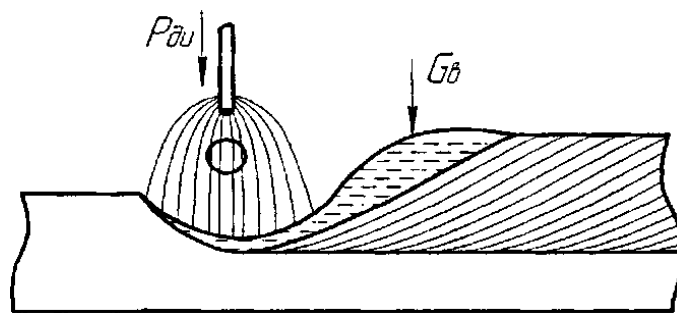


Рисунок 1.3 – Зварювальна ванна в момент імпульсу P_d – тиск дуги в імпульсі, G_B – вага зварювальної ванни

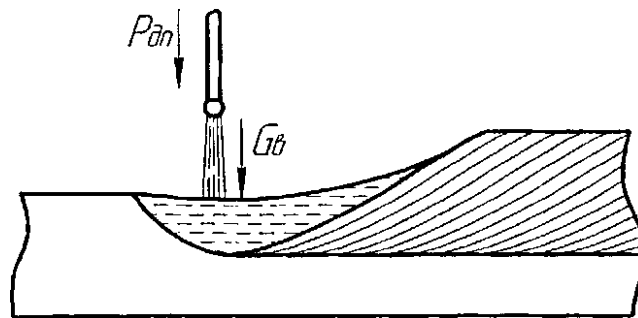


Рисунок 1.4 – Зварювальна ванна під час паузи

P_{dn} – тиск дуги в паузі. Під час паузи тиск дуги невеликий, оскільки струм у паузі становить приблизно 20-50 А. А той метал, який не закристалізувався стекетом назад під дугу.

Якщо розглядати стадії процесу, видно, що ванна здійснює вимушені коливання під дією імпульсів струму, з частотою, що дорівнює частоті слідування імпульсів.

Змінівши параметри імпульсів можна значно вплинути на умови формування зварного з'єднання, а також геометрію шва.

Виконуючи зварювання неповоротних стиків, де завжди змінюється просторове положення зварювальної ванни, з використанням зварювання з короткими замиканнями стає неможливим забезпечити постійну частоту проходження імпульсів коротких замикань, оскільки воно відбувається трохи раніше, ніж у нижньому положенні.

Тому частота коротких замикань у різних просторових положеннях є різною.

Ця відмінність негативно впливає на якісне формування зварного шва.

У процесі зварювання довгою дугою частота проходження імпульсів майже постійна і момент включення імпульсу зчитується за напругою на дузі в момент паузи.

Напруги на дузі знижуються через подачу електродного дроту, а також за рахунок стікання розплавленого металу зварювальної ванни.

При різних просторових положеннях ванна з різною швидкістю підтікатиме під дугу, і щоб виключити витікання рідкого металу через головну частину зварювальної ванни необхідно, щоб імпульс струму включався трохи раніше.

Велику ясність може дати поняття напруга на дузі.

Для того щоб фіксувати коливання зварювальної ванни та враховувати швидкість переміщення металу зварювальної ванни, з головної частини до хвостової.

У цьому вся процесі можна назвати окремі стадії протікання (рис. 1.5):

- t_1 – кінець паузи;
- t_2 – початок включення струму імпульсу;
- t_3 – початок перенесення краплі;
- t_4 – закінчення подачі струму імпульсу;
- t_5 - протікання струму чергової дуги, крапля зайняла співвісне становище з електродом.

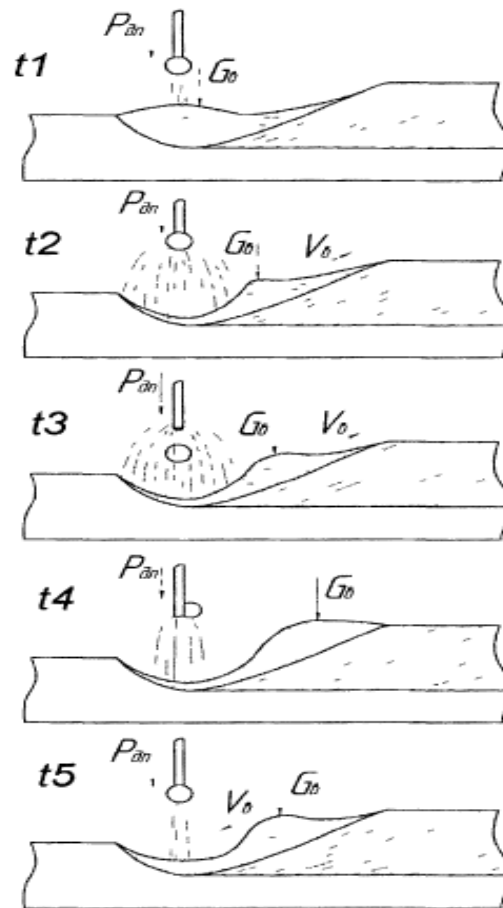


Рисунок 1.5 – Стадії перебігу процесу

Тому можна дійти до висновку у тому, що зварювальна ванна здійснює коливальний рух уздовж фронту кристалізації з частотою слідування імпульсів, перебуваючи у своїй у динамічному рівновазі.

Через що з'являється можливість широкого регулювання процесом формування зварювального шва в різних просторових положеннях завдяки зміні тривалості і частоти імпульсів, тим самим змінюючи частоту і амплітуду руху ванни. Зберігши незмінним поперечний переріз шва, оскільки не змінилася швидкість подачі зварювального дроту.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Основні сили, що діють на зварювальну ванну

При протіканні процесу зварювання форма та розміри зварювальної ванни залежать від багатьох параметрів. У процесі зварювання на зварювальну ванну діють безліч сил.

Основними з цих сил є:

- а) сили поверхневого натягу;
- б) вага рідкого металу, сили тяжіння;
- в) силовий вплив зварювальної дуги.

Зовнішня частина зварювальної ванни залежить від дії цих сил.

Так як цими силами можна знехтувати виконуючи роботу в нижньому положенні, а ось при зварюванні в інших просторових положеннях, близьких до стельового, вони відіграють важливу роль у формуванні зварного шва зварного виробу.

Для аналізу основних закономірностей формування шва при зварюванні в різних просторових положеннях необхідно розглянути окремо кожну з цих сил, а так дослідити їхню комплексну дію на зварювальну ванну.

Розглянемо силовий вплив дуги.

Протягом тривалого часу вивчали механічний вплив дуги на ванну. Багато робіт було присвячено цю тему, але повного уявлення.

Сьогодні вважається, що силовий вплив дуги є складним комплексом різних сил, які по-різному впливають на ванну.

Величину силового впливу дуги можна виразити емпіричною залежністю

$$P_0 = k \cdot I^2, \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, що залежить від способу зварювання та застосовуваних зварювальних матеріалів (Г/А);

I – зварювальний струм, (А).

Механічний вплив дуги на зварювальну ванну представляють залежністю кількох сил.

Газокінетична сила при цьому визначається характеристиками струменя плазми від електрода до ванни, при цьому вона так само діє на зварювальну ванну подібно до тиску струменя на перешкоду.

Електромагнітна сила, що діє у ванні, обумовлена взаємодією магнітного поля дуги зі струмом у ванні. Вона спрямована по нормалі до поверхні виробу, рис. 2.1.

Сила реактивної дії парів та газів пов'язана між випаром металу з поверхні ванни і з викидом газ внаслідок протікають у ванні металургійних процесів.

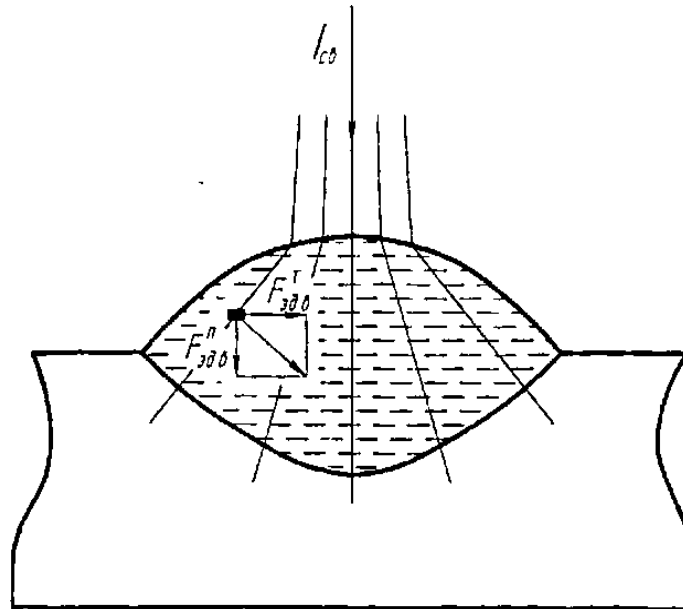


Рисунок 2.1 – Дія електромагнітної сили на зварювальну ванну: $F_{зд.б}^n$, $F_{зд.б}^T$ – нормальна та тангенціальна складові електромагнітної сили; $I_{св}$ – зварювальний струм

У процесі сумарного силового впливу на рідкий метал ванни можна спрощено уявити наступним чином: відбувається удар по ванні імпульсним потоком газу, пов'язаним з миттєвим збільшенням.

Розглянемо сили поверхневого натягу.

Властивістю рідких та твердих тіл є наявність вільної поверхневої енергії.

Її існування проявляється у прагненні рідин набути форми, яка характеризується мінімальною поверхнею. Це прагнення поверхні рідини скорочення обумовлено силами міжмолекулярного взаємодії [5].

Визначають силу поверхневого натягу за допомогою рівняння Лапласа. Визначити сили поверхневого натягу можна тоді, коли відомі радіуси кривизни поверхні і коефіцієнт поверхневого натягу.

На практиці виходить, що поверхня зварювальної ванни несе складну форму з різними радіусами кривизни у різних точках. При такому зварюванні не дотримуються умови термічної рівноваги на межі розплавленого металу з рівномірністю подачі газу.

Це входить в основу виведення рівняння Лапласа, отже величина поверхневого натягу буде різна і матиме різні значення.

Головною властивістю рідких і твердих тіл є наявність вільної поверхневої енергії, яка проявляється у прагненні рідин набути форми з мінімальною поверхнею.

Таке прагнення поверхні рідини до скорочення пояснюється силами міжмолекулярної взаємодії

Як відомо, коефіцієнт поверхневого натягу залежить від температури та концентрації різних домішок на межі фаз [7].

У процесі зварювання рідкий метал зварювальної ванни покритий шаром розплавленого шлаку. На межі розділу фаз діє певний за величиною міжфазний і поверхневий натяг.

У свою чергу на зварювальну ванну діє рухоме, зосереджене високотемпературне джерело тепла під дією, якого поверхня розділу фаз нагрівається до високих температур. Мимо цього між шлаком і рідким металом протікають різні хімічні реакції, змінюючи при цьому концентрацію фаз на межі їх розділу.

Великий вплив для коефіцієнта поверхневого натягу змінює температуру. У температурах кипіння поверхневий натяг рідини ставати дорівнює нулю і як наслідок зникає розділ між рідкою та газовою фазою.

Сама температура поверхні зварювальної ванни змінюється від температури плавлення до температури кипіння 2880°C на поверхні, що знаходиться під дугою. Тому коефіцієнт поверхневого натягу матиме різні значення різних ділянках поверхні ванни.

Вагомий інтерес несуть поняття нормальної і тангенціальної складової сили поверхневого натягу, особливо в дослідженні формування шва у різних просторових положеннях варильної ванни, особливо зварювання неповоротних стиків магістральних трубопроводів.

У джерелах в основному описується методика знаходження поверхневого натягу як такого, в процесі зварювання більший інтерес становить наслідок наявності поверхневого натягу, такого як надлишковий тиск, який прагне зменшити зовнішню поверхню.

Проаналізуємо вагу зварювальної ванни.

Маса зварювальної ванни залежить від потужності джерела, умов передачі теплоти від джерела до металу, що зварюється, теплопровідності, швидкості плавлення і температури електродного металу [10].

Експериментально визначено, що на плинність зварювальної ванни вагомий вплив має вага. При зварюванні в нижньому положенні вплив ваги розплавленого металу зварювальної ванни проявляється меншою мірою, а вплив в основному йде на форму посилення зварювального шва.

При зварюванні в стельових положеннях зі збільшенням ваги зварювальної ванни настає момент, коли сили, що діють на зварювальну ванну, не можуть утримувати її в стані рівноваги. Розплавлений метал при цьому може витекти із зварювальної ванни, утворивши натіки під дією сили тяжіння.

Для зварювання неповоротних стиків труб у різних просторових положеннях метал зварювальної ванни прагне стекти в головну частину ванни або в напрямку зварювання. Але вважається, що для утримання металу зварювальної ванни достатньо регулювати силами поверхневого натягу та керувати тиском дуги. При цьому зазвичай вважають, що метал зварювальної ванни утримується силами поверхневого натягу та тиску дуги.

При цьому, слід враховувати той фактор, який сприяє утриманню зварювальної ванни металу, такий як периметр головної частини зварювальної ванни, який має гострі краї, які перешкоджають розтіканню наплавленого металу з зварювальної ванни.

Визначальним параметром утримання металу буде кут, оскільки витікання може статися тоді, коли кут перевищить рівноважне значення.

Виконуючи процес зварювання в положеннях близьких до вертикального металу зварювальної ванни прагнути стекти в головну частину. Так само можна відзначити, що якщо метал зварювальної ванни почав витікати, то більша його частина впливе із зварювальної ванни, тому що енергетично йому вигідніше перебувати в нижній точці.

Зварювальна дуга при цьому відтіснятиме розплавлений метал до фронту кристалізації, а так само віджиматиме його в головну частину.

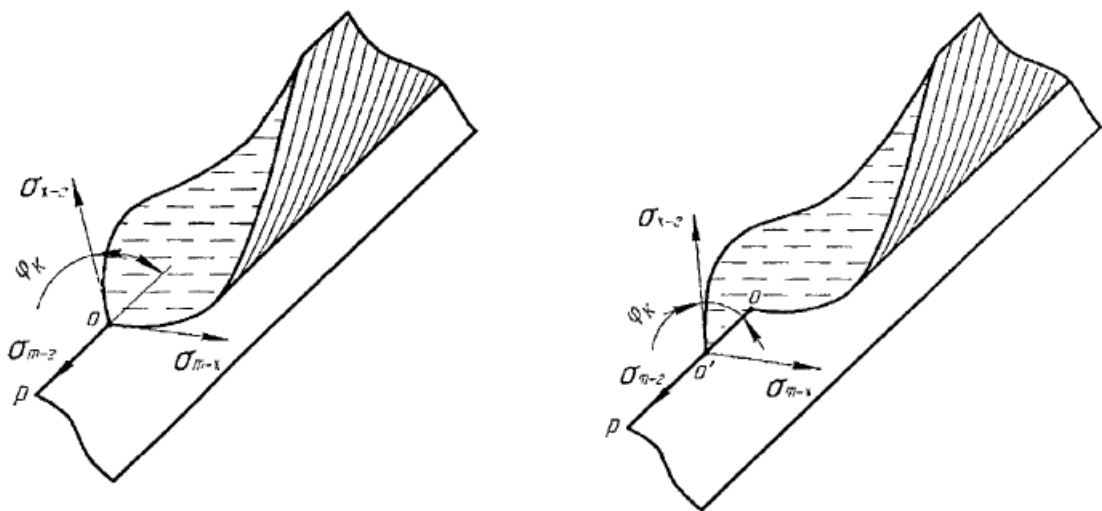


Рисунок 2.2 – Утримання металу зварювальної ванни за рахунок наявності фронту плавлення в головній частині зварювальної ванни

Необхідно також враховувати наявність периметра хвостової частини зварювальної ванни, оскільки він має гострі краї, і в різних просторових положеннях сприяє утриманню зварювальної ванни.

Проаналізувавши сказане, можна дійти невтішного висновку, що з зварюванні із змінним просторовим становищем слід виділяти як стандартні положення (нижнє, вертикальне, стельове), а й проміжні положення.

2.2 Формування результуючої сили, що діє на зварювальну ванну при просторовому положенні, що змінюється

У процесі зварювання зварювальна ванна знаходиться під дією комплексу сил: поверхневого натягу, ваги зварювальної ванни, силового впливу дуги. Величини цих сил залежить від багатьох параметрів: способу зварювання, режиму зварювання та вибору зварювальних матеріалів.

Якщо розглядати зварювання у зафіксованому положенні, то труднощів із формуванням шва майже не виникає.

Оскільки там режим зварювання підбирається так, щоб зварювальна ванна знаходилася в рівновазі під дією прикладених до неї сил, забезпечуючи високу продуктивність.

При зварюванні ж неповоротного стику, при просторовому становищі, що постійно змінюється, для утримання наплавленого металу в зварювальній ванні, необхідно коригувати режим зварювання.

Але змінюючи режим зварювання змінюється і поперечний переріз зварного шва, тому для повного заповнення доводиться залагоджувати шви для корекції.

Поверхневим натягом ми таким чином управляти не можемо, оскільки температура розплавлення дуже висока. [5]

На першому етапі будуються вектори дії сил ваги зварювальної ванни та поверхневого натягу, оскільки величина цих сил постійна.

Далі будується рівнодіюча сила від цих сил, яка показує, у якому напрямку може переміщатися зварювальна ванна.

За графіком видно, що за кута $\alpha = 15-30^\circ$ утворюється тангенціальна складова рівнодіючої сили, під впливом якої зварювальна ванна прагнути вилетіти.

При $\alpha = 120-130^\circ$ утворюється нормальна складова рівнодіючої сили, яка прагне відірвати зварювальну ванну. При $\alpha = 140-150^\circ$ тангенціальна складова дорівнює нормальній.

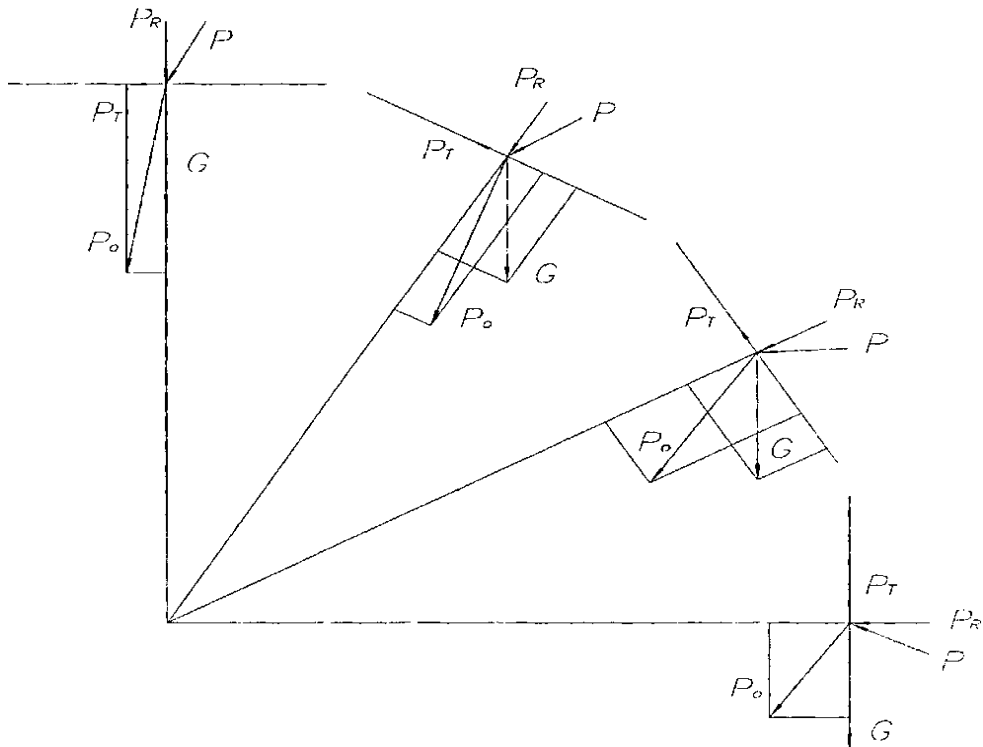


Рисунок 2.3 – Комплекс сил у різних просторових положеннях

Можна також визначити нормальну та тангенціальну складову які діють залежно від просторового становища рис. 2.4.

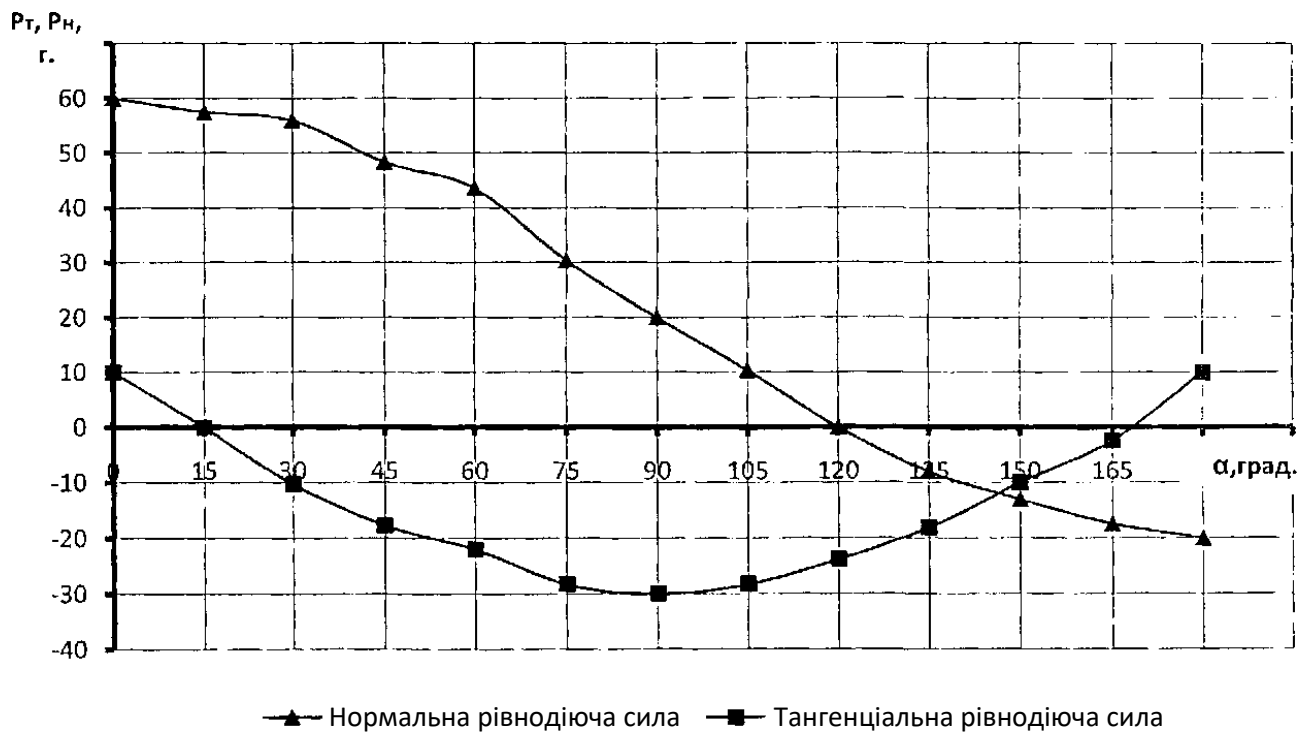


Рисунок 2.4 – Зміна нормальної та тангенційної складових рівнодіючої сили залежно від просторового положення

Головна проблема при зварюванні неповоротних стиків є витікання металу зварювальної ванни, при якому порушується формування шва, і виникають дефекти.

Зварювальна ванна витікає під впливом неврівноваженої сили від ваги зварювальної ванни [12]. Для виявлення умов рівноваги зварювальної ванни необхідно скласти рівняння рівноваги сил, що діють на ванну, на вісь, що збігається з напрямком витікання металу ванни [13].

У разі зварювання, яке спрямоване на спуск у положенні від 0 до 90 градусів, метал прагнучим стекти по дотичній (рис. 2.5).

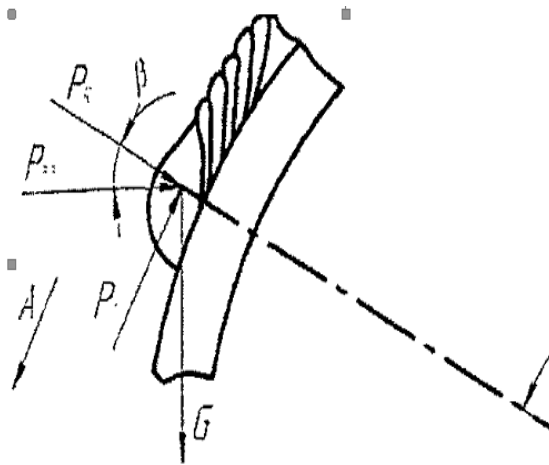


Рисунок 2.5 – Схема сил, що діє на зварювальну ванну в положенні від 0 до 90°

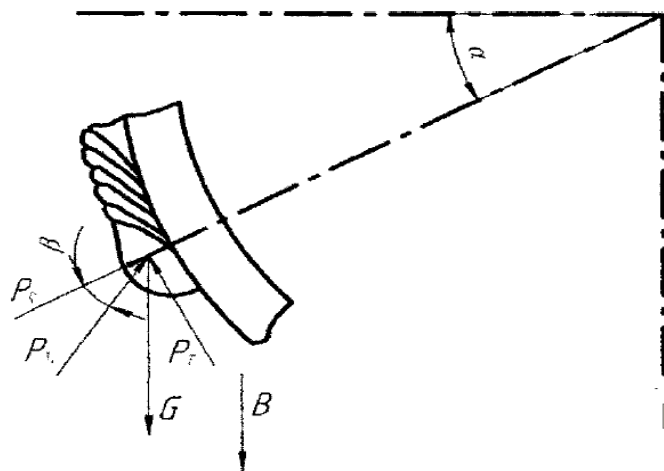


Рисунок 2.6 – Схема сил, що діють на зварювальну ванну в положенні від 90°-180°

β – напрямок витікання металу в положенні від 90° до 180° .

На ділянці від 0 до 90 градусів рівняння рівноваги матиме такий вигляд

$$G_{\text{с}} \cdot \sin \alpha - P_{nn}^{\tau} - P_{\text{од}} \cdot \sin \beta = 0.$$

На ділянці від 90 до 180 градусів

$$G_{\text{с}} \cdot \cos \alpha - P_{nn}^{\tau} - P_{nn}^{\tau} \cdot \sin \beta - P_{\text{од}} \cdot \sin(\alpha + \beta) = 0.$$

У ході дослідження було встановлено, що при значно збільшеному тиску дуги зварювальна ванна перебуватиме в рівновазі. Якщо зварювання проходитиме в положеннях близьких до стельового, кут нахилу зросте, тому що компенсувати треба більшу частину рівнодіючої сили, але при значному збільшенні кута нахилу метал вже буде видуватися дугою, утворюючи натіки.

Для вирішення проблем утримання наплавленого металу у зварювальній ванні необхідно динамічно стабілізувати її.

Для того щоб ванна не могла відірватися або відняти, розглянемо процес динамічної стабілізації у зварюванні з імпульсним живленням зварювальної дуги.

2.3 Вплив кута нахилу електрода на форму зварювальної ванни та геометрію наплавленого валика у нижньому положенні

Ще одним важливим параметром, за допомогою якого можна активно вплинути на формування шва у процесі зварювання став кут нахилу електрод.

Змінюючи кут нахилу електрода можна змінити співвідношення сил, які діють на зварювальну ванну в нормальному та тангенціальному напрямі.

Експериментально досліджували вплив кута нахилу електрода в процесі зварювання; на вплив геометрії наплавленого валика.

Експериментально в процесі наплавлення проводилося дослідження, для визначення можливості впливу кута нахилу електрода, геометрію зварної сполуки.

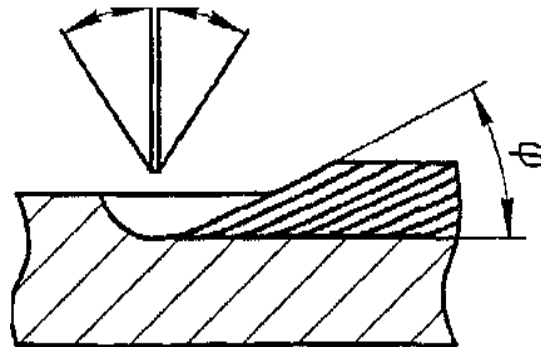


Рисунок 2.7 – Кут нахилу електрода: φ – кут фронту кристалізації зварювальної ванни; β – кут нахилу електрода, l – електродний дріт.

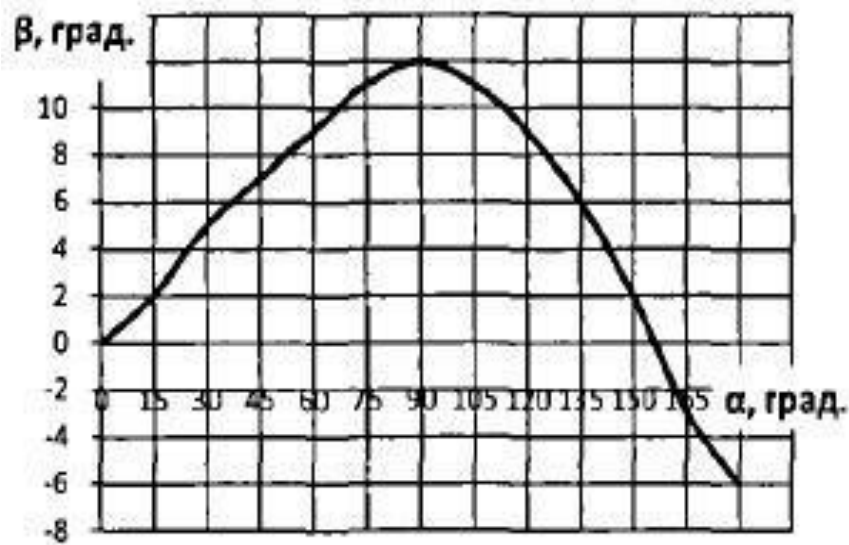


Рисунок 2.8 – Залежність зміни кута нахилу електрода β під час зварювання з імпульсним живленням дуги від просторового положення

Зразок зварювали дротом Св-08Г2С.

Як і раніше не змінюючи режиму зварювання, встановлювали кут нахилу електрода від -20° кутом вперед до $+20^\circ$ кутом назад, кут нахилу змінювали через 5° для більш точного виявлення залежності.

На основі отриманих даних встановлено, що ширина зварювальної ванни має максимальне значення при зварюванні кутом вперед -20° і плавно зменшується практично лінійно до $+20^\circ$ кутом назад [5].

Експериментально визначили, що за рахунок того, що в імпульсах струм значний, тиск дуги збільшується і вимагає меншої зміни кута нахилу з $15-20$ град. до 12 при зварюванні з імпульсним живленням.

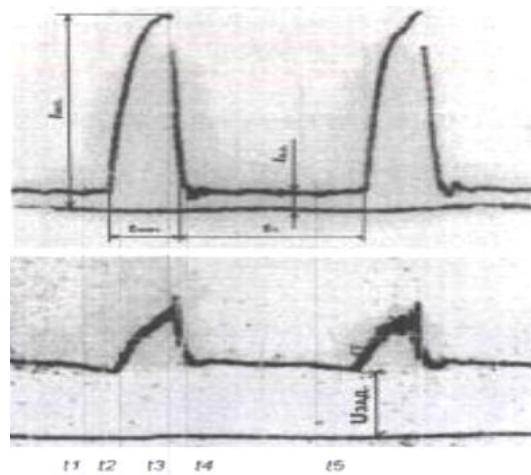


Рисунок 2.9 – Осцилограма процесу зварювання у вуглекислому газі з імпульсним живленням

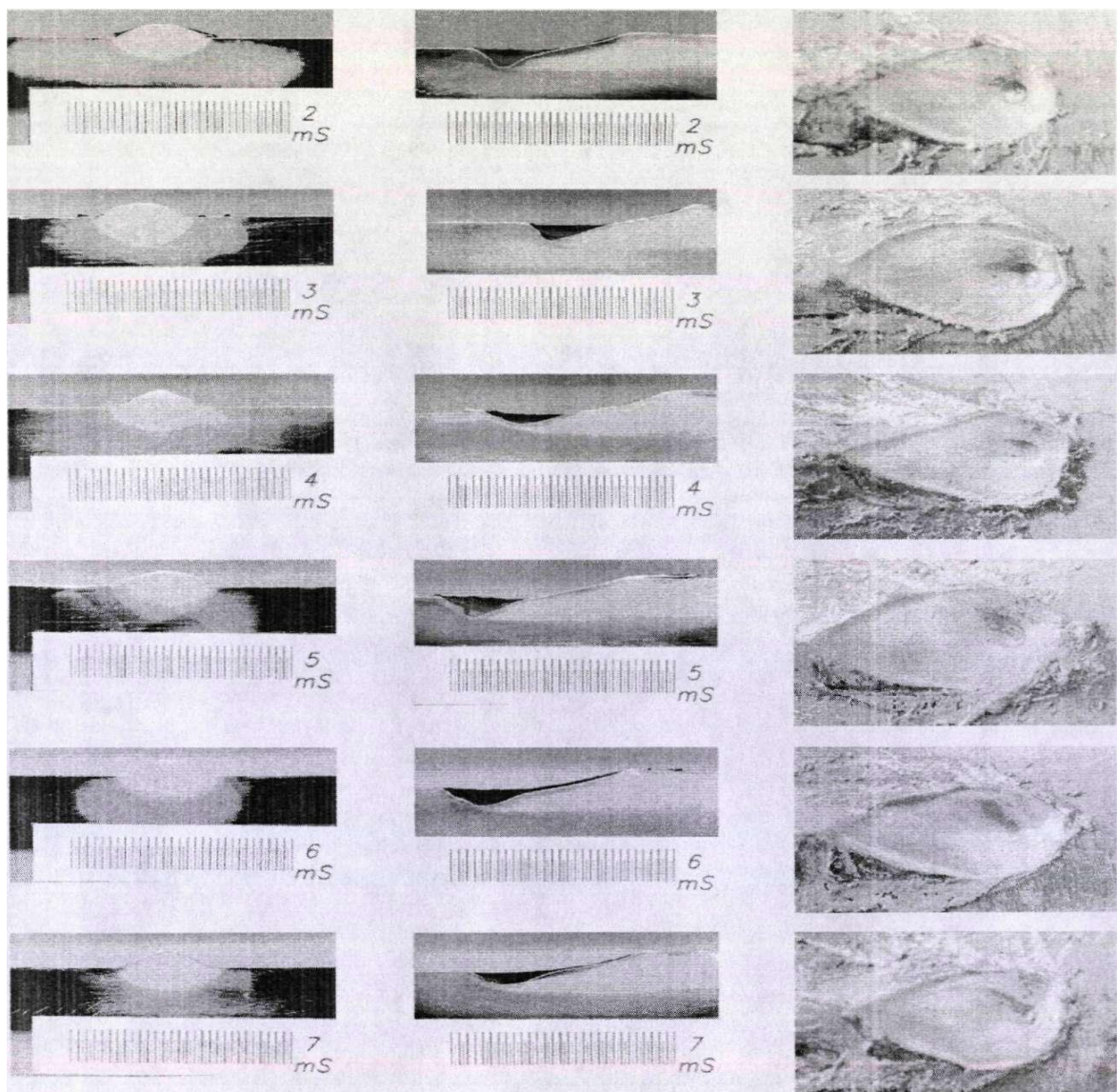


Рисунок 2.11 – Форма валиків та зварювальної ванни з різними значеннями тривалості імпульсів

Процес зварювання з імпульсним живленням можливий при незмінному середньому струмі, а так само він дозволяє активно впливати на формування шва, змінюючи тривалість імпульсів. 08Г2С діаметром 1.2 мм [5].

Електродний дріт був спрямований перпендикулярно до зразка, час тривалості імпульсів змінювався від 2 до 7 мс незмінною, а посилення шва плавно збільшилося з 2 до 2.4 мм.

Для зварювання неповоротних стиків це є важливою перевагою. Зварювання імпульсним живленням дозволяє утримати зварювальну ванну в різних просторових положеннях, вимірюючи параметри імпульсу.

Проведений аналіз дозволяє узагальнити загальні рекомендації щодо зварювання високоміцних середньо-легованих сталей:

- при виконанні зварювання необхідно забезпечити мінімальне тепло-вкладення в ЗМ для зменшення часу перебування металу при високих температурах (T_{max});
- зварювання здійснюють з використанням попереднього підігріву до 100–150°C при виконанні першого проходу;
- використання супутнього підігріву найбільш ефективно впливає на швидкість охолодження ω_{300} , зокрема, збільшує час перебування металу в інтервалі температур 300–100°C;
- при зварюванні електродним матеріалом, близьким за хімічним складом до основному металу, щоб уникнути появи холодних тріщин необхідний попередній та (або) супутній підігрів, а після закінчення зварювання в протягом не більше 30 хв потрібна повна термообробка;
- при зварюванні аустенітним електродним металом для зниження хімічної неоднорідності в зоні сплавлення та виключення утворення прошарку мартенситу необхідно використовувати МШ із запасом аустенітності не менше 50%, наприклад, зварювальний дріт Св-10Х16Н25АМ6;
- при зварюванні аустенітним електродним металом обмежують величину зварювального струму. Це з тим, що структурна неоднорідність відбувається значно інтенсивніше при перегріві ЗШЗ.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис зварної конструкції

В даний час трубопровідний транспорт нафти і газу знаходиться в інтенсивному розвитку. За обсягом вантажоперевезень він посідає чільне місце, витісняючи залізничний та водний транспорт нафти.

Збільшені масштаби будівництва трубопровідного транспорту, а також велика їх довжина, тягнуть за собою високі темпи прокладки і хорошу якість зварних швів.

Розробляється, і реалізуються багато великих проектів з будівництва та ремонту магістральних та промислових трубопроводів. Характеризуються магістральні трубопроводи великою довжиною в сотні та тисячі кілометрів діаметром до 1400 мм і вище. Там перекачування ведеться не однієї, а кількома станціями, розташованими на трасі.

Високий темп розвитку трубопровідного транспорту забезпечується великим освоєнням нових родовищ, а також фактом сильної віддаленості родовищ від місць видобутку та переробки до місць споживання нафти та газу. Виросла довжина трубопроводів, збільшився їх діаметр, а також потужність і робочий тиск.

Сьогодні, більшість нафти і природного газу, що видобуваються, транспортуються магістральними трубопроводами. Трубопроводи діаметром понад 1000 мм займають перші місця, довжина трубопроводів зазвичай сягає 5000 км.

За способом виготовлення труби для магістральних трубопроводів поділяються на безшовні, електрозварні з прямим швом і зварні зі спіральним швом.

За характером продукту, що перекачується, розрізняють бензопроводи, гасопроводи і мазутопроводи. Магістральні нафтопроводи поділяються на чотири класи, залежно від умовного діаметра труби:

1 клас – труби діаметром 1000-1200 мм.

2 клас – труби діаметром 500 – 1000 мм.

3 клас – труби діаметром 300 – 500 мм.

4 клас – труби діаметром 500 – 1000 мм.

Нафтопроводом називають трубопровід, який призначений для здійснення перекачування нафти та нафтопродуктів

За призначенням вони поділяються:

- промислові – сполучні свердловини з різними об'єктами та установками підготовки нафти на промислах;
- магістральні (МН) – призначені для транспортування товарної нафти та нафтопродуктів;
- технологічні – призначені для транспортування в межах промислового підприємства чи групи цих підприємств.

Магістральні нафто- і нафтопродуктопроводи поділяються на чотири класи залежно від умовного діаметра труб (в мм): I – 1000-1200 включно; II – 500-1000 включно; III – 300-500 включно; IV – 300 і менше.

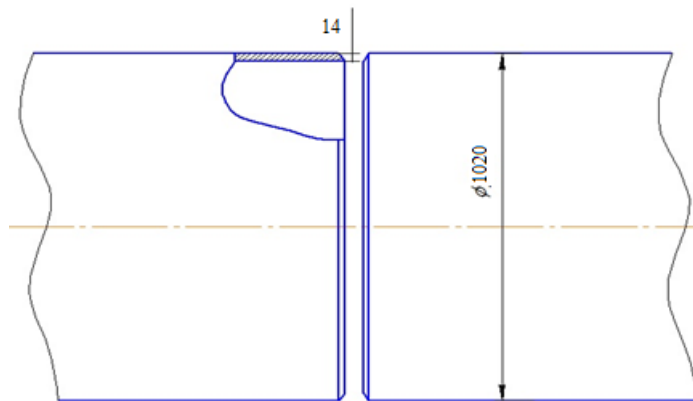


Рисунок 3.1 – Схема стику магістрального трубопроводу

Головними елементами магістрального трубопроводу є труби, які між собою зварені в нитки, вони являють собою сам трубопровід. Зазвичай магістральні трубопроводи прокладають під землею на глибину 0,8 м-коду.

Для магістральних трубопроводів застосовують цілнотягнуті мули зварені труби діаметром різних діаметрів.

Товщина стінок труб визначається проектним тиском у трубопроводі, який може досягати 32 МПа. Трубопровід, що прокладається районами з вічномерзлими ґрунтами або через болота, можна укласти на опори або в штучні насипи.

Сукупність властивостей металу, що визначають можливість протікання фізико-хімічних процесів (дифузія в рідкому та твердому станах, утворення рідких та твердих розчинів, кристалізації металу шва), в результаті яких досягається нероз'ємне з'єднання, називають здатністю зварюватися або фізичною (принциповою) зварюваністю.

Технологічна зварюваність металів та їх сплавів залежить від таких властивостей металу:

- хімічна активність металів;
- - ступінь легування;
- - структура та вміст домішок.

Чим метал хімічно активніший, тим вища його ймовірність взаємодії з навколишнім середовищем (окислення). Отже, має бути забезпечена висока якість захисту та можливість металургійної обробки при зварюванні.

Від хімічного складу сталі залежить її структура та фізичні властивості, які можуть змінюватися під впливом нагрівання та охолодження металу при зварюванні.

Оцінюючи зварюваність роль хімічного складу сталі є превалюючою. За цим показником проводять оцінку зварюваності. Здатність металу зварюватися є дуже важливою характеристикою, що визначає принципову можливість утворення зварного з'єднання, проте вона неповністю визначає можливість отримання якісного та економічного зварного з'єднання.

Тобто з'єднання, що має властивості, що забезпечують його працездатність під час експлуатації за меншої вартості конструкції, ніж при виготовленні її іншим способом (лиття, кування) або з інших матеріалів. При зварюванні плавленням метал навколошовної зони та метал шва за структурою та властивостями суттєво відрізняються від основного металу.

Зміна структури та властивостей цих ділянок може викликати погіршення властивостей зварного з'єднання в цілому, навіть за хорошої фізичної зварюваності металу.

Сталь відноситься до класу середньовуглецевих сталей з вмістом вуглецю. Така сталь відноситься до сталей, що комежується зварюються, які схильні до утворення тріщин при зварюванні звичайними способами. При зварюванні цих сталей застосовують електроди та зварювальний дріт зі зниженим вмістом вуглецю, від 0,08 до 0,1%.

Перед зварюванням роблять обробку кромки і зварюють метал, застосовуючи мінімальний зварювальний струм для того, щоб максимально зменшити частку основного металу в металі шва. При цьому способі вміст вуглецю в самому шві виходить менше ніж в основному металі, що у свою чергу перешкоджає появі тріщин кристалізаційних.

Для зварювання застосовують попередній та супутній підігрів до температури 250 – 300 градусів. Підігрів до більш високих температур для даної сталі шкідливий так як з-за більш високого нагріву відбувається глибший провар кромки основного металу при цьому відбувається підвищення вуглецю в металі зварного шва, що в свою чергу може призвести до утворення тріщин у шві.

Щоб уникнути виникнення крихких гартових структур в пришовних зонах рекомендується використовувати сповільнене охолодження виробу після зварювання. Після остигання, вироби часто доводиться піддавати загартування з відпусткою і нормалізацією сталі.

Сталь 09Г2с відноситься до низьколегованих сталей, загальна кількість легуючих добавок, в яких не перевищує 2,5%. Основне призначення цієї сталі - використання її для зварних конструкцій.

Широке поширення та популярність сталі 09Г2с пояснюється тим, що завдяки ній можна суттєво економити при виконанні будівельних операцій.

Марку такої сталі використовують для зварних з'єднань труб. Проводиться зварювання без підігріву.

Так як вуглецю в сталі мало, то зварювання її досить просте, причому сталь не гартується і не перегрівається в процесі зварювання, завдяки чому не відбувається зниження пластичних властивостей або збільшення її зернистості.

До переваг застосування цієї сталі можна віднести також, що вона не схильна до відпускнуї крихкості і її в'язкість не знижується після відпуски.

Наведеними вище властивостями пояснюється зручність використання 09Г2С від інших сталей з великим вмістом вуглецю або присадок, які гірше варяться і змінюють властивості після термообробки.

Для зварювання 09Г2С можна застосовувати будь-які електроди, призначені для низьколегованих та маловуглецевих сталей.

Сталь 09Г2 після обробки двофазну структуру має підвищену межу витривалості; одночасно приблизно 3...3,5 разу збільшується число циклів до руйнації області малоциклової втоми.

Хімічний склад та механічні даної сталі представлені в табл. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості сталі 09Г2С

Марка сталі	Твердість, НВ	Тимчасовий опір σв, МПа	Межа плинності σт, МПа	Віднос. Подовження δ ₅ , %
09Г2С	126	430-490	325	21

Таблиця 3.2 – Хімічний склад сталі 09Г2С

Марка сталі	С, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	P, %	S, %	N, %	As, %
09Г2С	≤0.12	0.50-0.80	1.30-1.70	0.30	0.30	0.30	0.035	0.040	0.012	0.08

Великий попит та популярність на сталь 09Г2с обумовлена високими механічними властивостями при виготовленні металевих елементів будівельних конструкцій.

Споруди з цієї сталі здатні працювати в умовах від -70 до 450 ° С, що дуже важливо при прокладанні магістральних нафтогазопроводів у регіонах з холодним кліматом.

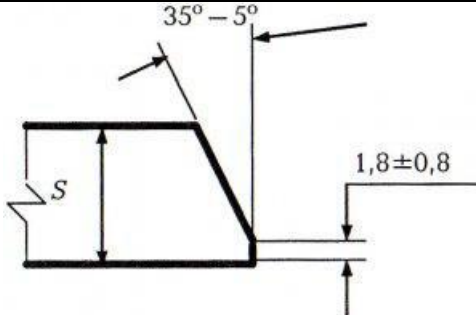
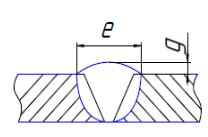
Марка сталі 09Г2с має:

- можливістю використання її на холоді;
- великою міцністю, завдяки якій вона широко поширена;
- не високою вартістю.

3.2 Розрахунок режимів зварювання

Сукупність найважливіших характеристик зварювального процесу, які забезпечують отримання зварних швів потрібних розмірів та форми називають режимом зварювання.

Таблиця 3.3 – Конструктивні елементи зварної сполуки

Умовне позначення зварного з'єднання	Підготовлених мм крайок зварюваних деталей	Зварного шва	b, мм	c, мм	e, мм	g, мм
C18			1	1,8	24	2

Перед початком процесу зварювання стикових з'єднань з обробкою крайок необхідно визначити кількість проходів, для цього розраховують загальну площу поперечного перерізу наплавленого металу.

Площа наплавлення зазвичай знаходять як суму площ елементарних геометричних фігур

$$F_H = h^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + b \cdot S + 0.75 \cdot q \cdot e. \quad (3.1)$$

Визначимо площу наплавлення

$$F_H = 12,2^2 \cdot \operatorname{tg} 35 + 1 \cdot 14 + 0.75 \cdot 2 \cdot 24 = 154 \text{ мм}^2.$$

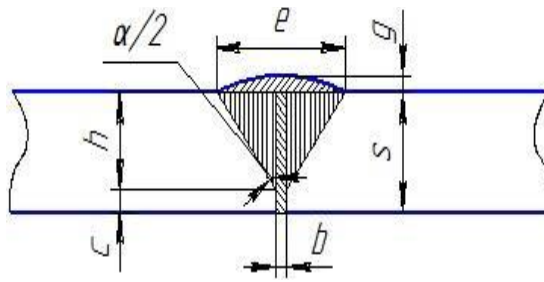


Рисунок.3.2 – Геометричні елементи площі перерізу стикового шва

При зварюванні серед 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 і облицювальних проходів 40 – 70 мм²;

- для вертикального становища зварювання площа першого проходу 20 – 40 мм², другого 40 – 60 мм², наступних 40 – 70 мм².

Зварювання стику виробляємо в чотири проходи. Для першого площа становитиме 22 мм², для наступних та облицювального – 44 мм².

Залежно від типу з'єднання послідовність розрахунку режиму зварювання різна. Дане з'єднання з обробкою кромки відповідає типу С17.

Силу зварювального струму $I_{зв}$ розрахуємо за такою формулою

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot j, \quad (3.2)$$

де d – діаметр електродного дроту: для кореневого шва – 1 мм.

Значення щільності струму j приймається залежно від діаметра дроту, при цьому $j = 90 \dots 400$ А/мм² для наступних та облицювального – 1,2 мм:

- для кореневого шва

$$I_{зв} = \frac{3,15 \cdot 1^2}{4} \cdot 300 = 235 \text{ А.}$$

- для наступних проходів

$$I_{зв} = \frac{3,15 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 250 = 285 \text{ А.}$$

Визначаємо оптимальну напругу дуги:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d}} \cdot I_{36} \pm 1; \quad (3.3)$$

- для кореневого шва

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1}} \cdot 235 \pm 1 = 32 \pm 1 \text{ В};$$

- для наступних проходів

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

Визначимо коефіцієнт форми провару

$$\psi_{np} = K' \cdot (19 - 0,001 \cdot I_{36}) \cdot \frac{d \cdot U_d}{I_{36}}, \quad (3.4)$$

де K' – коефіцієнт струму зворотної полярності 0,92;

- для кореневого шва

$$\psi_{np} = 0,92 \cdot (19 - 0,001 \cdot 235) \cdot \frac{1 \cdot 32}{235} = 2,08;$$

- для наступних проходів

$$\psi_{np} = 0,92 \cdot (19 - 0,001 \cdot 285) \cdot \frac{1,2 \cdot 33}{285} = 2,06.$$

Для автоматизованого зварювання значення ψ_{np} повинні становити 0,8...4,0, у разі, значення коефіцієнта перебуває у цьому інтервалі, отже, режими підібрані правильно.

Визначимо швидкість зварювання за формулою

$$V_{36} = \frac{\alpha_H \cdot I_{36}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_H}, \quad (3.5)$$

де α_H – коефіцієнт наплавлення;

γ – щільність електродного металу, г/см³.

Для визначення коефіцієнта наплавлення н скористаємося формулою:

$$\alpha_H = \alpha_P \cdot (1 - \psi_B), \quad (3.6)$$

де ψ_B – коефіцієнт втрат, що визначається за формулою

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

Підставимо відомі значення щільності струму j у формулу, отримаємо:

- для кореневого шва

$$\psi_B = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 300 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 300^2 = 7,8\%;$$

- для наступних проходів

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

Коефіцієнт розплавлення

$$\alpha_P = A + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{I_{3\phi}} \cdot \frac{l_e}{d^2}. \quad (3.7)$$

Величину вильоту електрода l_e приймаємо 15 мм:

- для кореневого шва

$$\alpha_P = 21,6 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{235} \cdot \frac{15}{1^2} = 22,3 \text{ г/А год.};$$

- для наступних проходів

$$\alpha_P = 21,7 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{285} \cdot \frac{15}{1,2^2} = 22,4 \text{ г/А год.}$$

Тоді коефіцієнт наплавлення:

- для кореневого шва

$$\alpha_H = 22,3 \cdot (1 - 0,078) = 20,5 \text{ г/А год.};$$

- для наступних проходів

$$\alpha_H = 22,5 \cdot (1 - 0,113) = 20,0 \text{ г/А год.}$$

Швидкість зварювання:

- для корневого шва

$$V_{36} = \frac{20,5 \cdot 235}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,22} = 28,07 \text{ м/год.};$$

- для наступних проходів:

$$V_{36} = \frac{20,5 \cdot 285}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,44} = 16,57 \text{ м/год.}$$

Визначаємо швидкість подачі електродного дроту за формулою:

$$V_{ed} = \frac{\alpha_P \cdot I_{36}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_{el}}, \quad (3.8)$$

де F_{el} – площа поперечного перерізу електрода, см²;

- для першого проходу

$$V_{ed} = \frac{22,3 \cdot 235}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,8 \cdot 10^{-2}} = 840 \text{ м/год.};$$

- для наступних проходів

$$V_{ed} = \frac{22,3 \cdot 28535}{3600 \cdot 7,8 \cdot 1,13 \cdot 10^{-2}} = 728 \text{ м/год.}$$

Погонна енергія

$$q_{II} = \frac{\eta_H \cdot I_{36} \cdot U_d}{V_{36}}, \quad (3.9)$$

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

Приймаємо $\eta_H = 0,7$.

Тоді погонна енергія дорівнює:

- для першого проходу

$$q_{II} = \frac{0,7 \cdot 235 \cdot 32}{0,78} = 2694 \text{ Дж/см};$$

- для наступних проходів

$$q_{II} = \frac{0,7 \cdot 285 \cdot 33}{0,46} = 16326 \text{ Дж/см.}$$

Виліт електрода визначається за формулою

$$l_e = 10 \cdot d_e = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ мм.}$$

Витрата вуглекислого газу визначається або за емпіричною формулою, або за табличними даними $Q_g = 16 \text{ л/хв.}$

Таблиця 3.4 – Результати розрахунків режимів зварювання

Параметр	Для кореневого шва
Зварювальний струм	235 А
Оптимальна напруга дуги	33 В
Коефіцієнт форми провару	2,08
Коефіцієнт втрат	7,8%
Коефіцієнт розплавлення	22,3 г/Ач
Коефіцієнт наплавлення,	20,6 г/Ач
Швидкість зварювання	0,78 см/с = 28,08 м/год
Швидкість подачі електродного дроту	23,3 см/с = 838,8 м/год
Погонна енергія	7696 Дж/см

Основним технологічним процесом під час будівництва магістральних трубопроводів є зварювання. Транспорт нафти здійснюється магістральними трубопроводами, які експлуатуються під високим тиском до 100 атмосфер.

Тому до труб з яких споруджують нафту та газопроводи, а особливо до їх з'єднань висуваються високі вимоги. З'єднання має бути герметичним, рівномірним з металом труб, щоб труби з'єднувалися швидко та економічно.

Зварювання в середовищі вуглекислого газу дозволяє отримувати якісне зварне з'єднання для дотримання всіх вищезгаданих вимог.

Останніми роками широко впроваджуються у промисловість різні методи електродугового зварювання в захисних газах: аргоні, гелії, вуглекислому газі.

Застосування таких способів у багатьох випадках дозволяє з'єднувати метали, зварювання яких іншими способами утруднене, і створює можливості для автоматизації зварювальних робіт, для яких застосування автоматичного та напівавтоматичного зварювання під шаром флюсу неможливе.

Зварювання в захисних газах може виконуватися в трьох варіантах: незалежною дугою двома електродами, що не плавляться, залежною дугою електродом, що не плавиться і електродом, що плавиться.

Зварювання незалежною дугою малопродуктивне і застосовується при з'єднанні металу малої товщини.

Однак при зварюванні серед інертних газів широко поширених марок маловуглецевих сталей виникла пористість швів.

Суть способу зварювання в середовищі вуглекислих газів полягає в тому, що зварювальна дуга та розплавлений метал захищаються від негативного впливу повітря струменем вуглекислого газу, який подається до зони зварювання.

Під дією високих температур вуглекислий газ розкладається на окис вуглецю та атомарний кисень.

Окис вуглецю не розчинний у рідкому металі і захищає зварювальну ванну від насичення атмосферними газами, які запобігають утворенню пористості шва.

Атомарний кисень при цьому взаємодіє з елементами, що містяться в зварювальному дроті, і утворює на поверхні зварювальної ванни флюсову плівку з їх окислів.

Флюсова плівка захищає зварювальну ванну якщо порушиться потік газу, від поривів вітру чи різких рухів зварювального пальника у процесі виконання зварних робіт.

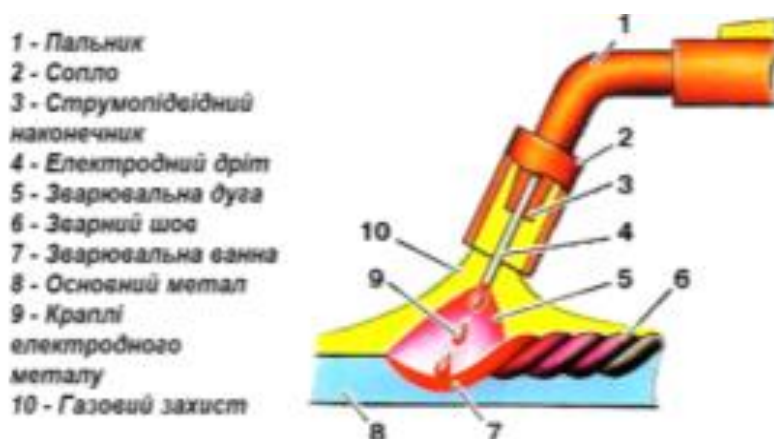


Рисунок 3.3 – Процес зварювання серед вуглекислого газу

На якість зварних з'єднань істотно впливає, особливо при напівавтоматичному зварюванні, надає техніка зварювання.

Від відстані, кута нахилу та характеру руху пальника щодо деталей, що зварюються, залежать:

- надійність газового захисту зони зварювання від повітря;
- швидкість охолодження металу;
- форма шва;
- умови видалення газових бульбашок і неметалевих включень зі зварювальної ванни.

Процес зварювання у вуглекислому газі необхідно вести на короткій дузі. При зварюванні на струмах 200-250 а довжина дуги повинна бути в межах 1,5-4,0 мм, так як збільшення довжини дуги підвищує розбризкування рідкого металу і чад легуючих елементів.

Зварювання серед вуглекислого газу порівняно з іншими методами зварювання забезпечує високу продуктивність, вважається економічно вигідною завдяки низькій вартості вуглекислого газу.

Це сприяє швидкому її впровадженню при виготовленні зварних конструкцій з маловуглецевих, низьколегованих та високолегованих сталей у широкий промисловості.

Автоматичне зварювання зараз займає дедалі більший сегмент ринку зварювання.

Причина цього зрозуміла – збільшення продуктивності та повторюваності операцій, а відтак і суттєва компенсація нестачі кваліфікованих зварювальників. Однак, після ухвалення рішення про автоматизацію наявних зварювальних операцій, виробник повинен вибрати найбільш підходяще застосування для його завдань: гнучку або фіксовану автоматизацію зварювання.

Гнучка автоматизація зазвичай застосовується як зварювальні роботи, запрограмовані на зварювання декількох типів виробів. З різними зварювальними швами у різних просторових положеннях.

Фіксована автоматизація зазвичай застосовується, коли потрібно виконувати кілька певних рухів по зварювальному шву, який має високу повторюваність геометричних форм.

Таких форм, як коло, дуга чи пряма лінія зварювального шва. Хоча дана система теж може бути дуже гнучкою та адаптованою до надзвичайно широкого спектру різних застосувань, зазвичай вона фіксується виконання цих основних геометричних функцій.

Найбільш популярна автоматизація зварювання, це компактні зварювальні осередки, де оператор завантажує деталі та спостерігає за роботою одного або кількох автономних роботизованих зварювальних осередків.

Деякі комірки можуть бути пов'язані між собою як частини більшої автоматичної лінії, але ці комірки, як правило, працюють самі по собі та експлуатуються як незалежна система.

Вони спрямовані те що, що оператор може завантажити деталі під зварювання в спеціальне пристосування, без допомоги будь-яких пристроїв. Зварювальні осередки зазвичай потрібні під обсяги виробництва від 60 до 400 деталей на годину.

У зв'язку з гнучкістю програмування зварювального робота, вирішується, що найважливіше піддати автоматизації.

Робот просто поміщається на це місце, тому що він може бути запрограмований для зварювання всього, що завгодно.

Зрештою, завдяки наявності кількох осей, роботи можуть дублювати рухи людини, що тримає зварювальний пальник зі значно більшою точністю і повторюваністю.

При виборі між роботом та фіксованою системою автоматизації розглядається зварювальний шов та конструкція зборки під зварювання.

Якщо є численні контури, що вимагають зміни положення пальника та зварювальних параметрів, робот є єдиним способом автоматизації.

Однак, якщо складання має заглушки або зварюється арматура, то фіксована автоматизація може бути найкращим рішенням.

Незалежно від того, гнучка або фіксована система автоматизації, обидві вони вимагають точного оснащення для з'єднання деталей разом для досягнення добрих результатів зварювання. Робототехніка має перевагу у загальній гнучкості під різні застосування.

Але для великих обсягів одних і тих же завдань, що повторюються, фіксована автоматизація досягає високого рівня продуктивності.

З меншими витратами та нижчими вимогами для навчання з точки зору налаштування.

Зварювання в захисних газах дозволяє

- отримувати якісні зварні сполуки;
- виконувати зварювання у різних просторових положеннях;
- візуально спостерігати за утворенням шва;
- працювати без витрати часу на засипання флюсу та видалення шлаку;
- високу продуктивність;
- забезпечує механізацію та автоматизацію процесу;
- забезпечує низьку вартість використання активних захисних газів. [2]

До недоліків способу зварювання в захисних газах порівняно, наприклад, зі зварюванням під флюсом є необхідність застосування захисних заходів проти світлової та теплової радіації дуги.

У процесі зварювання також спостерігається невелике розбризкування металу.

Даний спосіб зварювання застосовується, в основному, до поворотних стиків труб, оскільки результатом зварювання неповоротного стику стають порівняно низькі механічні властивості зварного шва.

У процесі наплавлення в середовищі вуглекислого газу спостерігається також ряд позитивних моментів: відсутність шлакової кірки, рівний і красивий шов, висока продуктивність праці, хороші умови для візуального спостереження, невелике короблення деталі через хороше охолодження її газом.

Важливими показниками, що характеризують параметри зварного шва, є глибина проплавлення основного металу H , величина посилення шва h_1 і ширина шва B (рис. 3.4).

Залежність глибини проплавлення від зварювального струму і діаметра дроту наведена на графіку (рис. 3.5).

Зі зростанням зварювального струму зростає проплавлення основного металу за рахунок

Підвищення тиску дуги на поверхню зварювальної ванни. роботах для зменшення глибини проплавлення необхідно застосовувати дріт більшого діаметра.

Досліди показують, що при зварюванні у вуглекислому газі глибина проплавлення вище, ніж при зварюванні під флюсом. На параметри шва також впливають напруга дуги та швидкість зварювання.

Довжина (напруга) дуги істотно впливає на глибину проплавлення, вона вибирається виходячи з мінімального розбризкування металу і необхідності отримати шов правильної форми.

На рис. 3.6 наведено залежності рекомендованих напруг зварювання, відповідних мінімальним втратам на розбризкування і оптимальній формі шва, від величини зварювального струму і діаметра електродного дроту.

Зі збільшенням зварювального струму (рис. 3.6) напруга дуги зростає, причому кожному діаметру дроту відповідає своє оптимальне значення напруги дуги.

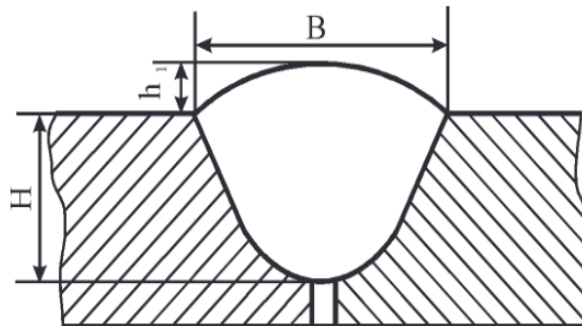


Рисунок 3.4 – Форма поперечного перерізу зварного шва стикового з'єднання

Графічні залежності впливу швидкості зварювання на глибину проплавлення не показуються, але збільшення швидкості зварювання в 3 рази (з 20 м/год до 60 м/год) дає зменшення глибини проплавлення приблизно в 1,5 рази.

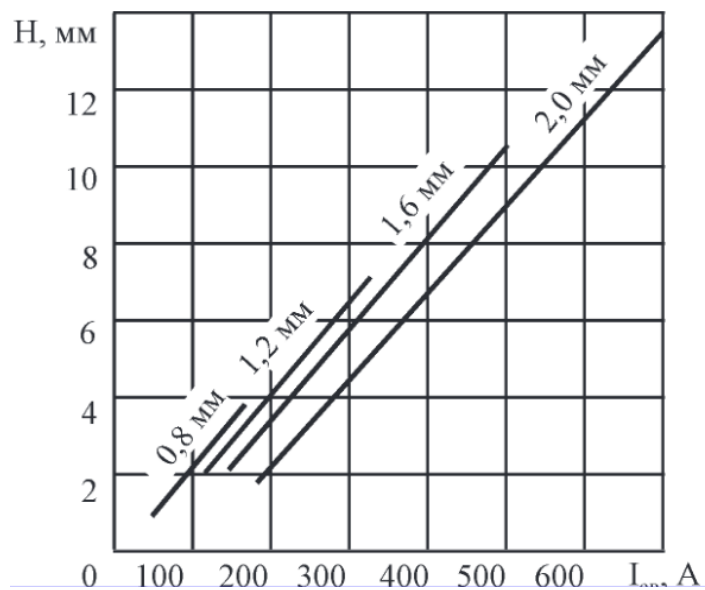


Рисунок 3.5 – Залежність глибини проплавлення від величини зварювального струму та діаметра електродного дроту при зварюванні у вуглекислому газі (струм зворотної полярності, $V_{зв} = 30$ м/год).

Ширина шва також залежить від сили струму в дузі, напруги зварювання, швидкості зварювання і діаметра електродного дроту.

Зі зростанням зварювального струму ширина зварного шва значно збільшується.

Так само впливає зміна напруги зварювальної дуги.

Зростання швидкості зварювання зменшує погонну енергію дуги, що призводить до зменшення ширини проплавлення.

Зменшення діаметра дроту знижує ширину шва.

Зварювання у вуглекислому газі зазвичай супроводжується підвищеним розбризкуванням, величина якого залежить від довжини дуги, діаметра електродного дроту, щільності струму та ін. параметрів.

Графік зміни втрат (Ψ) для дроту діаметром 2 мм наведено на рис. 3.6.

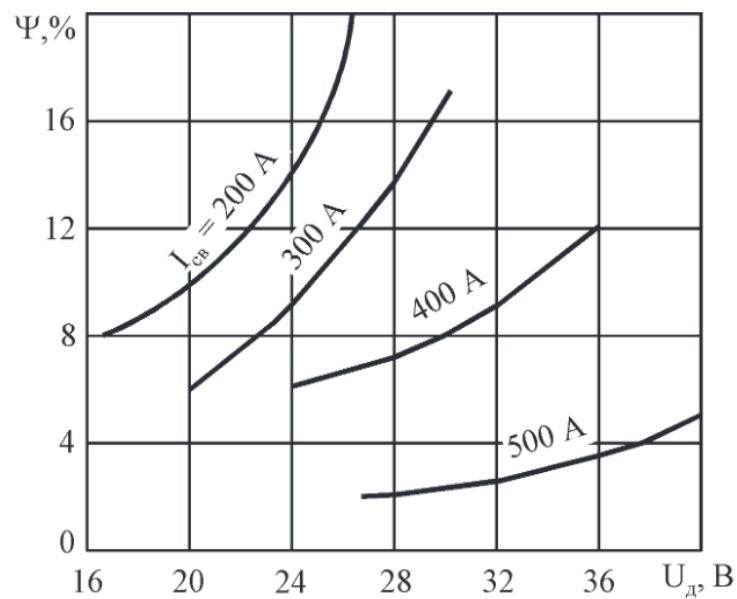


Рисунок 3.6 – Розбризкування електродного металу (коефіцієнт втрат Ψ , %) залежно від напруги дуги та зварювального струму (зварювання у вуглекислому газі дротом 2 мм, струм зворотної полярності)

Із зростанням напруги дуги розбризкування збільшується. Особливо помітно цей вплив при мінімальній щільності струму, що відповідає зварювальному струму 200...300 А.

Збільшення зварювального струму, перехід на дріт меншого діаметра збільшують щільність струму в дузі і сприяє переходу на дрібнокрапельне перенесення металу.

При цьому зростає тиск дуги на поверхню рідкої ванни та збільшується проплавлення металу. Утворюється глибока порожнина, в якій горить занурена дуга, краплі, що розбризкуються, утримуються всередині цієї порожнини.

Отже, для зменшення розбризкування необхідно застосовувати коротку дугу та зварювальний дріт малого діаметра при високій щільності струму.

Швидкість подачі електродного дроту є дуже важливою характеристикою, що впливає на продуктивність процесу Q_p зварювання.

Головними факторами впливу на зміну швидкості подачі дроту є зварювальний струм і діаметр електрода (рис. 3.7).

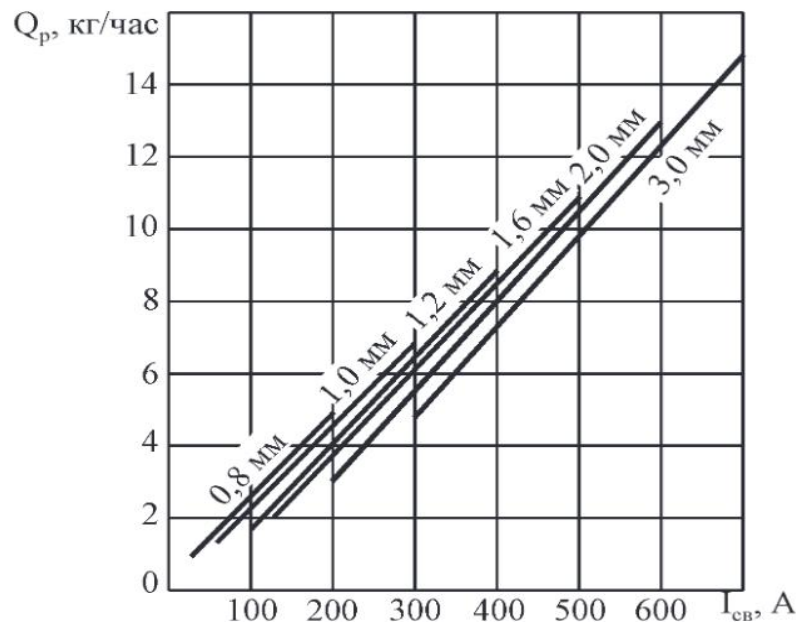


Рисунок 3.7 – Залежність маси розплавленого електродного дроту Q_p від зварювального струму та діаметра електрода при зварюванні у вуглекислому газі (струм зворотної полярності)

Вплив зварювального струму та діаметра електродного дроту на швидкість його подачі при зварюванні у вуглекислому газі (струм зворотної полярності). При збільшенні зварювального струму зростає швидкість подачі електродної дроту, причому тим інтенсивніше, чим менше її діаметр.

Дещо менший вплив на швидкість подачі, особливо при використанні дроту малого діаметра і високої щільності струму, робить виліт електрода.

Зі збільшенням вильоту електрода швидкість подачі дроту зростає, оскільки кількість тепла, що виділяється на електроді під дією зварювального струму пропорційно опору (довжині) вильоту, квадрату сили струму і часу проходження струму через сухий виліт електрода.

Вплив напруги дуги і швидкості зварювання на швидкість подачі незначні і ними можна знехтувати.

З рис. 3.8 видно, що доцільно використовувати малі діаметри електродного дроту та струм підвищеної щільності 250...450 А/мм².

Збільшення діаметра електродного дроту (за рівних умов) супроводжується суттєвим зменшенням коефіцієнта наплавлення, деяким збільшенням ширини шва та зменшенням глибини проплавлення основного металу.

Більший діаметр дроту ($D_{\text{пров}}$, мм) потребує збільшення зварювального струму (рис. 3.8).

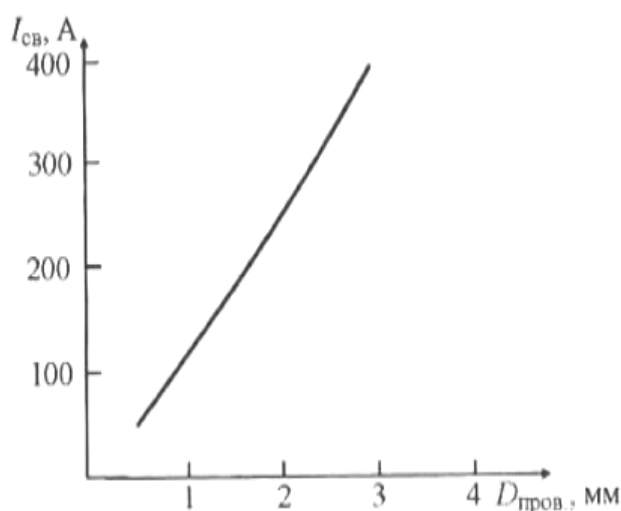


Рисунок 3.8 - Залежність необхідного зварювального струму від діаметра дроту при зварюванні у вуглекислому газі

Зварювальний струм дуже впливає на процес зварювання. Підвищення сили струму викликає збільшення глибини проплавлення. При цьому кількість наплавленого металу зростає повільніше проплавлення.

Отже, і частка електродного металу в металі шва суттєво зменшується, що значно збільшує можливість появи гарячих тріщин у металі швів, виконаних на сталях підвищеним вмістом вуглецю.

Ширина шва із підвищенням сили струму спочатку збільшується, а потім дещо зменшується. Оптимальні режими зварювання відповідають максимальній ширині шва.

Струм регулюють швидкістю подачі зварювального дроту.

Зі зростанням напруги на дузі глибина проплавлення зменшується, а ширина шва та розбризкування металу збільшуються. Погіршується газовий захист, утворюються пори.

Напруга на дузі встановлюють залежно від обраного зварювального струму і регулюють положенням вольтамперної характеристики, змінюючи напругу холостого ходу джерела живлення.

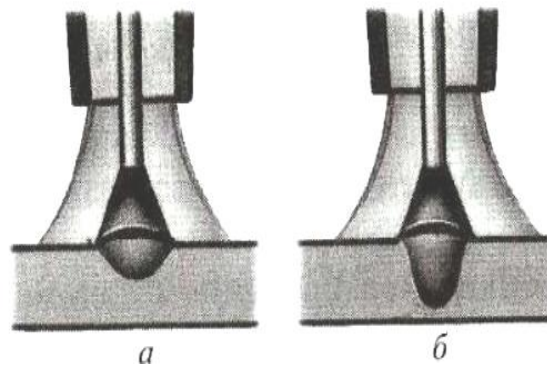


Рисунок 3.9 – Вплив зварювального струму 100 А (а) та 200 А (б) на глибину проплавлення

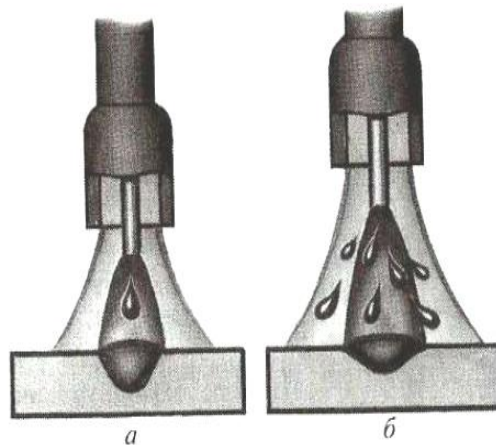


Рисунок 3.10 – Вплив напруги на дузі 16 В (а) і 40 В (б) на процес зварювання

Швидкість подачі електродного дроту пов'язана зі зварювальним струмом. Електродний дріт встановлюють так, щоб процес зварювання відбувався стабільно, без коротких замикань та обривів дуги.

Швидкість зварювання налагоджують залежно від товщини зварюваного металу з урахуванням якісного формування шва.

Метал великої товщини зварюють вузькими швами із високою швидкістю.

Повільне зварювання сприяє розростанню зварювальної ванни та підвищує ймовірність утворення пор у металі шва. При надмірній швидкості зварювання можуть окислитися кінець дроту та метал шва.

Якість зварних швів залежить від чистоти CO_2 , його витрати та характеру витікання із сопла інструменту. Захисний газ повинен витікати із сопла під невеликим тиском (0,01-0,03 МПа), що забезпечує ламінарний (спокійний) характер закінчення.

Така важлива вимога виконується, якщо витрата газу становить $\sim 8-12$ л/хв при діаметрі електродного дроту 0,8-1,2мм. Турбулентний характер закінчення газового потоку погіршує якість захисту зварювальної зони внаслідок можливого підсмоктування повітря в цю зону.

Виліт електрода – це відстань від точки струмопідведення до торця зварювального дроту.

Зі збільшенням вильоту погіршуються стійкість горіння дуги та формування шва, інтенсивніше розбризкується метал. Малий виліт ускладнює процес зварювання, викликає підгоряння газового сопла і струмопідвідного наконечника.

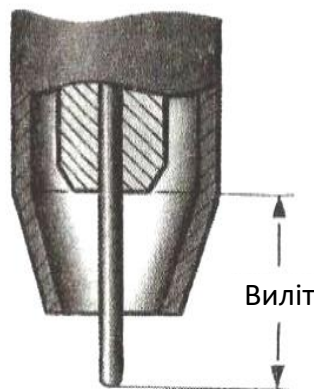


Рисунок 3.11 – Схема зварювального пальника

Метал товщиною від 0,8 до 4 мм рекомендується зварювати без обробки кромek у складально-зварювальних пристроях на знімних мідних або нержавіючих підкладках, або підкладках, що залишаються.

Таблиця 3.4 – Залежність вильоту електрода від його діаметра

Діаметр дроту, мм 1-1,4	0,5-0,8	1-1.4	1,6-2
Виліт електрода, мм 8-15	7-10	8-15	15-25
Витрата газу, л/хв	5-8	8-16	15-20

При зварюванні у вуглекислому газі для попередження появи дефектів у вигляді невеликих несплавлень не рекомендується переміщати кінець електрода «змійкою».

Підвищена схильність до локальних несплавлень при напівавтоматичному зварюванні у вуглекислому газі порівняно з ручним зварюванням і зварюванням в аргоні пояснюється меншими при зварюванні у вуглекислому газі розмірами стовпа дуги та електродних плям, що може призводити до натікання рідкого металу на твердий метал без попередньої обробки останньої зварювальної дуги.

4 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

4.1 Вибір зварювального автомата

Дані технології зварювання неповоротних стиків труб.

Сьогоднішній день мають найкраще поєднання таких показників, як: якість готових зварних з'єднань, продуктивність процесу зварювання, а також економічна ефективність застосування в проектах.

Крім цього безперечною перевагою застосування технології зварювання технології автоматичного зварювання дротом суцільного січіня в захисних газах при будівництві магістральних газопроводів є повна автоматизація зварювального процесу, яка у поєднанні з удосконаленою геометрією кромки, що зварюються, забезпечує високу продуктивність для широкого діапазону типорозмірів труб, що зварюються в поєднанні з високими механічними властивостями зварювальних з'єднань [1].

Здійснення даного способу зварювання в щільну обробку мінімізує кількість наплавленого металу, що крім економії зварювальних матеріалів, скорочує час виробництва зварювальних матеріалів.

Автоматизація кореневого шару шва була досягнута за допомогою переходу зі способу механізованого зварювання електродом, що плавиться у середовищі активних газів у стандартну заводську обробку кромки труб на спосіб автоматичного зварювання дротом суцільного перерізу в захисному газі у спеціальну звужену обробку крайки труб, зібраних зі «сліпим» зазором, яка здійснюється методом STT в автоматичному режимі.

Таким чином, була створена повноавтоматизована комбінована технологія зварювання кореневого шару шва в автоматичному режимі дротом суцільного перерізу у вуглекислому газі та зварювання заповнювальних та облицювальних шарів шва порошковим дротом у захисних газах.

Застосування нової технології зводить до мінімуму вплив людського фактора на процес зварювання, а також полегшує навчання зварників

(операторів) порівняно з базовою технологією, що в кінцевому підсумку збільшує механічні властивості зварних з'єднань і забезпечує стабільність їх отримання.

Автомат для зварювання електродом, що плавиться, в середовищі захисного газу CRC-Evans M300C призначений для зварювання всіх шарів шва неповоротних кільцевих стикових з'єднань труб.

Система зварювання M-300-C з багатопроцесорним керуванням призначена для багатопрохідного стикового зварювання товстих труб та пластин у будь-яких просторових положеннях у середовищі захисного газу дротом суцільного перерізу (GMAW), в середовищі захисного газу порошковим дротом (FCAW) або для імпульсного, синергетичного зварювання в середовищі захисного газу дротом суцільного перерізу (PGMAW).

Система M-300-C проста в експлуатації, оскільки елементи керування для всіх головних зварювальних характеристик (завиключенням напруги дуги) знаходяться на блоці управління, встановленому безпосередньо на зварювальній каретці.

Тим не менш, для експлуатації апарату M-300-C потрібен навчений персонал, що має досвід роботи зі зварювальних процесів GMAW, FCAW або PGMAW. Для встановлення зварювальної головки на трубу використовуються напрямні пояси (бандажі) на конкретний діаметр.

Існують напрямні пояси різних конструкцій, що дозволяють встановлювати головку на трубу без ізоляції та з різними типами ізоляційного покриття. Особливостями автомата є:

- можливість зварювання дротом суцільного перерізу (опція) та порошковим дротом у середовищі захисних газів (STT GMAW, FCAW) дроти діаметром від 0,8 мм (.03) до 2,0 мм (.079);
- виведення режимів зварювання у реальному часі на цифровий дисплей;
- можливість копіювання режимів зварювання між автоматами;
- газовий клапан із можливістю підключення 2-х видів захисного газу;
- міцна та надійна конструкція.

Зварювальними головками М300-С (М300) виконується:

- одностороннє зварювання дводу зварювальними головками на спуск зовні труби кореневого шару шва дротом суцільного перерізу в захисних газах методом STT;
- одностороннє зварювання дводу зварювальними головками на спуск або на підйом зовні труби гарячого проходу шва порошковим дротом у захисних газах;
- одностороннє однодугове зварювання двома зварювальними головками на підйом зовні труби заповнювальних та облицювальних шарів шва порошковим дротом у захисних газах.



Рисунок 4.1 – Автомат для зварювання в середовищі вуглекислого газу

На рис.4.3 позначено:

- K1, K2 – ділянки кореневого шару на лівому та правому півпериметрах труби;
- Г1, Г2 – ділянки гарячого проходу на лівому та правому напівпериметрах труби;

Зп1, Зп2 – ділянки заповнених шарів на лівому і правому напівпериметрах труби;

- Обл.1, Обл.2 – ділянки облицювальних шарів на лівому та правому напівпериметрах труби.

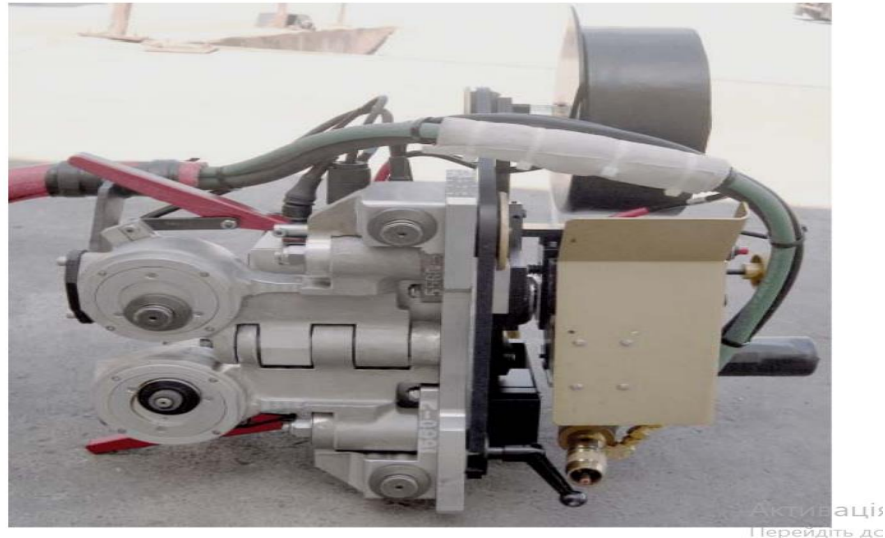


Рисунок 4.2 – Схема зварювання, що рекомендується, головками М300-С (М300) неповоротна

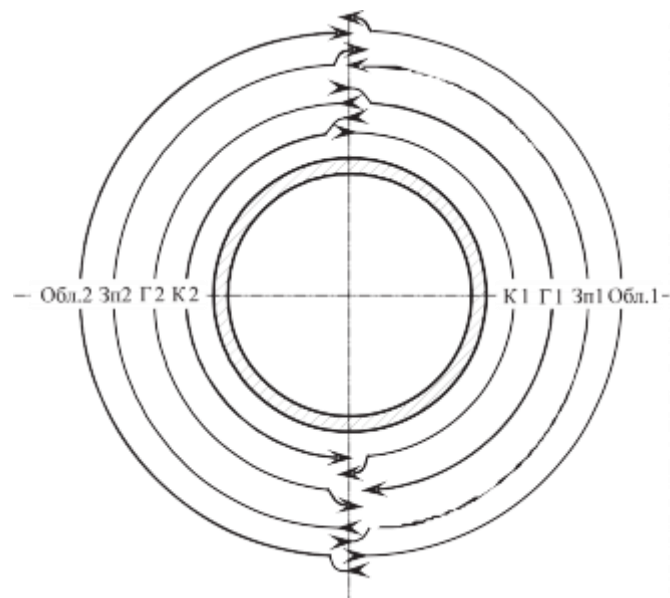


Рисунок 4.3 – Вузол каретки отних кільцевих стикових з'єднань труб

Перед виконанням зварювання кореневого шару шва методом STT необхідно встановити:

а) на електронних блоках управління зварювальними головками М300-С (М300):

- швидкість та напрямок зварювання;
- швидкість подачі електродного дроту;
- амплітуду та частоту коливань електродного дроту;
- час затримки електрода у крайніх положеннях;
- час попередньої та післязварювальної подачі газу;

б) на спеціальних інверторних джерелах зварювального струму (Invertec STT II):

- значення пікового струму;
- значення базового струму;
- тривалість заднього фронту;

в) на газових балонах – спеціальні газові редуктори, призначені для зварювання методом STT та попередньо налаштовані на необхідну витрату газу на заводі-виробнику.

Зварювання кореневого шару шва повинне виконуватися постійним струмом зворотної полярності. Напрямок зварювання – на спуск.

Кожною зварювальною головкою виконується зварювання одного з напівпериметрів труби (щодо вертикальної осі), при цьому зварювання другою зварювальною головкою рекомендується починати після зварювання першою головкою ділянки периметра зварного з'єднання, довжина якого достатня для одночасної роботи головок зварювання.

Початкова і кінцева ділянка кореневого шару шва, виконаного першою зварювальною головкою, слід обробити механічним способом шліфувальною машиною для забезпечення плавного переходу при зварюванні кореневого шару шва другою зварювальною головкою.

Після виконання кореневого шару шва його необхідно зачистити механічним способом шліфувальними машинами з набором абразивних кіл і дискових дротяних щіток.

За наявності видимих дефектів кореневого шару шва типу пір, непроварів та ін. необхідно виконати підварювання дефектних ділянок ручним дуговим зварюванням електродами з основним видом покриття.

Операції з підварювання зсередини кореневого шару шва слід розглядати як складову частину технологічного процесу та передбачати при складанні операційно-технологічних карток збирання та зварювання.

Ділянки кореневого шару шва з посиленням, що перевищує регламентовані значення, слід обробити механічним способом шліфувальною машиною.

Ці операції слід передбачати при складанні операційно-технологічних карт складання та зварювання та розглядати як складову частину технологічного процесу зварювання головками М300-С (М300).

Перед виконанням зварювання гарячого проходу, заповнювальних та облицювальних шарів шва необхідно встановити:

а) на електронних блоках управління зварювальними головками М300-С (М300):

- швидкість та напрямок зварювання;
- швидкість подачі електродного дроту;
- амплітуду та частоту коливань електродного дроту;
- час затримки електродного дроту крайніх положеннях;
- час попередньої та післязварювальної подачі газу;

б) на джерелах зварювального струму задані режими зварювання;

в) на газових балонах газовий редуктор, що відрегульований на задану витрату суміші газів.

Інтервал часу між закінченням зварювання кореневого шару методом STT і початком зварювання гарячого проходу (першого шару, що заповнює) повинен становити не більше 10 хв.

Зварювання гарячого проходу, заповнювальних та облицювальних шарів шва зварювальними головками М300-С (М300) повинно виконуватися постійним струмом зворотної полярності.

Напрямок зварювання:

- гарячого проходу – на спуск чи підйом;
- заповнювальних та облицювального шару – на підйом.

Кожною зварювальною головкою виконується зварювання одного з напівпериметрів труби (щодо вертикальної осі), при цьому зварювання другою зварювальною головкою рекомендується починати після зварювання першої головкою ділянки периметра зварного з'єднання, довжина якого достатня для одночасної роботи головок зварювання.

Після завершення зварювання шарів шва, що заповнюють, виконується облицювальний шар шва.

Амплітуда коливань мундштука зварювального пальника при зварюванні облицювального шва повинна забезпечувати необхідну величину перекриття кромek труб, що зварюються.

Після завершення зварювання слід оглянути поверхню облицювального шару шва. Виявлені зовнішні дефекти зварного шва (кратери, пори, подрізи та ін.) слід видалити механічним способом шліфувальною машиною і до проведення неруйнівного контролю зварного з'єднання відкоригувати автоматичним зварюванням на ділянках шліфування.

Ділянки облицювального шару шва з посиленням, що перевищує регламентовані значення (замки), слід обробити механічним способом шліфувальною машиною.

Зазначені операції вважаються складовою технологічного процесу зварювання головками М300-С (М300) і повинні бути передбачені в операційно-технологічних картах складання та зварювання, а також при виробничій атестації технології зварювання.

Як зварювальні джерела для автомата можуть використовуватися випрямлячі Lincoln Electric IdealArc DC-400, інвертори Lincoln Electric Invertec V350 Pro та Invertec STT II.

Lincoln Electric Idealarc DC-400 – потужний промисловий трифазний випрямляч для ручного дугового зварювання штучними електродами, зварювання суцільним дротом у середовищі захисних газів, зварювання газозахисним та самозахисним порошковим дротом, аргонодугового зварювання на постійному струмі повітряно-дуговий строжки.



Рисунок 4.3 – Lincoln Electric Idealarc DC-400

Зварювальне джерело живлення Idealarc DC-400 є трифазним трансформатором-випрямлячем з тирристорним управлінням, що забезпечується одним потенціометром плавного регулювання вихідною потужністю у всьому її діапазоні.

Застосування: напівавтоматичне та автоматичне зварювання під шаром флюсу, електродугове зварювання покритим електродом, електродугове стружка.

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

Обладнаний аналоговим вольтметром та амперметром. Функція контроль дуги - змінює динаміку коливань струму в зварювальному ланцюзі та керує пінч-ефектом, впливаючи на рівень іскроутворення, перенесення металу та форму шва. Зовнішні кола змінної напруги 42, 115, 220В.

Схема стабілізації напруги при коливаннях напруги мережі в межах 10%. Роз'єм ПДК.

Регулювання: напруга дуги, перемикач режиму роботи для вибору характеристик, форсаж дуги, регулятор пінч ефекту.

Модель DC-400 призначена для використання з усіма видами зварювання відкритою дугою, включаючи зварювання порошковим дротом Innershield, зварювання суцільним дротом у захисному газі на всіх рекомендованих для нього режимах у діапазоні потужності, що видається машиною.

Також DC-400 може використовуватися для зварювання ручними покритими електродами, аргоно-дугового зварювання вольфрамовим електродом і для повітряної стружки з використанням вугільних електродів діаметром до 5/16" (8 мм).

Селектор процесів має три положення, що відповідають трьом групам зварювальних процесів:

1) CV FCAW, GMAW (Жорстка вольт-амперна характеристика, Зварювання порошковим дротом та Зварювання суцільним дротом у захисному газі);

2) CV Submerged Arc (Жорстка характеристика, Зварювання під флюсом);

3) CC Stick, TIG (Падаюча вольт-амперна характеристика, Зварювання штучними електродами та Аргоно-дугове зварювання вольфрамовим електродом) Процес зварювання штучними покритими електродами аналогічний роботі від спеціалізованого джерела для ручного дугового зварювання Idealarc R3R-500.

Конструкція джерела DC-400 передбачає його використання:

- із механізмами подачі дроту напівавтоматичного зварювання LN-7, LN-7GMA, LN-8, LN-9, LN-9GMA, LN-23P, LN-25 і LN-742;

- із системами подачі дроту для автоматичного зварювання NA-3, NA-5 та NA-5R;

- із зварювальними тракторами для автоматичного зварювання LT-56 і LT-7 у межах вихідної потужності машини (400 А при ПВ100%).

Додатковий блок діодів, що встановлюється в DC-400, необхідний для повноцінного використання можливостей систем автоматичного зварювання NA-3, NA-5 і NA-5R, а саме для включення в зварювальний цикл функції холодного старту (Cold Start, Cold Electrode Sensing).

Ця особливість автоматичних зварювальних головок дозволяє подавати зварювальний потенціал на дріт тільки в момент її торкання деталі, що зварюється, виключаючи ненавмисні замикання її на корпус зварювального обладнання.

Особливостями джерела є:

- Великі зручно розташовані перемикачі для швидкого вибору зварювальних процесів: MMA/TIG/CAC-A – падаюча ВАХ, MIG/MAG/FCAW – жорстка ВАХ, SAW – жорстка ВАХ.
- Система контролю форсування дуги – Arc Force Control встановлює струм короткого замикання для м'якої дуги або жорсткої дуги при падаючій вольтамперній характеристиці (MMA/TIG).
- Управління дугою – Arc Control дозволяє контролювати пінч-ефект для регулювання рівня та скроутворення, плинності металу та форми шва при зварюванні в середовищі захисних газів та порошковим дротом.
- $\pm 10\%$ компенсації вхідної (мережевої) напруги для забезпечення стабільності вихідних зварювальних характеристик.

Високотехнологічні властивості зварювальної дуги забезпечуються конструкцією DC-400, скомпонованою з трансформатора, трифазного напівкерованого випрямляча, конденсаторного блоку, соленоїда контролю дуги та напівпровідникової системи керування.

Функція форсування дуги (Arc Force) дозволяє використовувати DC-400 для ручного дугового зварювання покритими електродами аналогічно спеціалізованому джерелу для зварювання штучними електродами Idealarc R3R-500.

4.2 Зварювання неповоротного стику при горизонтальному розташуванні труби

Зварювання цих швів є найскладнішим за виконанням і потребує особливих навичок та високої майстерності зварювальника.

При постійному поступальному русі електрода необхідно постійно змінювати кут нахилу електрода стосовно поверхні по периметру труби (рис. 4.5а, б).

Периметр стику умовно ділиться вертикальною осьюовою лінією на дві ділянки.

За положенням зварного шва у просторі кожную ділянку можна розбити на три положення:

- I – верхнє (позиції електрода з 1 по 3);
- II – вертикальне (позиції електрода з 3 по 8);
- III – нижнє (позиції електрода з 8 по 11).

При зварюванні труб діаметром понад 150 мм та товщиною стінки понад 6 мм рекомендується величину зварювального струму підбирати для кожного положення.

Сила зварювального струму при зварюванні у верхньому положенні повинна бути на 10 % вищою, ніж у вертикальному.

Зварювання починається зі стельового положення та закінчується в нижньому.

При оптимальному підборі зварювального струму для кожного положення рекомендується зварювання проводити безперервно і лише короткою дугою.

Зварювання будь-якої ділянки починається з іншої ділянки за 10-20 мм від вертикальної осьюової. Довжина замка (20-40 мм) залежить від діаметра труби. Чим більший діаметр, тим більше перехльостає в замку, і навпаки.

На початку зварювання зі стельового положення зварювання роблять кутом назад (рис. 49, а, 1–2), після переходу за осьюове – кутом вперед (3–7). При переході за горизонтальну осьюову електрод вирівнюють до перпендикулярного положення (8).

Зварювання нижнього положення (верхня частина труби) виконують кутом назад (9-11). Закінчувати першу половинку шва треба в 10-15 мм за вертикальною осьюовою на іншій ділянці.

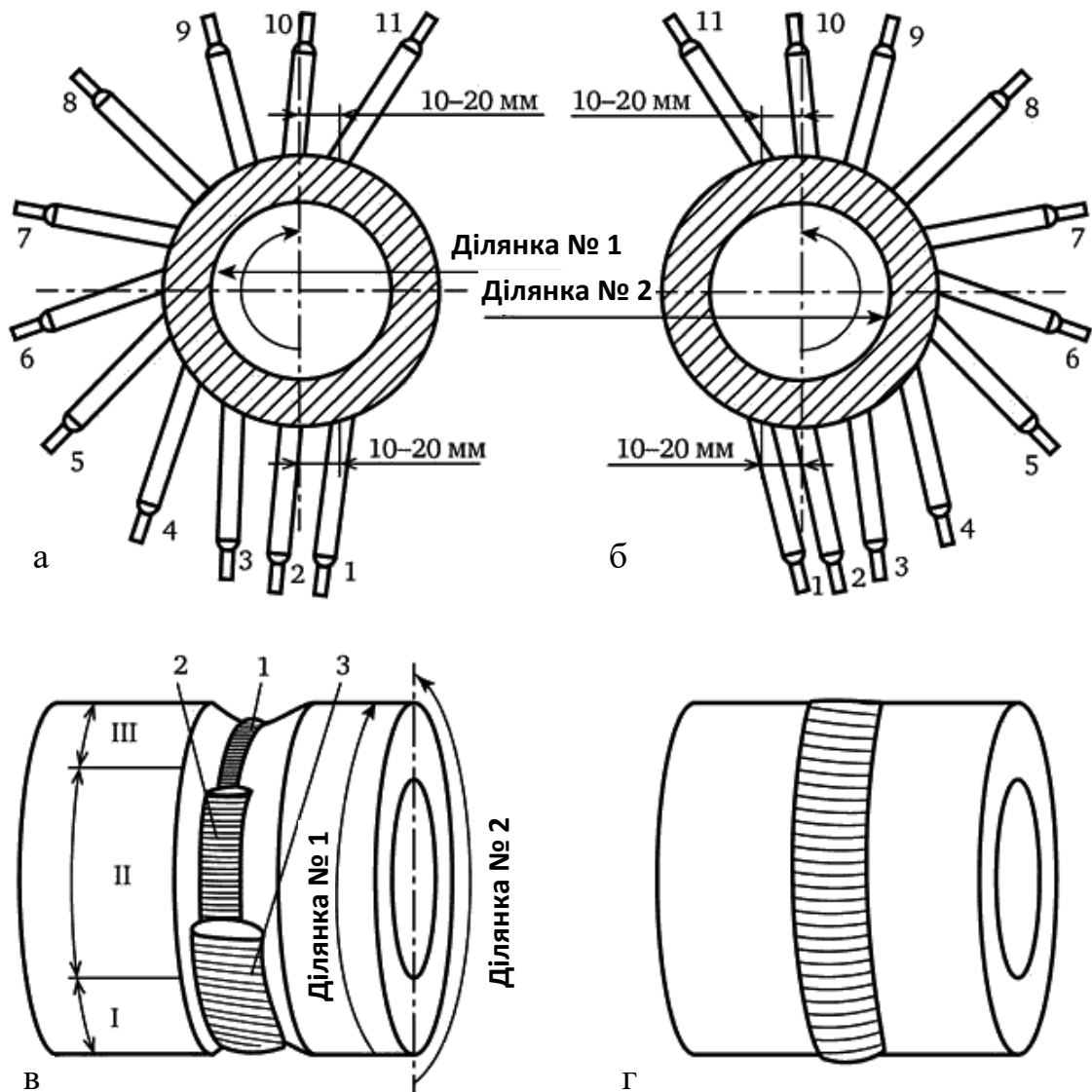


Рисунок 4.5 – Зварювання неповоротного стику при горизонтальному розташуванні труби: а – робота на першій ділянці; б – робота на другому ділянці; в – зварювання кореневого валика; г – зварювання лицьового шару

Перед зварюванням другої половини другої ділянки (рис. 4.5б) слід зачистити початок зварювання в стельовому положенні і закінчення в нижньому положенні до плавного переходу до зазору або попереднього валика. Зварювання другої ділянки виконати так само, як і першої.

Зварювання кореневого валика (рис. 4.5в) виконується електродом діаметром рівним 3 мм.

Розмір зварювального струму в стельовому положенні, залежно від товщини стінки, становить 80-95 А.

Виконати кореневий валик можна двома варіантами.

1. При зварюванні труб малого діаметра, коли неможливе підварювання зворотного боку кореня шва, слід досягти якісного формування зворотного валика.

Досягти проплавлення, особливо в стелю, можна шляхом постійної подачі електрода в зазор.

Домагаючись проплаву всередину труби, можна отримати шов з опуклою поверхнею («горбатий» шов), що вимагатиме подальшої механічної його зачистки в стельовому положенні.

При зварюванні вертикальної зони зварювальний струм рекомендується зменшити до 75-90 А.

Тут валик виконують малого перерізу, уникаючи надмірного проплавлення всередину труби.

При зварюванні верхньої частини труби (нижнє положення) збільшення зварювального струму до 85-100 А роблять у кожному конкретному випадку, не допускаючи пропалення або непровару.

Після заварювання другої половини труби другий валик виконується електродом $\varnothing$ 3 мм, але на підвищеному зварювальному струмі.

2. При зварюванні труб великого діаметру, де доступне підварювання зворотного кореня шва, з метою продуктивності можна не звертати такої пильної уваги на формування зворотного валика.

Рекомендується кореневий валик сформувати нормальним у всіх положеннях та з більш повним перетином.

Це дозволить уникнути зачистки по зовнішньому шву та застосувати при зварюванні другого валика електрод $\varnothing$ 4 міліметри.

При заповненні обробки необхідно застосовувати всі методи та техніку зварювання, описані в попередніх розділах.

Зварювання труб діаметром менше 150 мм рекомендується виконувати електродом $\varnothing$ 3 міліметри.

Заповнення обробки труб з товщиною стінки більше 8 мм відбувається нерівномірно. Зазвичай відстає нижнє становище.

Для вирівнювання заповнення обробки необхідно прокласти в кожному конкретному випадку додаткові шари у верхній частині труби.

Передостанній шар виконати так, щоб глибина незаповненої обробки була не більше 2 міліметрів.

Зварювання лицьового шару (рис. 4.5 г), залежно від ширини оброблення, виконується за один або кілька проходів.

Особливу увагу слід привернути до себе поступальний рух електрода, затримку на кромках і крок маніпулювання.

5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Надзвичайні ситуації, які пов'язанні з пожежами

Кодекс Цивільного захисту України формулює поняття пожежі та пожежної безпеки наступним чином: «Пожежа – неконтрольований процес знищування або пошкодження вогнем майна, під час якого виникають чинники, небезпечні для істот та навколишнього природного середовища.

Пожежна безпека – відсутність неприпустимого ризику виникнення і розвитку пожеж та пов'язаної з ними можливості завдання шкоди живим істотам, матеріальним цінностям і довкіллю».

Пожежі можна поділити на природні та антропогенні.

До природних належать пожежі, що виникають унаслідок прямих ударів блискавки (розрядів атмосферної електрики), виверження вулканів, самозаймання торфу, вугілля тощо.

Кількість таких пожеж незначна – менше 1%.

Антропогенні пожежі прямо або непрямо пов'язані з людським чинником, тобто з пожежо-небезпечною діяльністю людини або невтручанням людини для запобігання пожежонебезпечним ситуаціям.

Такі пожежі виникають у 99 випадках із 100.

Зазначений стандарт передбачає поділ пожеж на такі класи:

- А – що супроводжуються горінням твердих матеріалів, зазвичай органічного походження, під час горіння яких, як правило, утворюються тліючі вуглини;
- В – що супроводжуються горінням рідин або твердих речовин, які переходять у рідкий стан;
- С – що супроводжуються горінням газів;
- D – що супроводжуються горінням металів;
- F – що супроводжуються горінням речовин, які використовують для

приготування їжі (рослинних і тваринних олій та жирів) і містяться в кухонних приладах.

Небезпечний чинник пожежі - прояв пожежі, що призводить чи може призвести до опіку, отруєння леткими продуктами згоряння або піролізу, травмування чи загибелі людей та (або) до заподіяння матеріальних, соціальних, екологічних збитків.

Розрізняють такі небезпечні та шкідливі чинники:

- токсичні продукти горіння;
- вогонь;
- підвищена температура середовища;
- дим;
- недостатність кисню.

Вогонь – надзвичайно небезпечний чинник пожежі, однак випадки його безпосередньої дії на людей зустрічаються досить рідко.

Під час пожежі температура полум'я може досягати 1200-1400 °C і у людей, що знаходяться у зоні пожежі випромінювання полум'я може викликати опіки та больові відчуття.

Небезпека підвищеної температури середовища полягає в тому, що вдихання розігрітого повітря разом із продуктами горіння може призвести до ураження органів дихання та смерті.

В умовах пожежі підвищення температури середовища до 60 °C вже є життєнебезпечною для людини.

Дим – видима аерозольна складова легких продуктів згоряння (сукупності газоподібних речовин, а також аерозолів, які утворюються у вогнищі й виходять за його межі).

Він викликає інтенсивне подразнення органів дихання та слизових оболонок (сильний кашель, слезотечу тощо).

Крім того, у задимлених приміщеннях унаслідок погіршення видимості сповільнюється евакуація людей, а часом провести її зовсім неможливо.

Так, при значній задимленості приміщення видимість предметів, що

освітлюються лампочкою потужністю 20 Вт, складає не більше 2,5 м.

Недостатність кисню спричинена тим, що в процесі горіння відбувається хімічна реакція окиснення горючих речовин та матеріалів. Небезпечною для життя людини уже вважають ситуацію, коли вміст кисню в повітрі знижується до 14% (норма 21 %). При цьому втрачається координація рухів, з'являється кволість, запаморочення, гальмування свідомості. При концентрації кисню 9-11% смерть настає через кілька хвилин.

Крім згаданих вище мають місце вторинні прояви небезпечних чинників пожежі, що впливають на людей і матеріальні цінності:

- осколки, частини апаратів, що руйнуються, агрегатів, установок, конструкцій;
- радіоактивні і токсичні речовини і матеріали, що вийшли зі зруйнованих апаратів і установок;
- електричний струм, що виник у результаті винесення високої напруги на струмопровідні частини конструкцій, апаратів, агрегатів;
- небезпечні чинники вибуху що відбувся внаслідок пожежі;
- вогнегасячі речовини;
- паніка.

Небезпечні чинники вибуху збільшують площу горіння і можуть призводити до утворення нових вогнищ пожеж.

Паніка, в основному, спричинюється швидкими змінами психічного стану людини, як правило, депресивного характеру в умовах екстремальної ситуації (пожежі). Більшість людей потрапляють у складні та неординарні умови, якими характеризується пожежа, вперше і не мають відповідної психічної стійкості та достатньої підготовки щодо цього.

Коли дія чинників пожежі перевищує межу психофізіологічних можливостей людини, то її може охопити панічний стан. При цьому вона втрачає розсудливість, її дії стають неконтрольованими та неадекватними в ситуації, що виникла.

Розрізняють такі види процесу горіння: вибух, детонація, спалах,

займання, спалахування, тління, самозаймання та самоспалахування.

Вибух — це швидке перетворення речовини в газо- чи пилоподібний стан з виділенням великої кількості тепла. У цьому випадку об'єм речовини збільшується в сотні, тисячі разів.

Характерною ознакою вибуху є миттєве зростання температури і тиску газу на місці, де він стався. Однією з найбільш розповсюджених причин вибуху в навчальних закладах є неправильне користування газовими приладами.

Під час роботи газових приладів в приміщеннях, де вони встановлені, накопичуються продукти згорання газів, тому ці приміщення необхідно часто провітрювати.

Детонація – це горіння, яке поширюється зі швидкістю кілька тисяч метрів за секунду. Необхідною умовою для виникнення детонації є наявність потужної ударної хвилі.

Спалах — Короткочасне полуменеве горіння, яке не супроводжується виникненням ударної хвилі

Займання – Виникнення полуменевого горіння

Спалахування – займання, що супроводжується появою полум'я.

Тління — Горіння зі світловим випромінюванням без утворення полум'я

Самозаймання – Займання внаслідок самонагрівання .

Самоспалахування – самозаймання, що супроводжується появою полум'я.

5.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при зварюванні виробу

Зварювання, яке є одним із ключових процесів у багатьох галузях промисловості, вимагає не лише навичок і точності, а й свідомого використання заходів безпеки. Зварювальники піддаються багатьом загрозам, які можуть мати серйозні наслідки для здоров'я та життя.

Ми зосередимося на виявленні цих ризиків і на тому, як мінімізувати їх, щоб зробити роботу безпечною та ефективною.

Хоча сучасні технологічні рішення та якісне обладнання істотно мінімізують ризик багатьох загроз, важливо пам'ятати, що ці ризики все ж існують і потребують постійної уваги.

Усі зварювальні роботи несуть в собі невід'ємні ризики, які можуть призвести до серйозних наслідків для здоров'я чи навіть життя, якщо їх ігнорувати або виконувати неправильно.

Ось найпоширеніші з них.

Опіки – одна з найпоширеніших травм у зварювальників. Вони можуть виникати різними способами, але найчастіше є результатом прямого контакту з гарячими матеріалами, такими як метал, нагрітий до високих температур під час зварювання.

Крім того, опіки можуть бути результатом теплового випромінювання, яке є природним результатом генерування високої енергії під час дугового зварювання.

Тепло може бути настільки інтенсивним, що навіть матеріали, що знаходяться поблизу, можуть стати настільки гарячими, що викликають опіки при випадковому контакті.

Зварювання пов'язане з ризиком впливу на здоров'я різних шкідливих хімічних речовин, які виділяються під час зварювання окремих металів і сплавів. Такі гази, як озон і оксиди азоту, є типовими продуктами зварювання, особливо в закритих приміщеннях, де немає належної вентиляції. Пари важких металів, таких як свинець, кадмій і хром, можуть призвести до хронічних респіраторних захворювань та інших серйозних проблем зі здоров'ям.

Тривалий вплив цих речовин без належного захисту може призвести до серйозного отруєння та тривалих проблем зі здоров'ям.

У процесі зварювання утворюються іскри та викидаються гарячі краплі металу, які можуть впасти на легкозаймисті матеріали, створюючи ризик пожежі чи навіть вибуху.

Крім того, використовувані гази, такі як ацетилен і кисень, збільшують ризик пожежі та вибуху, якщо вони не зберігаються та не використовуються

безпечно.

Забезпечення належного зберігання легкозаймистих речовин, регулярна перевірка та підтримання порядку на робочому місці є ключовими для мінімізації цих ризиків.

Зварювання не тільки генерує інтенсивне тепло, але також породжує ультрафіолетове випромінювання, яке може серйозно пошкодити шкіру та очі.

Тривале опромінення без належного захисту може призвести до опіків шкіри, погіршення зору та навіть розвитку очних захворювань, таких як катаракта.

Крім того, через використання електрики також існує ризик ураження електричним струмом, що особливо небезпечно у вологих місцях, де електричний струм може легко проходити.

Щоб уникнути подібних нещасних випадків, зварювальники повинні завжди дотримуватися суворих правил техніки безпеки.

Робота зварювальника пов'язана з ризиками, які можна значно зменшити за умови належного догляду та підготовки.

Забезпечення безпеки при зварювальних роботах вимагає не тільки використання відповідних інструментів і технологій, а й суворого дотримання правил охорони праці, правильної організації робочого місця та використання відповідних засобів індивідуального захисту.

Суворе дотримання правил охорони праці має вирішальне значення для запобігання нещасним випадкам.

Регулярне навчання та курси підвищення кваліфікації з гігієни та безпеки праці необхідні для того, щоб кожен зварювальник був у курсі останніх стандартів безпеки та знав, як поводитися з потенційними небезпеками.

Зварювальники повинні знати і розуміти всі правила роботи в їх конкретних умовах, що включає як правила експлуатації обладнання, так і дії в разі поломки або аварії.

Організація робочого місця має фундаментальне значення для забезпечення безпеки праці. Це включає утримання робочої зони в чистоті та

порядку, щоб мінімізувати ризик пожежі та видалення непотрібних матеріалів, які можуть перешкоджати вільному пересуванню або становити додатковий ризик.

Зварювальники також повинні забезпечити належне маркування небезпечних зон і забезпечити доступ до протипожежного обладнання та аптечок. Важливо, щоб робоче місце добре провітрювалося, що є критично необхідним при зварювальних роботах у закритих приміщеннях.

Правильний вибір захисних аксесуарів під час зварювання, таких як зварювальні маски, рукавички (краги), фартухи, захисні окуляри та робоче взуття, має важливе значення.

Зварювальні маски повинні бути обладнані фільтрами, що захищають очі від інтенсивного світла та ультрафіолетового випромінювання.

Не менш важливо, щоб зварювальники використовували рукавички, стійкі до високих температур та іскор, які захищають руки від опіків та інших механічних пошкоджень.

Основну відповідальність за безпеку несе сам зварювальник. Це включає дотримання всіх заходів безпеки, виконання інструкцій з експлуатації обладнання та збереження пильності під час роботи.

Зварювальники повинні завжди знати про потенційну небезпеку та бути готовими діяти, коли виникають несподівані проблеми.

Попередження інших працівників про зварювальні роботи, утримання зосередженої уваги та регулярна перевірка справності обладнання є додатковими кроками, які сприяють загальній безпеці.

Турбота про безпеку під час зварювальних робіт має бути пріоритетом як для роботодавців, так і для самих зварювальників.

Усвідомлення ризиків, пов'язаних з цією професією, має вирішальне значення для забезпечення здоров'я та безпеки на робочому місці. Роботодавці зобов'язані забезпечити відповідні засоби індивідуального захисту, провести інструктаж з техніки безпеки та підтримувати обладнання в належному технічному стані. У свою чергу зварювальники повинні дотримуватися

встановлених процедур і стандартів для підтримки безпечного та ефективного робочого середовища.

Ці заходи не тільки мінімізують ризик нещасних випадків, але й сприяють комфорту роботи, що важливо для досягнення оптимальних результатів у процесі зварювання.

ВИСНОВКИ

1. У ході виконання роботи було проведено аналіз основних сил, що діють на зварювальну ванну в процесі зварювання серед вуглекислого газу для неповоротного стику магістрального трубопроводу.

2. У ході досліджень було встановлено, що для утримання зварювальної ванни в процесі зварювання необхідно змінювати кут нахилу електрода та тривалість імпульсів

3. Експериментально доведено, що зварювальна ванна при імпульсному живленні зварювальної дуги здійснює коливання з частотою проходження імпульсів, перебуваючи в динамічній рівновазі в будь-яких просторових положеннях.

4. Економічна оцінка показала, що застосування нового методу зварювання в середовищі вуглекислого газу з імпульсним живленням ефективніше за існуючий спосіб зварювання в середовищі CO₂

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Довбуш М.А., Ракочий В.М. Процес зварювання неплавким електродом двотавра та труби малого діаметра: тези доп. XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 12-13 грудня 2024 р. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. С. 123 – 124.
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 Elektric 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. Охорона 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