

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 резервуару з
дослідженням характеристик зварних швів**

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

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Казновецький С.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Барановський В.М.

(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

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 Казновецький Сергій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології зварювання резервуару з дослідженням характеристик зварних швів

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

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2023 року № 4/7-1096

2. Термін подання студентом завершеної роботи . 20.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: існуючі технологічні процеси зварювання резервуарів, методики аналізу характеристик зварних швів

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

1. Аналітична частина. 2. Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська частина. 4. Проєктна 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

[illegible]

7. Дата видачі завдання *16 листопада 2024 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Казновецкий С.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Барановський В.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Казновецький С.О. Удосконалення технології зварювання резервуару з дослідженням з дослідженням характеристик зварних швів.

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 резервуару під шаром флюсу та дослідженням характеристик зварних швів.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи магістра є технологічний процес виготовлення резервуару та аналіз характеристик зварних швів.

Предметом дослідження є взаємозв'язок впливу параметрів процесу електродугового зварювання під шаром флюсу на показники якості зварювання резервуару.

В результаті дослідження було розроблено технологію автоматичного зварювання резервуару під шаром флюсу з підігрівом електрода, запропоновано схему розрахунку теплових процесів при зварюванні під флюсом, розглянуто методику розрахунку продуктивності розплавлення електродів залежно від співвідношення полярності дуги з різнополярними імпульсами. На основі цього розроблена система автоматизованого проектування параметрів процесу зварювання для одностороннього та двостороннього зварювання стикових з'єднань.

Обсяг роботи складає 88 сторінок, 17 таблиць, 35 рисунків, 11 додатків, 25 бібліографічних посилань.

Ключові слова: зварювання, технологія, резервуар, автоматичне зварювання, флюс, електрод, підігрів, тепловий процес, продуктивність.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Особливості механізованого імпульсного зварювання	10
1.2 Аналіз джерел живлення для багатодугового зварювання	15
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	19
2.1 Джерело живлення для автоматичного зварювання під шаром флюсу	19
2.2 Розрахунок температури при зварюванні з урахуванням полярності дуги	28
3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	32
3.1 Аналіз способів зварювання, які використовували під час виробництва резервуара	32
3.2 Розрахунок еквівалентних ефективних потужностей залежно від полярності дуги	46
3.3 Метод розрахунку провару при зварюванні під флюсом за допомогою емпіричних формул	50
4. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	53
4.1 Автоматичне зварювання щитка	53
4.2 Метод проведення досліджень неруйнівного контролю зварних з'єднань	62
5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ	69
5.1 Безпеки в надзвичайних ситуаціях	69
5.1.1 Фактори, які впливають на кількість надзвичайних ситуацій природнього та техногенного характеру	69
5.2 Охорона праці	71
5.2.1 Фактори ризику для зварювальників	71
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	76
ДОДАТКИ	79

ВСТУП

Актуальність роботи. Зварювання під флюсом є дуже поширеним способом механізованого дугового зварювання електродом, що плавиться. Цей спосіб доцільно застосовувати в серійному та масовому виробництвах для виконання кільцевих, прямолінійних, стикових та кутових швів довжиною 0,8 м і більше на металі товщиною 5-100 мм. Однак не всі можливості цього зварювання реалізовані. Останнім часом стали використовуватися джерела живлення дуги під флюсом із різнополярними імпульсами струму

Зварювання під флюсом виконується в основному дугою зворотної полярності та дугою змінного струму промислової частоти. Зварювання на прямій полярності використовується рідко при великих струмах дуги. Причиною цього є блукання дуги поверхнею зварювального електрода, нестабільність плавлення електрода.

Тим часом, продуктивність розплавлення електрода на прямій полярності значно вища, ніж на зворотній. Тому в багатьох випадках, коли потрібна висока продуктивність розплавлення електрода, доцільно використовувати дугу прямої полярності. До таких випадків можна віднести, наприклад, зварювання досить великих товщин з обробкою кромки, що зварюються.

При зварюванні листів без оброблення кромки, навпаки, потрібно глибше проварити основний метал і меншу продуктивність розплавлення електрода. Тому полярність дуги повинна змінюватись залежно від типу зварного з'єднання.

Найкраще це можна реалізувати шляхом використання джерел живлення з різнополярними імпульсами струму, в яких може регулюватися співвідношення між тривалістю протікання струму прямої та зворотної полярності. Такі установки вже досить давно використовувалися для зварювання алюмінієвих сплавів, оскільки необхідна присутність катодної плями на виробі. Останнім часом подібні установки стали застосовуватися і при зварюванні під флюсом.

Можливість появи таких установок обумовлена, мабуть, наявністю ефекту, коли за досить високої частоти зміни полярності знижуються негативні аспекти поведінки катодної плями на стрижневому електроді.

Використання установок з різнополярними імпульсами дозволяє підвищити можливості зварювання одночасно кількома дугами, оскільки створюються передумови зміщення часу дії струму окремих дуг.

При цьому зменшується магнітна взаємодія дуг, їх можна зблизити або підвищити зварювальні струми і тим самим підвищити продуктивність зварювання.

Мета роботи – підвищення показників якості виготовлення зварних виробів шляхом розробки технології автоматичного електродугового зварювання резервуару під шаром флюсу та дослідженням характеристик зварних швів.

В кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналізи існуючих способів зварювання та розробити удосконалену технологію імпульсного зварювання резервуара;
- дослідити основні характеристики зварних швів;
- провести розрахунки температур при зварюванні з урахуванням полярності дуги;
- розглянути питання безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення резервуару та аналіз характеристик зварних швів.

Предмет дослідження – взаємозв'язок впливу параметрів процесу електродугового зварювання під шаром флюсу на показники якості зварювання резервуару.

Отримані результати. Запропоновано удосконалену технологію виготовлення та технологічний процес електродугового автоматичного зварювання резервуару.

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

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. Робота викладена на 88 сторінках машинописного тексту, що включає 35 рисунків і 17 таблиць.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Особливості механізованого імпульсного зварювання

Для різнополярного імпульсного зварювання в сучасних джерелах живлення для аргонодугового зварювання застосовуються нові напівпровідникові прилади, електронні елементи управління. Це підвищує точність регулювання і стабілізації параметрів режиму зварювання. При цьому габарити джерел значно зменшуються, разом із зменшенням комплектуючих перетворювачів, завдяки якому підвищується стабільність горіння дуги.

Сучасні джерела живлення – зварювальні інвертори перетворюють постійний струм на змінний з можливістю задавати форму імпульсу струму, частоту, амплітуду та вихідну напругу.

Своє поширення інверторні джерела живлення набули з допомогою низки переваг проти традиційними джерелами живлення трансформаторного типу. Як правило, інвертори TIG-зварювання мають блок запалювання (вбудований осцилятор) та стабілізуючий високочастотний блок, який сприяє стабільному переходу через нуль.

Також існують джерела живлення MIG/MAG зварювання з РПП, які можна автоматизувати та застосовувати для автоматичного зварювання одним із таких джерел є DW 300 AC/DC (рис. 1.1).

Відмінною особливістю такого джерела живлення є можливість роботи, як на постійному так і змінному струмі з імпульсами, що змінюються, що буде універсальним і практичним рішенням для виробництва.

Можливе застосування імпульсного різнополярного зварювання для зварювання щитової покрівлі, конструкцію якої розглянемо пізніше.

Як зазначено в літературі, зварювання нержавіючих сталей рекомендується виконувати на короткій дузі, як крапельне перенесення [1 – 5]. Для виконання цієї умови встановлено такі режими зварювання. Подача дроту 4 м/год, напруга 22,5 В.



Рисунок 1.1 – Установка для зварювання DW–300

Зварювання проводиться на зварювальному устаткуванні КЕМРРІ.

Джерело живлення інверторного типу Kemppi FastMig M420 спільно з механізмом подачі дроту FastMig MXf65.

Джерело живлення здійснює автоматичне регулювання струму, а залежно від швидкості зварювання. Дане джерело живлення не має режиму імпульсного зварювання. Що, як з'ясувалося пізніше, надає значну роль при зварюванні нержавіючих сталей.

При режимах зварювання зазначених вище зварне з'єднання мало наступний вигляд (рисунок 1.2). Як видно на малюнку, шов має правильну форму, катет відповідає встановленим нормам, відсутні підрізи та несплавлення.

Мінусом такого зварювання є швидкість. При подальшому збільшенні швидкості подачі дроту та напруги, шва такої якості отримати не вдавалося. При швидкості подачі дроту понад 6 м/хв починалося струменеве перенесення, що не дозволяло отримати правильну форму шва, а також призводило до великого тепловкладання в метал і деформації.

При зварюванні струм досягав 250-270 А, що не дозволяло виконувати шви, довжиною понад 300 мм, оскільки був відзначений перегрів наконечника пальника.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд зварного з'єднання

Мідний наконечник, набував білого кольору через перегрівання, а після зупинки зварювання, дріт у ньому залипав. Перегрів, можна також пояснити більш високим опором нержавіючої сталі і нижчою теплопровідністю, порівняно з чорною сталлю. Одним із варіантів було перехід на інше обладнання та інші режими зварювання, а для вирішення цієї проблеми було використання зварювального апарату з підтримкою функції імпульсу та подвійного імпульсу.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд джерела живлення MEGMEET DEX PM3000S

Вибрано джерело живлення разом із джерелом живлення MEGMEET DEX PM3000S (рис. 1.3).

Принцип імпульсного зварювання полягає в наступному: зварювальна ванна формується шляхом перенесення розплавленого металу у зварювальну ванну крапельним шляхом, за принципом перенесення однієї краплі в одному імпульсі. Імпульсне MIG/MAG зварювання є варіантом звичайного процесу зварювання MIG/MAG, в якому струм пульсує з частотою. Деякі сучасні апарати дозволяють регулювати частоту імпульсу.

Оскільки швидкість подачі електродного дроту не дорівнює швидкості її плавлення, було введено додатковий імпульс для контролю перенесення металу при роботі на малих струмах шляхом накладання імпульсів високого короткого струму тривалості. Цикл (рис. 1.4) складається із застосування багаторазового імпульсного струму протягом постійного фоновому струму, що забезпечує утворення краплі на кінці електрода.

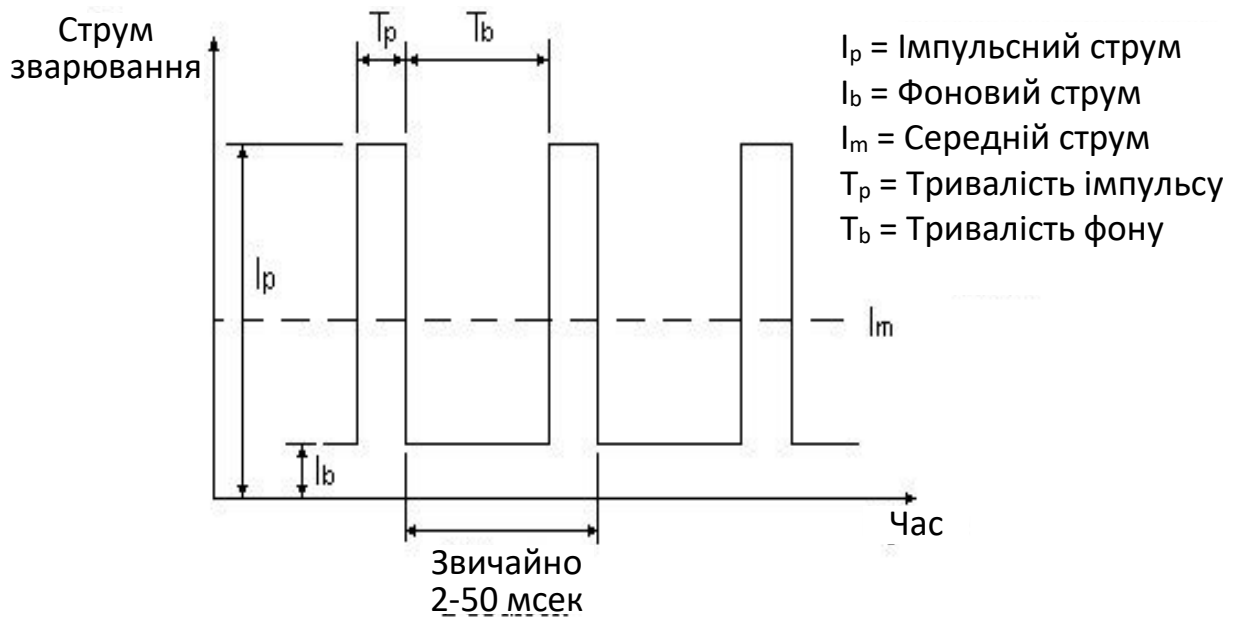


Рисунок 1.4 – Цикл імпульсного зварювання

Методом підбору струму імпульсу та дуги можна прискорити плавку дроту електрода, сприяти зміні форми та розмірів зварювального шва. Зрештою, можна зменшити нижню межу зварювального струму, яка відповідає за стабільність горіння дуги. Кероване перенесення металу допомагає покращити якість зварювання. Цей метод одна із найкращих і ефективних [6].

Під час здійснення імпульсного зварювання розбризкування зовсім відсутні, не утворюються несплавлення. У порівнянні зі зварюванням електродом, що не плавиться, імпульсне зварювання дозволяє в 3-8 разів підвищити продуктивність процесу і значно знизити зварювальні деформації при практично однаковій якості зварних з'єднань.

Імпульсне зварювання може застосовуватися для конструкцій відповідального призначення з різних марок сталей, алюмінієвих, мідних, нікелевих сплавів та титану завтовшки від 1 до 50 мм при виконанні швів у всіх просторових положеннях.

Завдяки високій просторовій стабілізації дуги та можливості застосування вильоту електрода великої довжини цей процес може бути успішно застосований для зварювання стикових з'єднань товстолистових матеріалів з вузькощільною підготовкою кромek.

Зварювальний апарат, що застосовується, дозволяє використовувати широкий діапазон амплітуд імпульсів різної тривалості і форми хвилі на частотах від декількох герц до декількох сотень герц. Амплітуда та тривалість імпульсу, об'єднані належним чином, створюють дугу, здатну розплавити та від'єднувати краплю електродного дроту діаметром, близьким до товщини цього дроту.

Така дуга в паузах між збудженнями імпульсу не істотно впливає на глибину розплавлення металу. За рахунок цього досягається стійке горіння дуги у просторі, покращується якість зварювання: відсутнє розбризкування розплавленого металу дроту, повністю усуваються кратери зі зварних точок при зменшенні необхідних ділянок перекриття у місці зварного шва.

Вибір доцільного відношення струмів дуг (імпульсної та чергової) здатний також значно прискорити процес зварювання, але цей процес є складною операцією. Висота і тривалість імпульсу залежить від складу дроту, його діаметра й у меншою мірою від складу захисного газу.

Також можна відзначити принцип подвійного імпульсу, він полягає в наступному.

Суттю MIG/MAG процесу з подвійними імпульсами є модулювання високочастотного несучого зварювального струму, що виробляється силовим інвертором, з низькочастотними імпульсами, які формуються вторинним інвертором.

При цьому суттєво змінюється форма імпульсу та співвідношення струм/пауза. За рахунок зміни форми імпульсу та кута нахилу фронту хвилі імпульсу з'являється можливість отримання керованого дрібнокапельного перенесення в режимі короткого замикання.

Режим короткого замикання характеризується плавним перетіканням краплі з кінця електродного дроту у зварювальну ванну [7, 8]. Розмір краплі практично відповідає діаметру електродного дроту, що дозволяє зменшити розмір ванни рідкого металу та покращити розтікання краплі у ванні.

Зменшення розміру ванни веде до правильного рівномірного формування зворотного валика, підвищуючи якість кореневого проходу та покращуючи умови зварювання тонкого металу. При роботі з тавровими швами подвійний імпульс струму дозволяє отримати шов з увігнутим катетом і уникнути появи можливих концентраторів напруги в зоні сплавлення.

Підсумок переходу на імпульсне зварювання дав позитивний результат. Необхідно враховувати те, що більшість зварювального дроту для зварювання нержавіючих сталей рекомендують використовувати режим MIG-PULS. Також в процесі зварювання виявлено, що використовувати пальник для подавального механізму довжиною 4 і 5 метрів не можна. Причиною цього є зварювальний дріт, який «м'якший», ніж дріт для нержавіючої сталі. При використанні таких пальників відбувається її зминання на роликах, що подають.

1.2 Аналіз джерел живлення для багатодугового зварювання

Дуговим зварюванням називається зварювання плавленням, при якому нагрівання зварюваних кромок здійснюється теплотою електричної дуги.

Дугове зварювання класифікується:

- 1) по виду електрода (плавиться і неплавиться);
- 2) за типом дуги (прямої, непрямої дії, трифазна, стисла)
- 3) за способом захисту зварювальної ванни (під флюсом, у захисних газах)
- 4) по виду електричного струму (постійний струм прямої та зворотної полярності, змінний струм промислової та підвищеної частоти).

Один із методів підвищення продуктивності це багатодугове зварювання. Багатодугове зварювання може вироблятися дугами, що створює одну зварювальну ванну, і дугами, що створюють різні ванни. У першому випадку зварювання називається трифазним, у другому дводуговий.

При дводуговому зварюванні дуги переміщаються послідовно вздовж шва. Відстань між дугами повинна вибиратися так, щоб друга дуга горіла між електродом і кристалізованим металів, але не остиглим від першої дуги там, де флюс знаходиться ще в розплавленому стані.

Головка повинна дозволити змінювати відстань між електродами та кут між ними. При необхідності зварювальні дуги можуть мати відмінну один від одного величину подачі струму і швидкості подачі дроту.

При багатодуговому зварюванні використовується трифазний змінний струм мережі (зварювання трифазною дугою), при цьому покращуються форми перерізу шва, термічно обробляється наплавлений метал, що призводить до покращення його структури, підвищується продуктивність праці тощо.

При багатодуговому зварюванні забезпечується отримання більш глибокого провару при невеликій потужності кожної дуги і досить високій швидкості зварювання

Багатодугове зварювання здійснюють за допомогою спеціальних багатодугових зварювальних автоматів. Застосування для багатодугового зварювання багатопозиційних установок дозволяє зменшити обсяг допоміжних робіт та підвищити продуктивність праці [9, 10].

Автоматичне багатодугове зварювання під флюсом застосовується для виготовлення резервуарів, труб великого діаметру, виробів з листової та профільної сталі.

У цьому випадку механізми, що забезпечують подачу електродного дроту, повинні мати незалежні системи регулювання. При незначній різниці в силах струму та швидкостях подачі може бути загальне регулювання швидкості, а додаткова зміна швидкості може здійснюватися змінними роликками. Однак основна зміна швидкості повинна проводитись змінними шестернями або варіаторами. Вся установка повинна мати керування, зосереджене на одному пульта [11].

До недоліків багатодугового зварювання можна віднести сильну магнітну взаємодію дуг. При перебігу струму в одному напрямку зварювальні дуги відштовхуються. Навпаки, при протилежному перебігу струму дуги притягуються. Чергуючи напрямок струму в дугах можна забезпечувати їхнє кероване переміщення.

Багатодугове зварювання є набагато гнучкішим технологічним процесом, оскільки з'являються кілька додаткових параметрів процесу. Можна використовувати електроди різного діаметра та з різним легуванням. Навіть використання стандартних дротів дозволяє отримати великий спектр легування зварного шва. Коли електроди підключені до різних джерел живлення, а зварювальні головки пов'язані у загальний блок, таке зварювання називається багатодуговим. Для такого зварювання застосовують електроди великого діаметра (3-5 мм). Даний метод, що використовується для зварювання товстого листового металу, основним завданням є заповнення перерізу обробки.

Недоліком цього методу вважатимуться дуже великі розміри зварювальної ванни та відповідно, повільне затвердіння шлакової кірки.

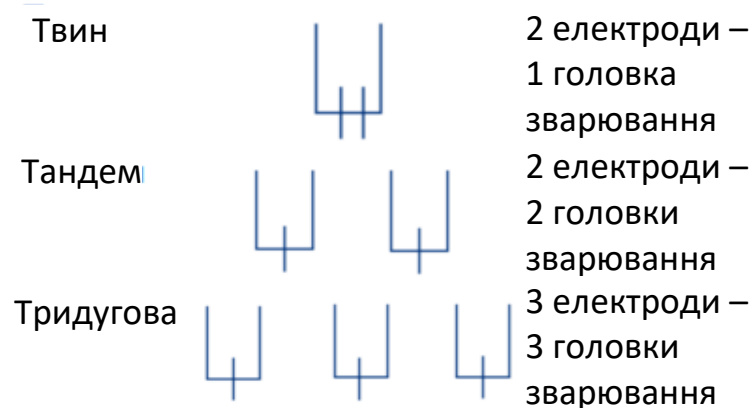
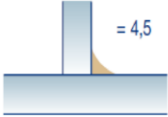


Рисунок 1.5 – Схематичне зображення багатодугового зварювання

Таблиця 1.1 – Швидкість зварювання, м/хв

	1 електрод 0,25	2 електроди 0,5	3 електроди 0,9
	0,7	1,2	1,6

Зварювання за вузьким і щілинним зазором показано на рис. 1.6.

При зварюванні деталей товщиною більше 50мм потрібна V-подібна обробка кромки, для забезпечення доступу звичайного пальника і виконання численних проходів. дріт, струм, захисний газ та охолодна рідина.

Для забезпечення надійного сплавлення кромки вигнуті під кутом струмопідвідний наконечник здійснює періодичні рухи, що коливаються, з короткою затримкою на бічних поверхнях обробки.

На рис. 1.6 праворуч показано обробку по щілинному зазору.



Рисунок 1.6 – Зварювання по вузькому та щілинному зазору

Використання вузького оброблення дозволяє суттєво економити час на виготовлення оброблення та електродний метал. Відповідно економиться електроенергія та підвищується продуктивність зварювання. Зменшуються зварювальні напруги та деформації.

Порівняно з традиційним обробленням зі скошеними кромками обсяг зазору для зварювання у вузьку обробку складе чи одну третину.

При товщині зварювальних листів 300 мм досить вузька обробка шириною всього 20 мм.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Джерело живлення для автоматичного зварювання під шаром флюсу

Дугове зварювання під флюсом, як правило, застосовується у цехових умовах. Зварювання поза цехових умов пов'язана з низкою проблем таких як насичення флюсу вологою. Однак поза цехом цей вид зварювання теж застосовується, особливо на монтажі виробу.

SAW-зварювання найбільш раціональне коли з'єднання треба заварити за мінімальне кількість проходів та у шву пред'являються високі вимоги, наприклад щодо ударної в'язкості.

Зварювання виробу також можна виконувати з двох сторін, використовуючи оброблення кромки різних конфігурацій, залежно від товщини деталей, що зварюються. Існують марки сталей, які треба зварювати за багато проходів, щоб гарантувати заданий рівень ударної в'язкості зварного з'єднання чи витримати інші вимоги.

Зварювання з великою кількістю проходів веде до подорожчання процесу, проте, якщо до конструкції пред'являються дуже високі вимоги щодо працездатності, вартість зварювання йде на другий план.

При SAW-зварюванні, як і за інших видах зварок, у шві можуть утворюватися дефекти, проте в цілому, якщо параметри підібрані правильно, даний вид зварювання менш схильний до утворення дефектів.

Для дугового зварювання під флюсом необхідно мати механізм подачі зварювального дроту, джерело живлення, систему подачі флюсу та контролер, керуючий цим процесом, рис. 2.1.

Як зварювальні матеріали використовується голий зварювальний дріт, що подається під шар флюсу, які спільно надходять до зони зварювання через контактний наконечник та шланг подачі флюсу.

Електричний струм на дріт передається через контактну трубку або губки, що виготовляються з міді.

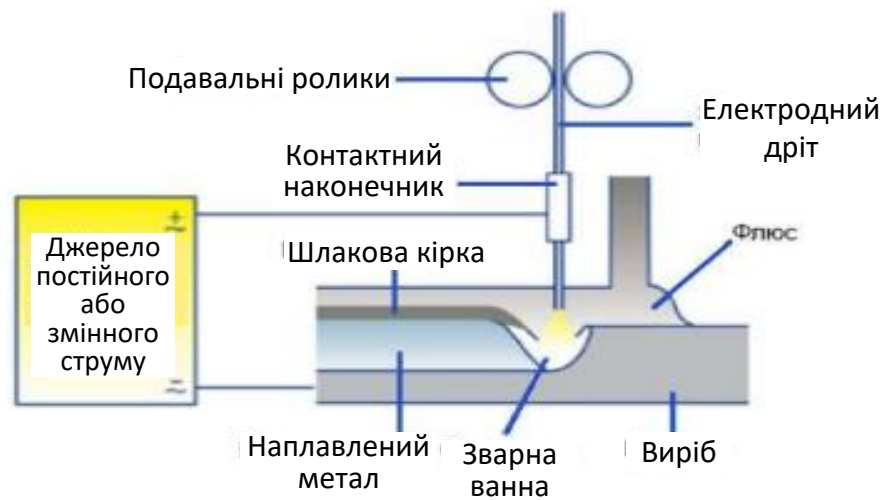


Рисунок 2.1 – Схема дугового зварювання під флюсом

Флюс подається з великого бункера по шлангу, через сопло, розташоване перед контактними губками у напрямку зварювання або через воронку. Електрична дуга збуджується при контакт дроту з виробом.

Необхідні струм та напруга виробляє джерело живлення постійного чи змінного струму. Інтенсивне виділення тепла в дузі плавить флюс та дріт, що подається в зону зварювання.

Флюс, як і дріт, що переходять у рідкий стан. Через різниці в їх щільності, розплавлений флюс спливає над поверхнею розплавленого металу зварювальної ванни та застигає. Флюс може, як легувати метал шва, так і вести себе нейтрально.

Шлак, що утворюється з флюсу в процесі зварювання, захищає розплавлений метал від кисню атмосфери, а згодом відокремлюється від поверхні наплавленого валика і йде у відходи.

При цьому витрачається не весь флюс, що висипається в зону зварювання, а його нерозплавлені залишки повертаються в флюсовий бункер по системі рециркуляції флюсу.

Шлак, що утворюється при зварюванні, створює теплоізолюючий ефект і знижує теплові втрати дуги. Завдяки цьому енергія дугою, що виробляється, може бути набагато вище, ніж при зварюванні відкритою дугою. Коефіцієнт ефективного тепlopokладання вище і, як результат, досягається вища швидкість зварювання.

При SAW-зварюванні цей коефіцієнт може сягнути 60% порівняно з 25%, характерними для зварювання покритим електродом чи іншими види ручного зварювання. Для SAW-зварювання може використовуватись як постійний, так і змінний струм, але постійний використовується частіше.

Джерела живлення, що використовуються у зварюванні, перетворюють струми мережі на два види струму постійний (DC) і змінний (AC).

Технології зварювання, що використовуються при роботі на джерелах, досягли хороших показників за продуктивністю і під управлінням автоматики, досягли певного максимуму. Для збільшення швидкості зварювання стало розвиватися напрямком зварювання з використанням декількох дуг. В основному застосовується дводугове зварювання.

Сутність двохдугового зварювання полягає в наступному. Основна дуга - її живлення походить від джерела живлення постійного струму і рухається вона попереду зварювальної ванни. Забезпечення глибини проплавлення відбувається з допомогою постійного струму позитивної полярності. Живлення другої дуги відбувається джерелом живлення зі змінним струмом. За рахунок двох одночасного горіння двох дуг підтримується стабільність.

Оскільки обидві дуги створюють одну загальну зварювальну ванну, може виникнути вплив магнітного поля, що викликає відхилення їх один від одного. Для уникнення впливу магнітних полів дуг, одна на одну, одна з дуг живиться джерелом живлення змінного струму.

Полярність дуги живиться від джерела змінного струму і напрямком магнітного поля, створюваного їй зміняться з частотою 50 разів на секунду. За рахунок цього мінімізується вплив дуг один на одного і дозволяє контролювати їх вплив один на одного.

Коефіцієнт наплавленого металу є ще одним плюсом застосування цього методу. У період постійного струму негативної полярності відбувається нагрівання електродної області, тому в момент негативного імпульсу постійного струму коефіцієнт наплавлення на 30% вище, ніж при позитивному імпульсі.

При подачі струму різних напівперіодів на другу дугу за рахунок наявності напівперіоду з негативним імпульсом коефіцієнт наплавлення збільшується на 15%.

Виходячи з цього, дводугове зварювання дозволяє збільшити коефіцієнт наплавленого металу на 15%, ніж при зварюванні одним електродом, при цьому знизивши вплив магнітних полів дуг один на одного [15].

Однак використання третьої дуги для подальшого вдосконалення процесу додало низку питань, пов'язаних із впровадженням цього процесу. Вплив магнітних полів третьої дуги на перші дві був основною проблемою.

Для його компенсації третя дуга повинна працювати на змінному струмі та мати зсув фаз відносної другої дуги. Використання схеми підключення Скотта дозволило б вирішити цю проблему.

Побудова схеми полягає в підключенні другого трансформатора, що дозволяє отримати постійний зсув фаз між дугами.

Чинником, що залишає впровадження такої схеми, є жорстка прив'язка до налаштувань обладнання.

Будь-яка розсинхронізація фаз призводила б до необхідності переналаштування трансформатора.

З практичної точки зору це означало, що налаштування системи виконували один раз, при впровадженні у виробництво, і після цього не зазнавали будь-яких змін. Для технології зварювання обмежуючим фактором стало джерело живлення.

Принцип роботи джерела повинен був задовольняти наступним вимогам. Зміна напруги і струму мережі живлення відповідно до змінених режимів зварювання, при цьому частота роботи джерела живлення залишалася такою ж, як і в мережі живлення і для виключення накладання струмів один на одного, джерело повинен працювати на одній фазі [16].

Для роботи такого джерела, знадобився струм потужністю близько 260 А і напругою змінної мережі 380 В. Не багато електричних мереж дозволяють виконати дану умову.

Джерела живлення від виробника Lincoln Electronic PowerWave® AC/DC 1000 (рис. 2.2) – інвертор із цифровим керуванням, який дозволяє отримувати різні форми струму, без зміни апаратної складової джерела.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд джерела живлення Lincoln Electronic AC/DC 1000

Переваги:

- Переключення полярності здійснюється програмним забезпеченням джерела та не потребує переналаштування обладнання.
- Покращена стабільність та незалежний контроль у багатодуговій конфігурації.
- Підвищена ефективність та надійність забезпечується, зокрема, системою охолодження, виконаною за запатентованою технологією Coaxial Transformer Technology.
- Коефіцієнт потужності 95% дозволяє розширювати та модернізувати виробництво без збільшення енергоспоживання підприємства.
- Для реєстрації параметрів зварювання застосовується система дистанційного керування процесами за допомогою: ArcLink, Ethernet і DeviceNet.

- Високий клас захисту – IP23 дозволяє використовувати апарат у складних умовах експлуатації на відкритому повітрі.

Зміна вольтамперних характеристик на жорстку або падаючу.

- Наявність можливості вибору форми струму – прямокутну чи синусоїдальну

- Налаштування частоти струму від 10 до 100Гц

- Налаштування співвідношення тривалості негативного та позитивного напівперіоду (балансу полярності)

- Зміщення нульової точки відліку напівхвилі, для можливості зміни амплітуди негативного та позитивного напівперіоду хвилі

- Налаштування зсуву фаз між дугами від 0 до 359°.

Для розуміння кожної з особливостей розглянемо їх детально.

Проведемо порівняння прямокутної та синусоїдальної форми хвилі.

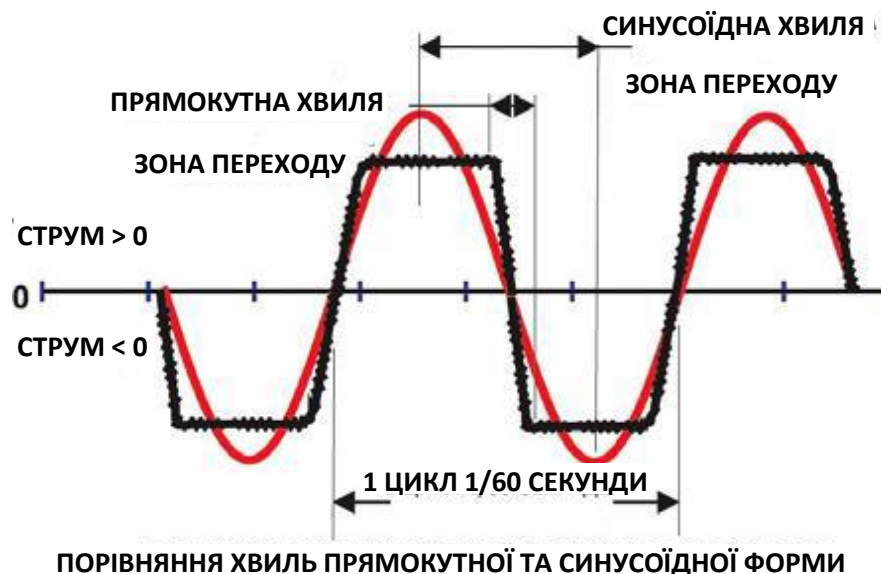


Рисунок 2.5 – Схема порівняння видів хвиль

На графіку для наочності зображені обидві форми хвиль. Залежно від значення змінного струму 50 або 60 Гц, кількість перетину нульової точки в секунду буде від 100 до 120 разів на секунду відповідно.

Однак у короткий період, коли струм переходить нуль, відзначається нестабільне горіння дуги. У струму прямокутної форми перехід відбувається значно швидше, тому стійкість горіння дуги значно вища.

Перевагу струму прямокутної форми зображено на рис. 2.5

Вона пов'язана з регулюванням частоти хвиль.

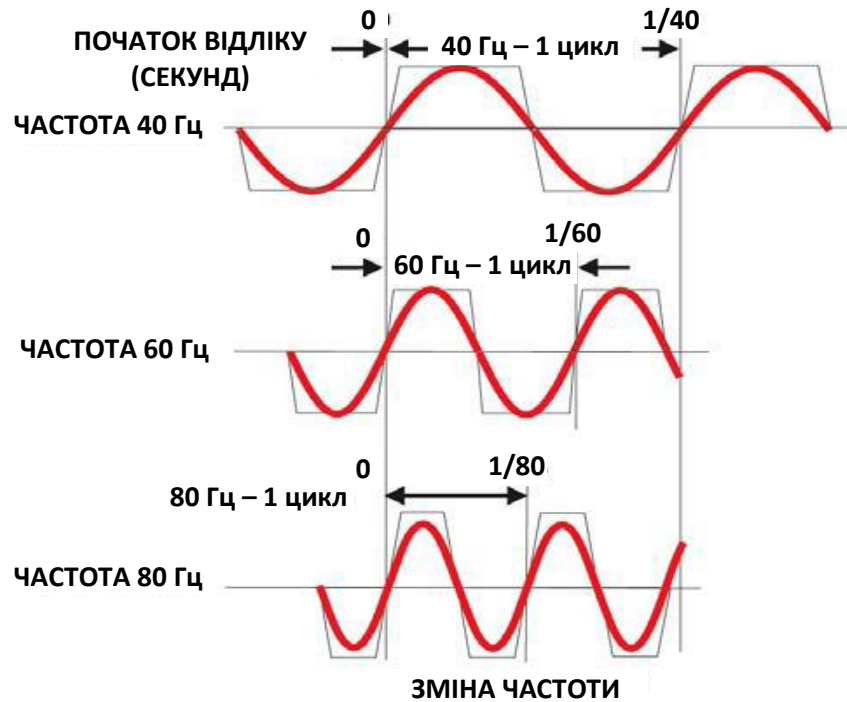


Рисунок 2.6 – Схема порівняння частоти хвиль

При зміні частоти струму змінюється час перебування хвилі в навколопікових значеннях, а також час переходу з однієї полярності на іншу. На графіках видно, збільшення часу перебування хвилі у тому чи іншому напівперіоді, при зменшенні частоти [19].

Крім того, від площі на графіку під хвилею залежить коефіцієнт наплавлення і глибина проплавлення, а також стабільність горіння дуги. Чим більша площа на графіку під хвилею, тим більше енергії виділяється під час горіння дуги.

Насправді зміна частоти змінного струму служить зміні форми зони проплавлення стикових і кутових швів.

За допомогою регулювання зміщення нульової точки для зміни позитивної та негативної амплітуди напівхвилі, можна збільшити фазу, що впливає на проплавлення або наплавлення.

Зварювальна установка PowerWager AC/DC 1000 дозволяє зміщувати нульову точку в діапазоні від -25% до +25%.

При зміщенні нульової точки відбувається збільшення амплітуди позитивного або негативного півперіоду хвилі, порівняно із збалансованою хвилею, де ці напівперіоди однакові.

Також це можна як вигляді накладання постійного струму різної полярності на звичайну хвилю. Збільшення позитивної амплітуди хвилі (+25%) призведе до збільшення постійної складової струму позитивної полярності та вищого проплавлення, а при зміщенні нульової точки в протилежну (-25%) збільшиться кількість наплавленого металу і знизиться проплавлення.

Регулює зсув фаз між дугами в діапазоні від 0° до 359° . За допомогою цифрового керування вдається досягати зсуву фаз між дугами [20]. При використанні функції з'являється можливість з'єднувати два і більше зварних джерела в єдину машину, а при необхідності використовувати окремо.

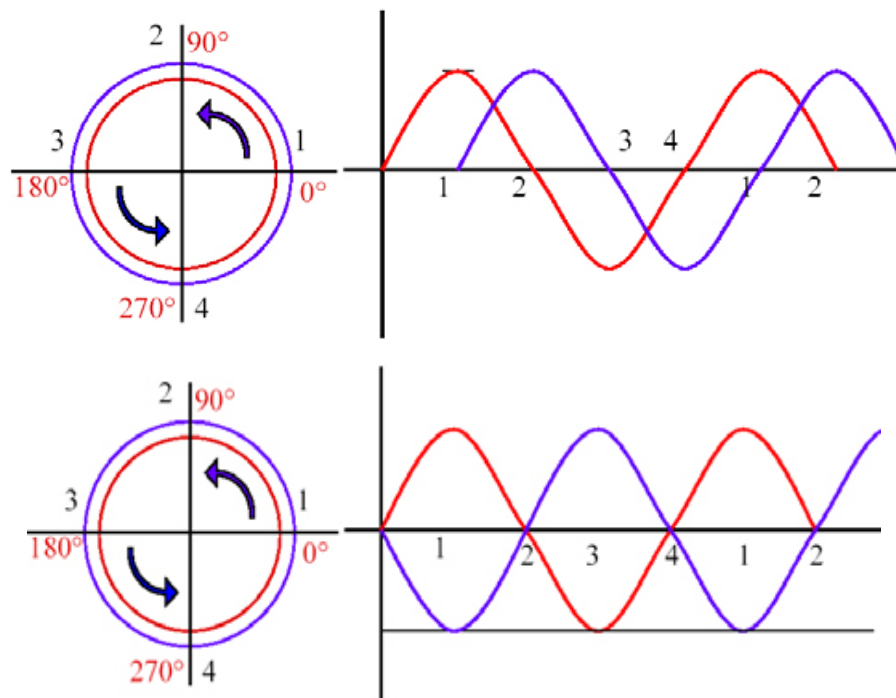


Рисунок 2.7 – Діаграма зсуву фаз

На першій діаграмі зображено зсув фази 90° .

Такий зсув фаз необхідний роботи двох дуг. У цьому випадку пікове значення однієї хвилі збігається з переходом через нуль іншої.

При такому зміщенні знижується вплив хвиль одна на одну.

На другій діаграмі зображено зсув фази 180° .

При такому зрушенні фаз хвилі будуть надавати максимальний вплив один на одного. Бо хвилі досягають своїх пікових значень одночасно.

Таким чином, при правильному доборі режимів зварювання, величини зміщення напівперіодів та фаз зсуву можна досягати значного збільшення швидкості зварювання, без втрати якості.

На рисунку 2.8 наведено графік залежності наплавленого металу від сили струму при різних величинах зміщення напівперіодів і зсуву фаз.

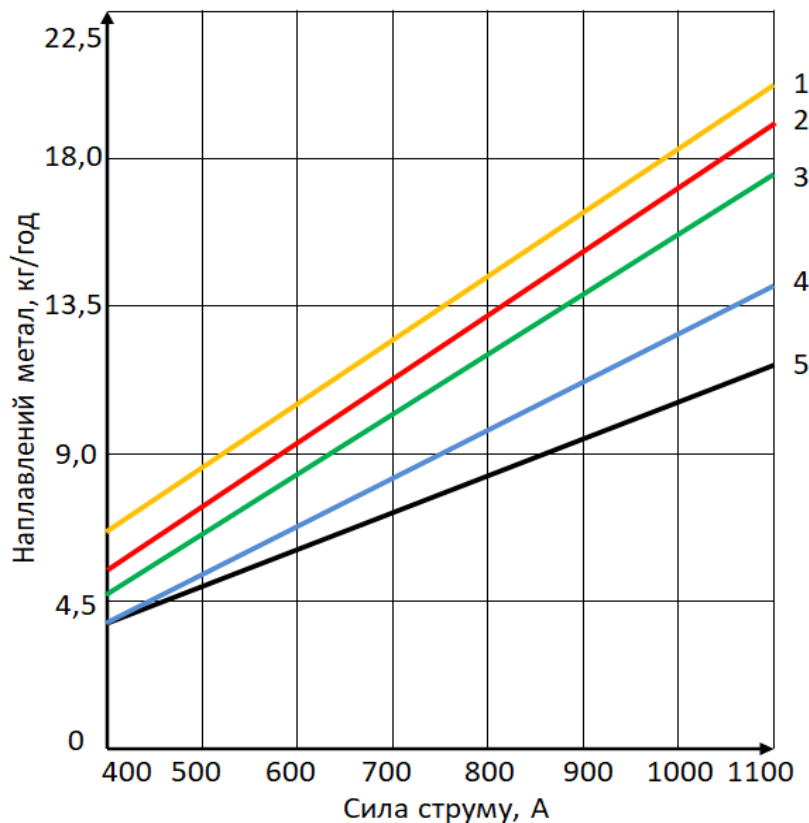


Рисунок 2.8 – Графік залежності зміни наплавленого металу від сили струму: 1 – баланс 25%, зсув +20%, частота 35 Гц; 2 – баланс 25; 3 – збалансована прямокутна хвиля; 4 – баланс 75%, зсув +10%, частота 35 Гц; 5 – постійний струм зворотної полярності

Наприклад, при зварюванні на струмі 800А, використовуючи обладнання PowerWave AC/DC, збільшується швидкість наплавлення більш ніж на 40% порівняно з наплавленням на постійному струмі зворотної полярності. Під час впровадження нових технологій зварювання, показником її ефективності, буде якість одержуваних сполук. Воно визначається за механічними властивостями зварної сполуки [21].

Підвищення швидкості наплавлення металу забезпечує збільшення швидкості зварювання, що в свою чергу впливає на зменшення погонної енергії. Для конкретизації можна порівняти механічні випробування зразків на двох різних режимах зварювання (табл. 2.2–2.3)

Таблиця 2.2 – Використовувані режими зварювання

Режим зварювання	Кількість проходів	Струм, А	Напруга, В	Подача, м/хв за прохід	кДж/м (за прохід)	Загальна подача, м/хв
DC+	14	600	28	0,46	2200	0,033
АС, баланс 30%, частота 40 Гц	14	600	32	0,61	1880	0,043

Таблиця 2.3 – Результати механічних досліджень

Режим зварювання	Кількість проходів	Струм, А	Напруга, В	Подача, м/хв за прохід	кДж/м (за прохід)	Загальна подача, м/хв
DC+	538	459	30	85	158	538
АС, баланс 30%, частота 40 Гц	567	480	28	77	135	567

При порівнянні двох результатів видно, що застосування різнополярного імпульсного зварювання знижує кількість погонної енергії на кожен прохід, збільшує швидкість зварювання та наплавлення більш ніж на 40%, при цьому не погіршуючи механічні властивості з'єднання.

2.2 Розрахунок температур при зварюванні з урахуванням полярності дуги

Явище відмінності провару в залежності від полярності дуги можна пояснити різною концентрацією потужності, що виділяється у виробі при електродною областю дуги і рідким металом з електрода.

Тому врахувати різницю проварів можна, використовуючи при розрахунку різну зосередженість теплового потоку джерела тепла.

Зварювання в CO_2 електродом, що плавиться, переважно ведеться дугою зворотної полярності.

Проплавлення здатність такої дуги значно вища, ніж при зварюванні вольфрамовим електродом, що не плавиться, в середовищі аргону.

В останньому випадку зварювання з двох сторін передбачено для товщини до 6 мм. При зварюванні електродом, що плавиться, така товщина обмежена 12 мм (рис. 2.9).

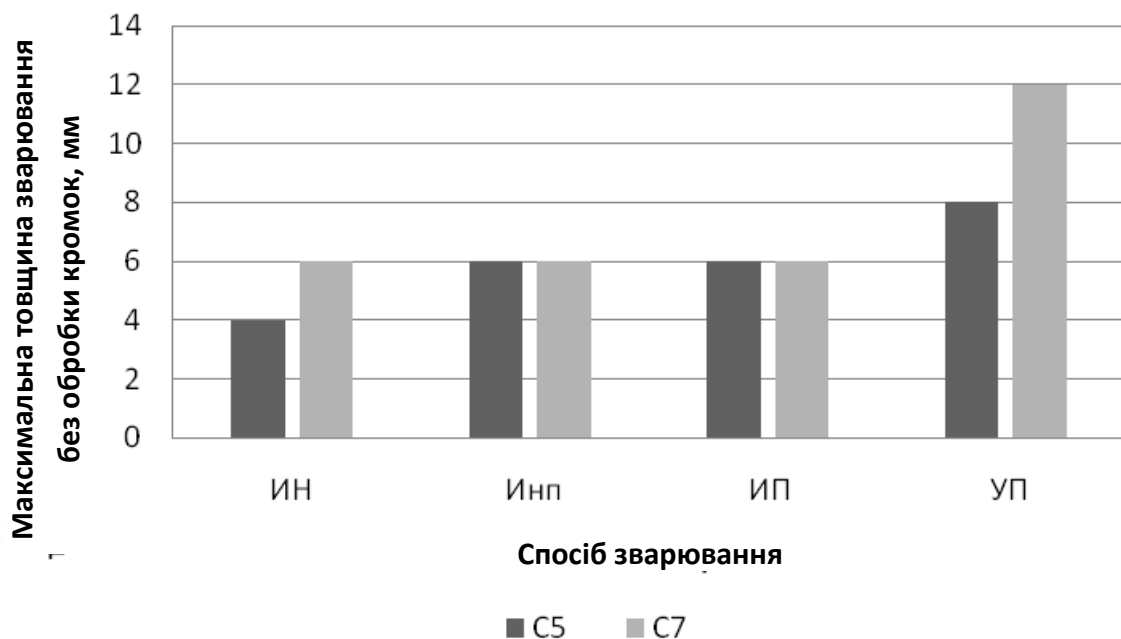


Рисунок 2.9 – Діаграма допустимої товщини зварювання без обробки кромок

Для оцінки перспективності такої методики були виконані розрахунки для двостороннього зварювання плавким електродом CO_2 пластин товщиною 6,0 мм. Режими зварювання дугою зворотної полярності взято з літературних джерел. Діаметр електродного дроту 1,6 мм, струм 280 -300 А, напруга дуги 28-30, швидкість зварювання 30-35 м/год. Повна потужність дуги $P_d \approx 8410$ Вт.

Провар за такого способу зазвичай становить 60% товщини. Таким чином, для даної товщини орієнтовний провар 3,6 мм. Тоді зварюванні на прямій полярності повинен відповідати при $\beta = 1,3$ провар $H = 2,8$ мм.

При розрахунку ефективної потужності приймали ефективний ККД дуги $\eta_i = 0,8$.

Тоді ефективна потужність дуги

$$q_i = 8410 \cdot 0,8 = 6728 \text{ Вт} \quad (2.1)$$

Також ефективну потужність при зварюванні електродом, що плавиться, більш точно можна визначити через суму приелектродних падінь напруги і потужність, що поглинається вильотом електрода. При цьому потужність, що поглинається вильотом, буде незначно відрізнятися для зворотної та прямої полярностей дуги.

При розрахунках використовували схему нормально-кругового, що рухається джерела тепла лежить на поверхні плоского шару [7]. Занурення активного плями дуги в метал не враховувалося, оскільки використовувався мінімальний струм дуги із порівняно низьким тиском. Досліджували вплив осового теплового потоку на провар за постійної ефективної потужності.

Теплофізичні властивості приймалися для низьковуглецевої сталі: коефіцієнт температуропровідності $a = 0,08 \text{ см}^2/\text{с}$; об'ємна теплоємність, $C_v - 5,0 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \text{ } ^\circ\text{C})$. Для зворотної полярності струму вибраному провару відповідає осовий тепловий потік $6,6 \text{ кВт}/\text{см}^2$, для прямої $4,8 \text{ кВт}/\text{см}^2$.

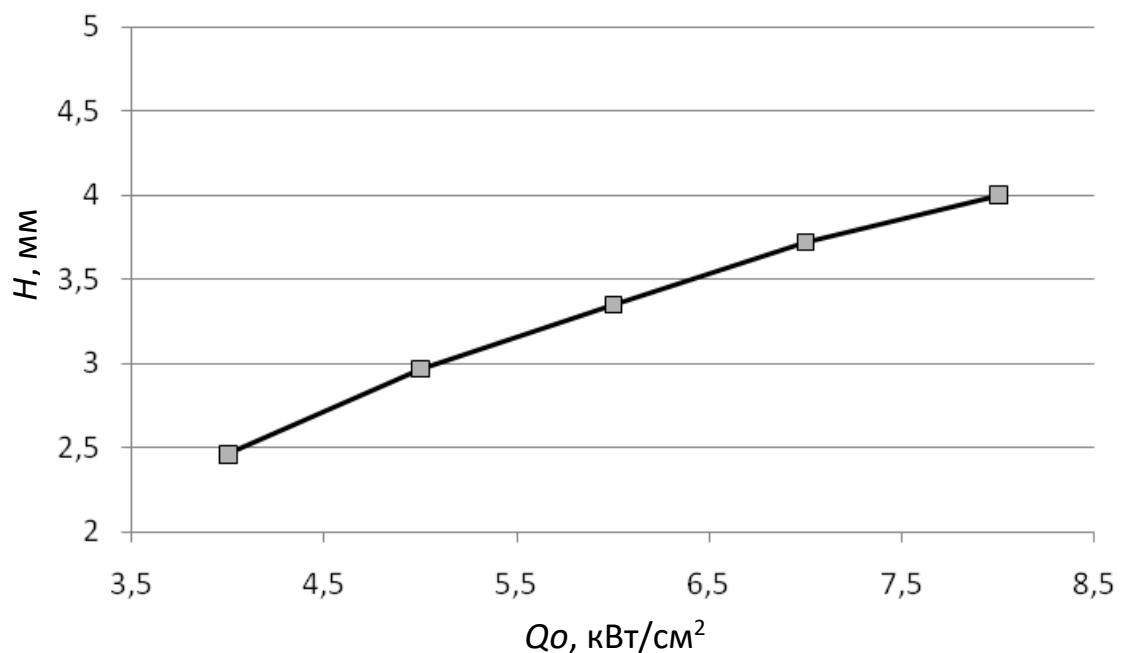


Рисунок 2.10 – Залежність провару від осового теплового потоку

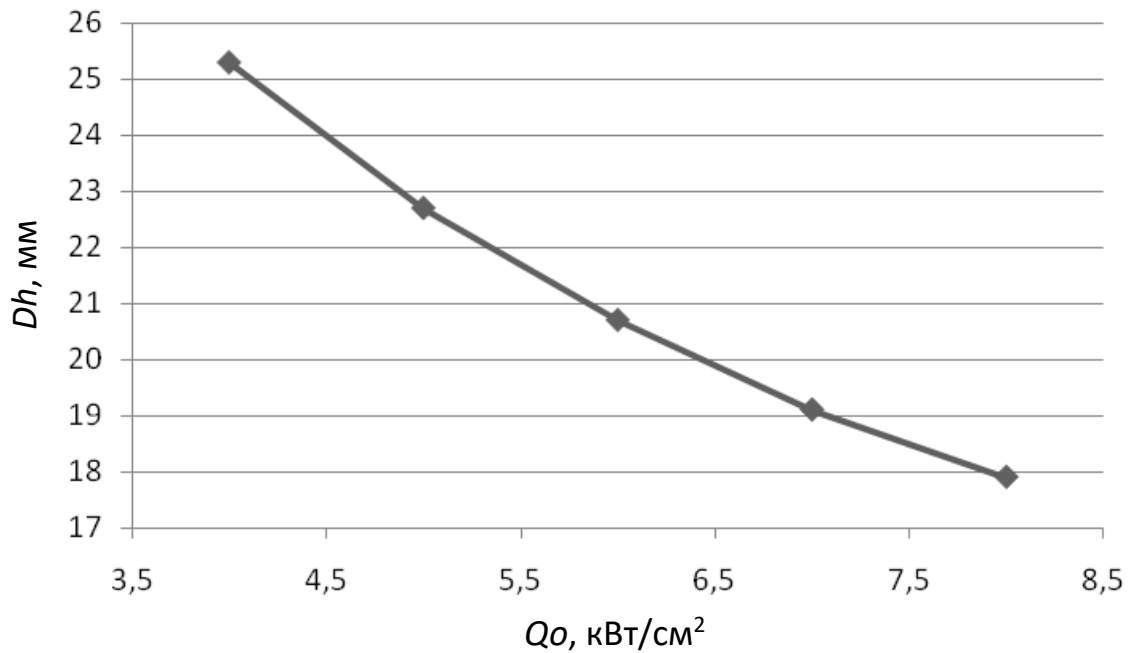


Рисунок 2.11 – Залежність діаметра плями нагрівання від осьового теплового потоку

Слід зазначити, що для дуги прямої полярності з електродом, що не плавиться, в аргоні отримані близькі значення осьового теплового потоку $Q_o = 4,2 \text{ кВт/см}^2$.

Зварювання на прямій полярності в захисних газах нині мало ведеться, що пов'язані з зниженою просторовою стійкістю дуги. Однак з появою зварювальних інверторних джерел живлення, що формують змінний струм із регулюванням частки будь-якої полярності, ця проблема значною мірою вирішується.

Прикладом є використання джерел живлення з різнополярними імпульсами струму для зварювання під флюсом режими з переважанням прямої полярності забезпечать підвищення продуктивності зварювання при заповненні оброблення кромки, що зварюються.

Проведені розрахунки показують, що температуру при зварюванні електродом, що плавиться, залежно від полярності дуги слід визначати, використовуючи джерела тепла з різною величиною осьового теплового потоку.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз способів зварювання, які використовували під час виробництва резервуара

Розглянемо технологічний процес зварювання резервуарів і резервуарних металевих конструкцій.

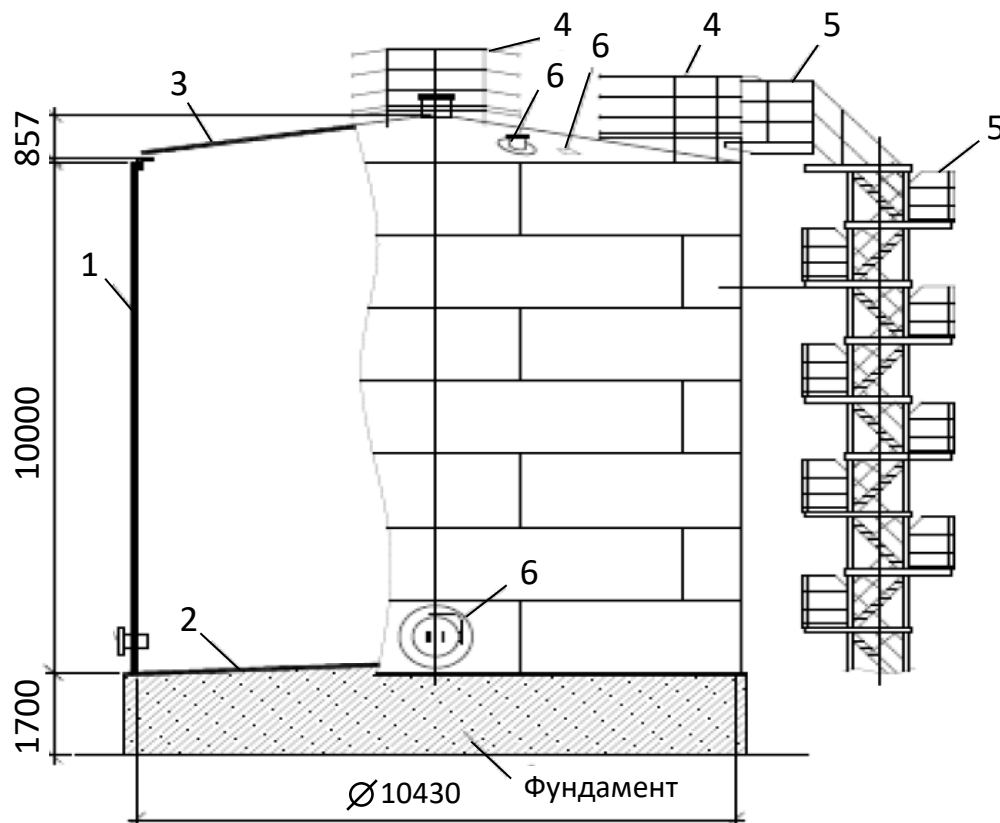


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд резервуару РВС-100: 1 – стінка; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – майданчики огорожі на кришці; 5 – шахтні сходи; 6 – люки; 7 – патрубки

Найбільш важливими складовими резервуара є стінки, днище та кришка (рис. 3.1). Вони можуть виготовлятися як листовим методом, так і ретельному контролю виробником та замовником та методом рулонування. Як правило, резервуари об'ємом менше 10000 м³ виготовляються методом рулонування. Від способу виробництва резервуара залежать використовуваний метод зварювання і методи підготовки кромки.

При виробництві резервуарів для стін і днищ використовуються сталі завтовшки від 4 до 18 мм. Для окремих вузлів резервуара можна використовувати значно більші товщини.

Резервуари найчастіше виготовляються із групи сталей М01.

Найбільш використовуваною маркою сталі для виробництва резервуарів є сталь марки 09Г2С. Наявність легуючих елементів у сталі, дозволяє отримувати такі ж характеристики міцності, як у сталі Ст3сп5, але при більш низьких товщинах. Що зрештою знижує загальну масу і вартість.

Ручне дугове зварювання покритими електродами.

Одним із способів зварювання на базовому підприємстві є ручне дугове зварювання покритими електродами [21].

Основні технологічні процеси для її застосування:

- великовузлове збирання металоконструкцій перед зварюванням;
- складання рулонованих полотнищ на установках для навертання;
- зварювання важкодоступних місць, де немає можливості для доступу механізованим зварюванням;
- складання та зварювання виробничого оснащення, контейнерів та упаковки;
- ремонтне зварювання рулонованих полотнищ.

На останньому можна зупинитись окремо. Ремонт зварних швів, за результатами контролю, що не руйнує, проводиться на нижньому ярусі установки для навертання рулонованих полотнищ. Так як полотнище зварюється двостороннім швів, з повним проплавленням, ремонт проводиться з боку найближчої до глибини залягання дефекту. Іноді виникає необхідність ремонтного зварювання в стельовому положенні.

Зварювальне обладнання для ручного дугового зварювання.

Однією з переваг джерел живлення Kemppi MLS3500 (рис. 3.2) є їх мобільність, високі показники ККД. Основне застосування таких джерел, це автоматичне зварювання, але при необхідності виконання складальних робіт перед автоматичним зварюванням їх використовують для ручного дугового.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд джерела живлення Kemppi MLS3500

Захист зварювальної ванни забезпечується за рахунок розкладання обмазування електродів під час зварювання. При розкладанні обмазки утворюються гази, які захищають шов [22].

Роботизація ручного дугового зварювання утруднена через те, що швидкість плавлення електрода зростає до кінця зварювання.

Доводиться збільшувати швидкість зварювання для отримання однакової кількості наплавленого металу [23].

Автоматичне зварювання під шаром флюсу.

Автоматичне зварювання під шаром флюсу, має ряд переваг, таких як стабільність процесу зварювання, практично повною відсутністю втрат на розбризкування металу.

Під час автоматичного зварювання формування шва відбувається без участі зварювальника і вплив людського фактора виключається.

При автоматичному зварюванні під флюсом захист зварювальної ванни забезпечується за рахунок розплавлення флюсу, всередині якого горить зварювальна дуга.

Захист зварювальної ванни при цьому в рази краще, ніж при зварюванні покритими електродами [10].

Флюси бувають плавленими та керамічними. Флюси отримують шляхом сплавлення його компонентів і подальшим дробленням (плавлені флюси), або зв'язуванням порошкоподібних компонентів (керамічні флюси).

Недоліком таких флюсів є гігроскопічність і необхідність обов'язкового прокалювання перед зварюванням. У разі недостатньої прожарюваності флюсу, не виключено пороутворення і не сплавлення кромки, що зварюються [22].

На базовому підприємстві автоматичне зварювання під шаром флюсу застосовується для зварювання рулонованих полотнищ, а також як експеримент та дослідження можливості подальшого застосування для зварювання щитової покрівлі резервуарів.

Перед зварюванням відповідальні конструктивні елементи проходять обов'язкову підготовку кромки. Зокрема, для стін і днищ проводиться поздовжньо і поперечно фрезерна обробка листа на фрезерних верстатах, щоб витримати відхилення 1 мм на 1 метр довжини бічної кромки.

Така операція обов'язкова, адже при автоматичному зварюванні вкрай важливо дотримуватися зазору між кромками деталей, що зварюються.

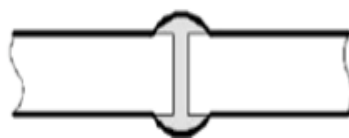


Рисунок 3.3 – Схема типового зварного з'єднання

Перед зварюванням відповідальні конструктивні елементи проходять обов'язкову підготовку кромки. Зокрема, для стін і днищ проводиться поздовжня і поперечна фрезерна обробка листа на фрезерних верстатах, щоб витримати відхилення 1 мм на 1 метр довжини бічної кромки. Така операція обов'язкова, адже при автоматичному зварюванні вкрай важливо дотримуватися зазору між кромками деталей, що зварюються.

У табл. 3.1 наведено режими зварювання сталі 09Г2С та Ст3сп, які використовуються на підприємствах при технологічному процесі зварювання резервуарів. Режими зварювання наведені для двостороннього стикового з'єднання без обробки кромки, з повним проплавленням

Таблиця 3.1 – Режими зварювання сталі 09Г2С та Ст3сп

δ , мм	d_E , мм	Номер шару	I , А	U_d , В	V_E , м/год	V_p , м/год
3–10	3	1–2	550–600	34–36	145	25,5
10–12	4	1–2	600–650	36–38	90	29
12–14	4	1–2	600–650	36–38	90	29
16–18	5	1	600–650	32–34	57	29
16–18	5	2–3	700–750	36–38	66	29
19	5	1	600–650	32–34	57	29

Розкид режимів можна оцінювати з допомогою розрахунку розмаху R . Це поняття використовують у теорії математичної статистики [23].

Найкраще розглядати відносний розмах. Це відношення напіврізності значень до їхньої напівсуми. З позиції тепlopokладання для даної товщини металу режим слід оцінювати погонною потужністю.

Це ставлення добутку струму на напругу дуги до швидкості зварювання.

Цікавим є зміна цієї величини від товщини. Розмах за потужністю слід оцінювати з урахуванням того, що меншому струму відповідає менша напруга дуги.

Питома енергія зварювання

$$Q = \frac{U_d \cdot I}{\delta \cdot V_c}, \quad (3.1)$$

де U_d – напруга дуги, В;

I – сила струму, А;

δ – товщина металу, мм;

V_c – швидкість зварювання, м/хв.

Однак, залежно від різних умов зварювання, трапляються відхилення від граничних значень на 10–20%.

Також експериментальним шляхом встановлено, що при зварюванні нержавіючих сталей забезпечується значно більша швидкість зварювання, з одночасним збільшенням швидкості подачі електродного дроту та сили струму зварювання [4].

Таблиця 3.2 – Аналіз режимів зварювання

δ , мм	Напіврозкид струму, %	Напіврозкид потужності, %	Питома енергія зварювання мінімум, кДж/см	Питома енергія зварювання максимум, кДж/см
10–12	4	7,2	73,3	84,7
12–14	4	6,5	62	70
16–18	3,5	3	21	47
19	3,5	3	45	51,8

Наприклад, для отримання якісного з'єднання зі сталі 12Х18Н10Т силу струму доводилося збільшувати до 800А, подачу дроту до 120 м/год, при товщині пластини в 8мм. При використанні рекомендованих режимів проплавлення було недостатнім. Виходячи з отриманих даних, виникає питання про вдосконалення методу та використання більш сучасних джерел живлення та зварювальних тракторів.

Легкість в інтеграції обладнання.

Джерела серії SubArc AC/DC Digital (рис. 3.4) легко інтегруються в будь-яку систему, використовуючи відкритий комунікаційний протокол Modbus. Можливі різні ступені інтеграції – від реалізації простого дистанційного керування джерелом, до складніших автоматизованих зварювальних систем.



Рисунок 3.4 – Джерело для автоматичного зварювання Subarc 1000 AC/DC Digital

Можливість паралельного вмикання.

Джерела серії SubArc AC/DC Digital мають достатню потужність, щоб забезпечити рішення широкого спектра зварювальних завдань – від однодугового зварювання до тандемного зварювання кількома дротами. Для електрошлакового зварювання та наплавки та для інших енерговитратних завдань є можливість увімкнення джерел у паралельному режимі.

Спрощене налаштування.

Керувальний інтерфейс джерел серії SubArc AC/DC Digital автоматично визначає під'єднання пристрою до джерела й самостійно налаштує систему для оптимальної роботи. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача дає змогу легко задавати необхідні зварювальні параметри та контролювати процес зварювання. Джерела серії SubArc AC/DC Digital мають вбудовану опцію для роботи в паралельному режимі та для роботи в режимі тандема – потрібно просто під'єднати необхідні кабелі та система готова до роботи, жодних додаткових налаштувань здійснювати не потрібно.

Низька робоча напруга додаткових пристроїв і підвищений клас захисту обладнання. Усі периферійні пристрої серії SubArc AC/DC Digital мають напругу живлення 24 В постійного струму від джерела SubArc. Усі джерела, пристрої керування й подавальні пристрої мають клас захисту від впливу довкілля IP23, що забезпечує стабільну роботу обладнання у важких виробничих умовах.

Система охолодження випрямляча Fan-On-Demand™.

Автоматичний захист від перегрівання та стабілізація напруги наявні на всіх джерелах серії SubArc DC Digital.

Можливі шляхи вдосконалення техпроцесу зварювання під флюсом – це застосування зварювання дугою з різнополярними імпульсами струму прямокутної форми для підвищення швидкості заповнення зварного шва.

Механізоване зварювання.

Ще одним способом зварювання на базовому підприємстві є механізована зварка електродом, що плавиться в середовищі захисного газу, рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд зварювального трактора АДФ 1002

Для розуміння впливу полярностей було проведено експеримент із впливом полярностей при механізованому зварюванні.

Для фізичного розуміння впливу прямої та зворотної полярності на процес зварювання, був проведений експеримент з використанням механізованого зварювання. Суть експерименту полягала у тому, щоб визначити вплив тієї чи іншої полярності на деформацію металу.

Для дослідження впливу зварювання на прямій та зворотній полярності проводиться експеримент, завдання якого, при одній і тій же швидкості зварювання, встановити відносну величину деформації зварного з'єднання.

На першому етапі використовуються дві пластини 09Г2С завтовшки 5 мм, 100x120 мм і зварюються одностороннім тавровим з'єднанням без повного проплавлення. Джерело живлення інверторного типу Kemppi FastMig M420, спільно з механізмом подачі дроту FastMig MXf65, рис. 3.6.

Перед зварюванням зразки збираються на прихватки і за допомогою косинця виставляються перпендикулярно.

Прогнозовані режими зварювання.

Струм зварювання 120-140 А, напруга дуги зварювання 20-22 В, швидкість подачі електродного дроту 3-4,5 м/хв.



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд джерела живлення Kempri FastMIG M420+MXf65

Перед зварюванням швидкість подачі підібрати виходячи з навичок зварювальника. Захисний газ – вуглекислота 100%, витрата 8 л/хв. Дріт суцільного перерізу 1,2 мм 08Г2С, полірований виробництва Oliver.

Перед зварюванням основних пластин було проведено пробне зварювання на зворотній полярності та підібрано швидкість подачі дроту, рівній 7 м/хв, рис. 3.7.



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд пробного зварювання пластин

Сила струму джерелі живлення регулюється автоматично і визначається джерел, для підтримки швидкості плавлення електрода. При зварюванні на зворотній полярності сила струму становила 196 А. Далі була зміна полярності струму, шляхом перестановки клем. Під час зварювання з використанням прямої полярності сила струму становила 140 А. Тепловкладення в метал на прямій полярності при тій же швидкості плавлення електрода виявилось нижчим.



Рисунок 3.8 – Зразки виконані на прямій та зворотній полярності

При зварюванні на зворотній полярності відмічено сильніше почервоніння металу зі зворотного боку, що також говорить про сильніше теплоукладання в метал. В цілому зварювання на прямій полярності виявилось більш скрутним для зварювальника і формування валика шва з такими ж геометричними характеристиками вимагало зміни режимів зварювання.

Горіння дуги при зварюванні на зворотній полярності, стабільніше ніж на прямій. На прямій полярності вигляд шва нерівномірний, зварювальна ванна в момент зварювання не мала рівних країв, і для підтримки стабільного горіння доводилося змінювати кут нахилу пальника і висоту. Відхилення платини від вертикальної площини практично не помітно, глибину і наявність несплавлень можна оцінити по макрошліфу [13].

Цей експеримент виявився не настільки показовим і надалі при проведенні схожого експерименту слід брати менші товщини та зразки більших розмірів.

Знаючи деякі параметри, можна зробити розрахунок коефіцієнта втрат.

Розрахунок коефіцієнта розплавлення α_p :

$$\alpha_p = \frac{V_e \cdot \rho}{j}, \quad (3.1)$$

де V_e – швидкість плавлення електрода, см/с;

ρ – густина сталі, кг/м³;

j – густина струму, А/см².

Січення дроту:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 1.14 \text{ мм}^2. \quad (3.2)$$

Щільність струму на зворотній полярності:

$$J = \frac{190}{1.14 \cdot 10^{-2}} = 16812 \text{ А/см}^2;$$

$$\alpha_{pz} = \frac{1167 \cdot 7.8}{16812} = 0.053 \text{ г/(А с)} = 19.4 \text{ г/(А год)}.$$

Коефіцієнт розплавлення на прямій полярності:

$$\alpha_{pz} = \frac{19.4 \cdot 190}{140} = 26.6 \text{ г/(А год)}.$$

Коефіцієнт розплавлення на прямій полярності в стільки разів більший, у скільки разів менше струм, оскільки швидкість подачі була однакою. Коефіцієнт розплавлення при прямій полярності збільшується зі зростанням номінальної напруги дуги.

При зворотній полярності коефіцієнт розплавлення меншою мірою залежить від номінальної напруги.

Таким чином, цей дослід нам підтвердив для зварювання в СО₂ нечисленні літературні дані про те, що продуктивність розплавлення та наплавлення використання прямої полярності. Відповідно провар основного металу змінюється навпаки.

На даній зварювальній установці, коли визначається швидкість розплавлення електрода, а струм призначається установкою виходить, що очікуваного ефекту від зміни полярності не буде.

Зменшення струму призведе до зменшення провару основного металу. Крім того, провар зменшиться ще й через те, що проплавлення анодної області менше, ніж катодної. Зменшення провару призведе до зниження міцності кутових швів.

В результаті було підібрано такі режими зварювання:

Для накладних з'єднань перший шар режим подвійного імпульсу, для отримання глибокого проплавлення якісного сплавлення. Режими: подача дроту – 6 м/хв, напруга зварювання – 26 В, струм зварювання – 170 А.

Другий шар – режим одинарного імпульсу, для повчання шва правильної геометричної форми. Режими: подача дроту – 7,5 м/хв, напруга – 29 В, струм зварювання – 195 А. При цьому зазначено краще сплавлення ніж при зварюванні без імпульсу.

Ще одним плюсом, який значно збільшує продуктивність – відсутність бризок, на зачистку яких витрачався значний час. Але імпульсне зварювання також має і мінуси, один з яких просторові положення при зварюванні. Імпульсне зварювання виконується переважно у нижньому положенні.

В інших положеннях шов починає стікати і отримати якісне проплавлення з правильним формуванням зворотного валика практично неможливо.

Як установку для зварювання електродом, що плавиться з РПІ можна використовувати як джерело живлення, яке мають функцію зварювання різнополярними прямокутними імпульсами струму.

Для експериментальної установки можна використовувати джерело живлення AURORA TIG200P, рис. 3.9.

Як подаючий механізм можливе використання ПДГО–510, рис. 3.10.

Джерело для аргонодугового зварювання на постійному струмі TIG DC (5-200А) та для зварювання алюмінію змінним струмом TIG AC (20-200 А).

Для спільної роботи джерела живлення та механізму подачі знадобиться блок живлення БП-02 (рисунок 3.11), для незалежного живлення механізму подачі



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд джерела живлення AURORA TIG200P



Рисунок 3.10 – Загальний вигляд ПДГО–510



Рисунок 3.11 – Загальний вигляд блока живлення БП–02

ПДГО-510 може працювати незалежно від інших джерел живлення через своє джерело живлення, що буде актуальним для проведення експериментів з різнополярного зварювання.

На рисунку 3.12 представлено експериментальну схему установки.

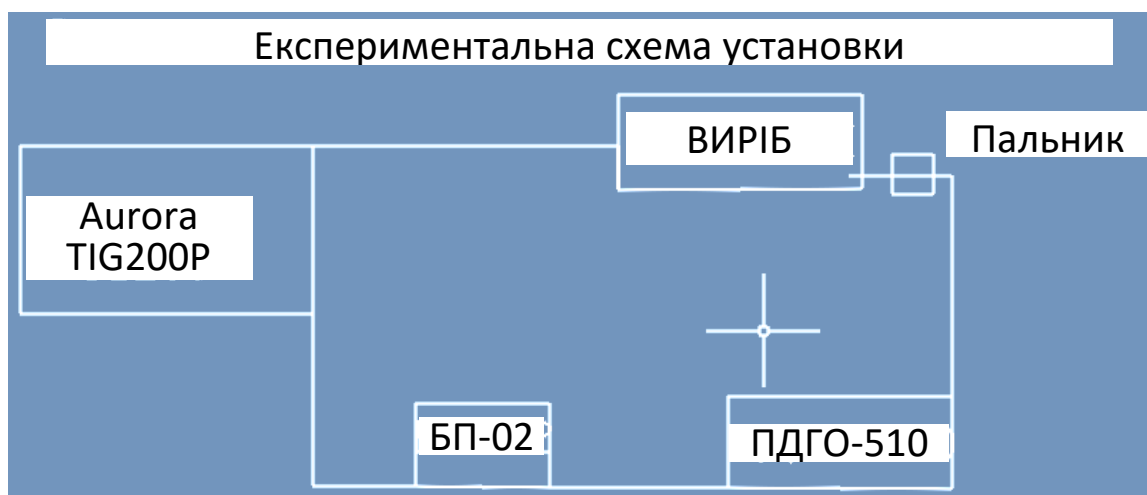


Рисунок 3.12 – Експериментальна схема установки

Методики дослідження:

У процесі зварювання з регульованими прямокутними імпульсами струму співвідношення частки прямої та зворотної полярності можуть значно впливати на форму і розміри зварних з'єднань. Тому досліджуємо залежності змін даних параметрів від відсоткового співвідношення полярностей. Очікуваним результатом є можливість зміни глибини проплавлення, отримання якісного шва і підвищення ефективності процесу зварювання електродом, що плавиться, з регульованими імпульсами струму.

На першому етапі дослідження проводитиметься експеримент із вивчення геометричних параметрів зварного з'єднання. Постійним залишиться подача захисного газу 8 л/хв, швидкість подачі дроту 4 м/хв, зварювальний струм 120А. При цьому змінювався баланс полярності від 10/90 (пряма/зворотна) до 90/10 з кроком 15% і зварювальний струм.

На другому етапі буде проведений розрив зварних зразків у механічній лабораторії, для визначення характеристик міцності, а також зроблені макрошліфи, для визначення глибини проплавлення.

3.2 Розрахунок еквівалентних ефективних потужностей залежно від полярності дуги

Відомо, що при розрахунку ефективної потужності зварювальної дуги з електродами, що плавляться, полярність струму не враховується. У той самий час, як було показано вище, провар основного металу при зварюванні під флюсом вищий аніж дуга зворотної полярності, де у більшості випадків і ведеться зварювання.

У розрахунках провару це враховується за допомогою емпіричних коефіцієнтів, що залежать від полярності [2].

Різниця в проварах, обумовлена різним впливом потужності, що передається виробу з електродного металу, на проварі порівняно з потужністю від приелектродної області дуги.

Тому провар при зварюванні електродом, що плавиться, доцільно було б представляти як суму проварів від двох джерел тепла з різними параметрами розподілу.

Проте така фізична модель раніше аналітично не досліджувалась.

До труднощів створення такої моделі належать невизначеність параметрів зосередженості джерел тепла. Для їх призначення поки що недостатньо інформації. Ще однією складністю є необхідність урахування занурення дуги у зварювальну ванну. Хоча подібні моделі вже досліджувалися стосовно зварювання електродами, що не плавляться можливі також і стосовно зварювання електродом, що плавиться.

На цьому етапі доцільно встановити принципову правильність самого підходу до обліку відмінності впливу електродного металу на провар при зварюванні.

З цією метою були проаналізовані коефіцієнти пропорційності між струмами та проварами на різних полярностях, наведені в літературних джерелах шляхом розрахунку їхніх відносин. Ці співвідношення справедливі для двостороннього зварювання пластин.

Таблиця 3.3 – Співвідношення емпіричних коефіцієнтів пропорційності між струмом та проваром

Діаметр електрода	К/К~	Кп/К~	К/Кп
	Флюс ОСЦ-45		
2	1,116	0,885	1,261
3	1,130	0,826	1,368
4	1,095	0,81	1,353
5	1,158	0,789	1,47
Середнє для ОСЦ-45	1,125	0,828	1,363
Флюс АН-348А			
2	1,12	0,92	1,217
3	1,136	0,864	1,316
4	1,1	0,9	1,22
5	1,105	0,895	1,235
Середнє для АН-348А	1,115	0,895	1,247
Середнє для 2-х флюсов	1,12	0,862	1,305

Похначення:

К/К~ – співвідношення проварів на зворотній полярності та змінному струмі;

Кп/К~ – теж для прямої полярності;

К/Кп – співвідношення проварів на зворотній та прямій полярності.

Таким чином, на зворотній полярності забезпечується провар у середньому на 30% більший, ніж на прямій. Приблизно таке співвідношення повинна забезпечувати методика розрахунку провару для прямої та зворотної полярностей.

Для реалізації може бути запропонований, зокрема, такий підхід. Відомо, що вольтів еквівалент ефективної анодної потужності, визначений за коефіцієнтом плавлення електрода при нульовому вильоті, близький до $U_{ca} = 6$ Вт/А і практично не залежить від струму. У той самий час сумарний вольтний еквівалент приелектродних областей дуги становить приблизно 22 Вт/А і дорівнює сумі приелектродних падінь напруги [7].

Ця сума порівняно легко визначається з допомогою досліду короткого замикання дуги.

Отже, вольтів еквівалент катодної області може бути прийнятий $U_{ек} = 16$ Вт/А.

Далі було зроблено припущення, що виробу передається 100% потужності його приелектродної області.

Частка потужності, що вноситься іншими областями, повинна визначатися розрахунковим шляхом на основі експериментальних даних.

Можна лише стверджувати, що ця частка також має бути однаковою та не залежати від полярності дуги.

В результаті отримали прості формули для визначення вольтового еквівалента наведеної ефективної потужності дуги під флюсом:

- на зворотній полярності

$$U_z = U_{ек} + \varphi(U_\delta - U_{ек}); \quad (3.3)$$

- на прямій полярності

$$U_n = U_{ea} + \varphi(U_\delta - U_{ea}). \quad (3.4)$$

Коефіцієнт φ оцінюється з урахуванням експериментальних даних. Його можна назвати коефіцієнтом ефективності передачі потужності від електродного металу та стовпа дуги виробу.

Якщо запропонований підхід правильний, значення коефіцієнта нічого не повинні залежати від полярності дуги.

Це зумовлено однаковим механізмом передачі енергії цієї складової за різної полярності дуги.

Отримані значення U_o і U_n можна назвати наведеними вольтовими еквівалентами ефективної потужності зворотної дуги і прямої полярності відповідно.

Результати розрахунків ефективних потужностей та їх співвідношень при $\varphi = 0,4$ наведено у табл. 3.4

Таблиця 3.4 – Розрахункові співвідношення ефективних потужностей прямої (ПП) та зворотної (ЗП) полярності

d , мм	I_0 , А	Полярність	q_u , кВт	q_o/q_n
2	300	ЗП	6.55	1.38
		ПП	4.75	
3	500	ЗП	8.89	1.37
		ПП	6.49	
4	700	ЗП	17.22	1.32
		ПП	13.02	
5	900	ЗП	23.08	1.31
		ПП	17.68	

З даних таблиці робимо висновок, що даний підхід цілком працездатний, відношення ефективних потужностей відповідає співвідношенню проварів при двосторонньому зварюванні пластин.

Для подальшого уточнення методики потрібна математична модель проплавлення виробу при двосторонньому зварюванні.

Коефіцієнт свідчить про те, що складова потужності від електродного металу впливає на провар в 2,5 рази менше, ніж потужність приелектродних областей.

Таким чином, провар від дуги під флюсом зворотної полярності в середньому на 30% вище від провару від дуги прямої полярності.

Запропоновано один з варіантів методики розрахунку частки ефективної потужності, що вноситься у виріб приелектродною областю за вольтовими еквівалентами електрода, що забезпечує облік різниці проварів при різних полярностях дуги.

Коефіцієнт корисної дії загальної потужності електродних крапель і стовпа дуги, що дає задовільний збіг відношення досвідчених значень проварів та ефективних потужностей становить приблизно 40%.

За допомогою такої методики можна розраховувати провар та температури при зварюванні за схемою точкового джерела тепла на поверхні плоского шару.

3.3 Метод розрахунку провару при зварюванні під флюсом за допомогою емпіричних формул

При зварюванні конкретної марки сталі провар залежить від порівняно невеликої кількості факторів. Якщо розглядати двостороннє зварювання стикових з'єднань без оброблення кромки, що зварюються, то можна прийняти, що для будь-якої товщини провар повинен становити 0,6 від зварюваної товщини. При цьому завжди необхідна для зварювання ефективна потужність залежатиме від цієї товщини. Іншим найважливішим параметром процесу є швидкість зварювання V_s . Великий вплив на провар, має діаметр електродного дроту. Однак облік ролі діаметра виконаємо пізніше.

Задамо залежність ефективної потужності від параметрів процесу як функції

$$q = A(V_s \delta)^n, \quad (3.5)$$

де δ – товщина пластин, що з'єднуються, см;

A, n – коефіцієнти, які мають визначатися з урахуванням експериментів.

Оскільки формула містить два невідомі коефіцієнти, то необхідно проведення двох незалежних дослідів і складання на їх основі системи двох рівнянь.

Приймаємо діаметр електрода 4 мм. В довідниках розглядалися режими, що забезпечують провар 60% від товщини пластини.

Так як на максимальному струмі 650 А провар становив 5,8 мм, виконували апроксимацію дослідних даних проварів.

В результаті отримали струм $I_d = 750$ А, що забезпечує провар 7,2 мм.

Коефіцієнт корисної дії дуги при розрахунках ефективної потужності приймали 0,9.

Для вирішення системи рівнянь використовували комп'ютерну програму апроксимації степеневих функцій.

Результати визначення коефіцієнтів зведемо в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку коефіцієнтів A та n

$\delta, \text{см}$	$V_c, \text{см/с}$	$q_u, \text{кВт}$	$H, \text{мм}$	A	n
1,6	0,67	19,8	9,5	17,62	1,68
1,2	0,83	17,5	7,2		

За отриманими коефіцієнтами розраховували значення необхідних потужностей при зміні параметра $V_c\delta$

Таблиця 3.6 – Залежність ефективної потужності параметра $V_c\delta$

$V_c\delta, \text{см}^2/\text{с}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	2,0
$q, \text{кВт}$	5,5	7,5	9,7	12,1	15,0	20,7	23,9	27,4	34,8	56,4

Наприклад, для діаметра електрода 4 мм співвідношення коефіцієнтів провару на зворотній та прямій полярності становить $K_z/K_n = 1,353$ для флюсу ОСЦ-45 і $K_z/K_n = 1,22$ для флюсу АН-348А.

Середнє значення $K_z/K_n = 1,29$.

Отже, якщо зварювання ведеться на прямій полярності, розрахункову ефективну потужність необхідно збільшити в 1,29 рази.

Позначимо $K_z/K_n = \beta$. У разі використання дуги з різнополярними імпульсами струму значення цього коефіцієнта необхідно коригувати за формулою:

$$K_p = \beta\varepsilon + \beta(1 - \varepsilon) \quad (3.6)$$

де K_p – коефіцієнт зміни ефективної потужності залежно від частки прямої полярності;

ε – частка полярності.

Для визначення впливу діаметра електрода на провар також представимо залежність відносин коефіцієнта провару на зворотній полярності від діаметра електрода у вигляді степеневої функції:

$$\beta = BD^m \quad (3.7)$$

де B та m – коефіцієнти.

Значення коефіцієнтів B та m визначимо окремо кожної марки флюсу. ОСЦ-45.

Таблиця 3.7 – Коефіцієнти залежності від діаметра електрода

	Значення β				
D, мм	2	3	4	5	Коефіцієнт
Розрах.	1,261	1,368	1,353	1,47	$B = 1,143$
Дослід	1,264	1,341	1,399	1,445	$m = 0,146$

Збіжність дослідних та апроксимуючих значень висока.

У той самий час залежність проварів від діаметра електрода менш велика.

4 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

4.1 Автоматичне зварювання щитка

На щитовій покрівлі(рисунок 4.1) застосовуються накладні, стикові і кутові шви, деякі шви мають низьку протяжність та їх автоматичне зварювання під флюсом не завжди ефективне, зважаючи на велику тимчасову витрату на встановлення зварювального трактора та малої мобільності обладнання та проблемами струмопідводу у віддалені місця.

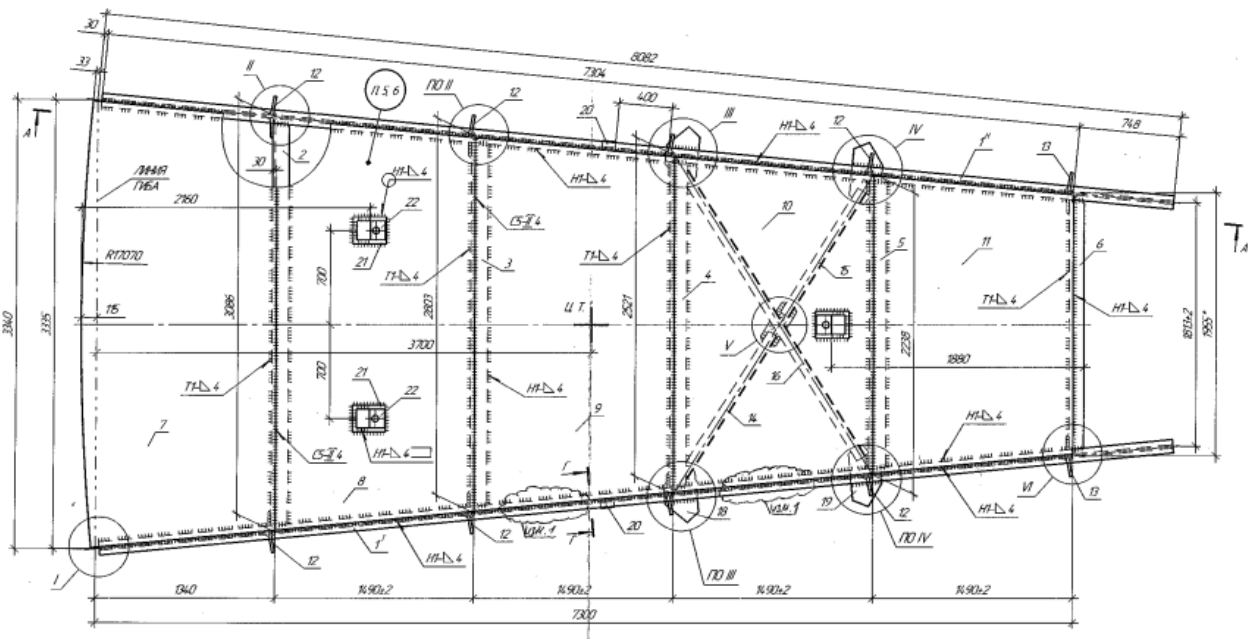


Рисунок 4.1 – Креслення щитка

Використання більш мобільних автоматичних установок значно скоротило б час налагодження обладнання та збільшило швидкість зварювання.

Однак, як показала практика, при зварюванні покрівлі, розмір якої в довжину перевищує 5 метрів, застосування автоматичного та роботизованого зварювання поздовжніх та поперечних швів настилу дуже доцільна [16]. Для прикладу візьмемо ТП широкого щита резервуара об'ємом 10000 м³.

Зварювання цього виробу вдалося роботизувати як повністю, так і частково. Довжина зварних швів, які зварюються таким методом близько 27 метрів.

У першому випадку зварювання проводитиметься складання та наступне зварювання каркаса внутрішньої частини каркаса щита. Далі щит перевертається та проводиться зварювання

Автоматичне (роботизоване) зварювання настилу. При цьому використовувалося наступне обладнання:

- зварювальні випрямляч ВДМ-1200,
- два трактори ТС-16 підключених за схемою багатопостового підключення.

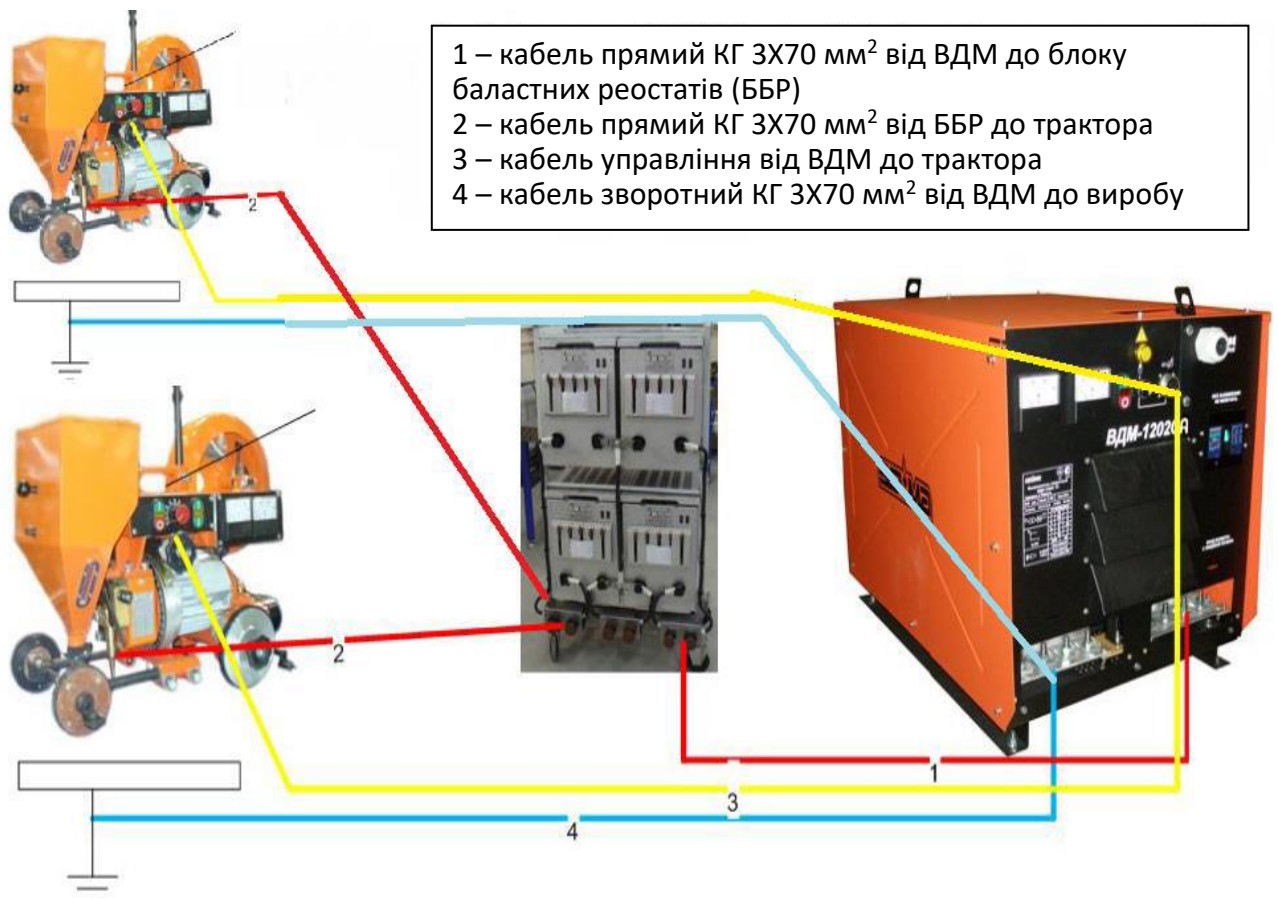


Рисунок 4.2 – Схема підключення зварювальних тракторів

Зварювальний трактор ТС-16 в комплекті з джерелом зварювального струму призначений для автоматичного зварювання під шаром флюсу різних типів з'єднань (стикових, нахльосткових, кутових, «в човник») з обробкою і без країв краєм прямим і похилим електродом. Для виконання прямолінійних швів. У процесі роботи трактор пересувається по виробу або за укладеною на нього лінійкою.

Таблиця 4.1 – Характеристики зварювального трансформатора ВДМ-1200С

Найменування	Значення
Напруга живлення мережі	380 В/50 Гц
Кількість фаз	3
Номінальний струм, що випрямляється	1200 А
Номінальна робоча напруга, не менше	60 В
Зовнішня характеристика	Жорстка В
Напруга холостого струму, не більше	70
Кількість постів	4
Коефіцієнт одночасності роботи	1
Номінальний зварювальний струм одного посту, (ПВ%)	300 А (60%) А
Споживана потужність, не більше	85 кВт
Коефіцієнт корисної дії, щонайменше	90%
Режим роботи	Тривалий
Діаметр електрода	2...6 мм
Кліматичне виконання та категорія розміщення	У3
Виконання за ступенем захисту	IP22 мм
Габаритні розміри	410x780x680
Маса	180 кг

Таблиця 4.2 – Характеристики зварювального трактора ТС-16

Найменування параметра	Значення
Напруга живлення електродвигуна зварювального трактора, частота 50 Гц,	3x36
Напруга живлення БПСА (для ТС-16-1),	380
Діаметр електродного дроту, мм	2,0-5,0
Швидкість подачі електродного дроту, м/год	52-403
Швидкість зварювання, м/год	16-126
Діапазон плавного регулювання кута нахилу зварювальної головки в площині, перпендикулярній шву, град.	± 45°
Потужність електродвигуна, Вт	370
Місткість касети для дроту, кг, не менше	15
Місткість бункера для флюсу, дм³	6,5
Габарити трактора, мм	716x346x540
Маса трактора (без флюсу та дроту), кг	45
Габарити блоку керування, мм	370x215x215
Маса блоку керування, кг	10

У таблиці наведено типові режими зварювання, проте як відмічено раніше відхилення режимів можуть траплятися в різні боки 10-20%.

Оскільки зварювання проводилося на струмах 400–500А, вдалося використати одне джерело живлення на два трактори, при цьому на тракторах було встановлено однакові режими зварювання (швидкість зварювання, швидкість подачі дроту)

Два трактори виставлялися один навпроти одного, і запускалися для зварювання накладного стику настилу та балки

Таблиця 4.3 – Режими зварювання

Товщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Номер шару	Рід та полярність струму	Зварювальний струм, А	Напряуга дуги,в	Швидкість подачі дроту, м/год	Швидкість зварювання, м/год
3–10	3	1–2	Постійний зворотної полярності	450–600	34–36	145	25,5
10–12	4	1–2		600–650	36–38	90	29
12–14	4	1–2		600–650	36–38	90	29
16–18	5	1		600–650	32–34	57	29
		2-3					
19	5	1		700–750	36–38	66	29
		2-3		600–650	32–34	57	29
				700–750	36–38	66	29

Однак, мінусом даного способу зварювання є значне збільшення катета зварного шва. Зумовлено це тим, що відбувається зварювання різнотовщинних елементів, настил має товщину 4 мм, а полиця балки 20Б1 8 мм.

Відповідно катет зварного шва допускається трохи більше 5мм, фактичне значення 12 мм і більше (рис. 4.3).

Таке збільшення обумовлено тим, що кромка настилу в певний момент зварювання, що вже оплавилася, тоді як балка тільки починає прогріватися і оплавлятися через більшу товщину. Розплавлений метал із настилу починає «натікати» на менш розігріту балку.

Натікання металу можна уникнути, якщо робити зварювання «в човник» і більш тонким зварювальним дротом, але тут з'являється ризик обсіпання флюсу.



Рисунок 4.3 Зварні шви після автоматичного зварювання

Ще одним мінусом є велике тепловкладання при зварюванні. Дах резервуара є сферичним і балка завальцована під певний радіус. Відбувається термічна усадка металу, який раніше підданий розтягуванню і стрілка – параметр, яким визначається величина вальцювання, зменшується на 10–20 мм. Що є пороговим значення, тому що допуск на цей параметр 15 мм.

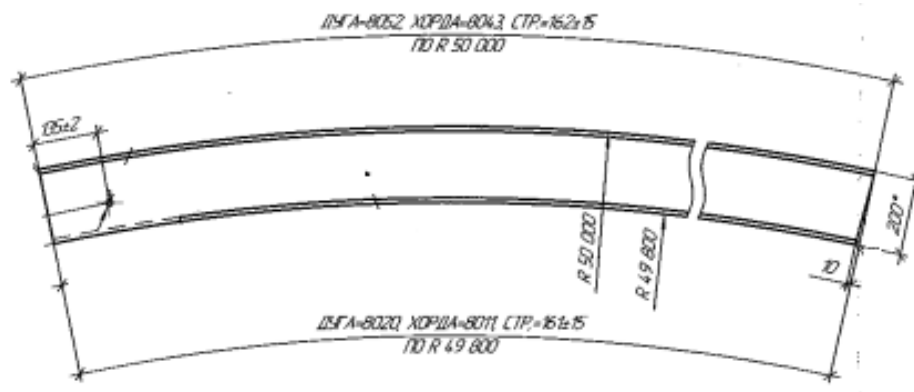


Рисунок 4.4 – Вальцювання балки

Виправлення такого дефекту можливе термічною правкою, або попереднім збільшення прогину на певну величину усадки. Всі ці заходи не є трудомісткими і будуть дуже виправдані, оскільки якість зварних швів, одержуваних після автоматичного зварювання, є високою, такі шви не вимагають подальшого доопрацювання і в них практично відсутні дефекти (підрізи, нерівномірна лускатість) на відміну від механізованого зварювання.

Виготовлення резервуару починається з підготовки напівфабрикатів із профільного та листового металевих прокату. Профільні деталі, як швелер, куточок і балка двотаврова можуть бути виготовлені зварним способом.

Для виготовлення балки, необхідна спеціалізована технологічна лінія, яка включатиме:

- машини для розкрою листового металу;
- складальні пристрої для отримання заготовки;
- автоматизовані колони зварювання під флюсом;
- стенди для виправлення грибоподібності балки.

При цьому роботизованою частиною буде зварювання та подальше виправлення балки.

Зварювання проводилося на наступних режимах:

- напруга: 33 В;
- швидкість зварювання: 80 см/хв;
- швидкість подачі дроту: 125 см/хв.

При зварюванні на даних режимах вдалося отримати повне проплавлення заготовок завтовшки 8мм тавровим швом ТЗ.

Для зварювання використовувалася колона фірми ESAB MECHTRAC 3000 разом із джерелом живлення ARISTO 1000 AC/DC SAW. Управління параметрами здійснюється за допомогою цифрових контролерів.

Mech Trac може бути гнучким та швидким способом підвищення продуктивності зварювання. Mech Trac є рамою напівкозлового типу, на якій можна змонтувати обладнання A2 для проведення зварювання під флюсом або в середовищі захисних газів MIG/MAG, утворюючи комплектну зварювальну установку.

Якщо необхідно виконувати кільцеві шви на виробі, що обертається, то можна застосувати аргано-дугове зварювання неплавким електродом (TIG) або плазмове зварювання. Mech Trac може використовуватися для зварювання різних виробів, які можуть розміститися у просторі під рамою напівкозлової. Можна зварювати балки різних профілів (1-, Т-, L-перетину), колони або конічні балки.



Рисунок 4.4 – Зварювальна колона фірми ESAB MECHTRAC 3000

Залежно від розміру виробу Mech Tgas має чотири типорозміри: відстань між опорами 1730 мм, 2100 мм, 2500 мм та 3000 мм. Висота опор однакова всім типорозмеров.

Відстань по висоті між верхньою поверхнею рейки підлоги і нижньою поверхнею опорної балки — 1500 мм. Конструкція рам розрахована на кріплення двох зварювальних головок А2 (220 кг) з одним або двома механізмами подачі дроту в комплекті із системою стеження по стику GMH та системою рециркуляції флюсу OPC.

Встановлюється контролер РЕК для технологічних процесів А2-А6 та зварювальне обладнання для автоматизованого дугового зварювання під флюсом (SAW) або зварювання металевим електродом у газовому середовищі (GMAW).

Особливості та переваги:

1. Зварювання різних профілів, таких як І-, Т- або L-балки, прямі колони або конусні колони

2. Випускається чотири моделі (залежно від ширини порталу): 1730 мм, 2100 мм, 2500 мм або 3000 мм
3. Усі моделі контролера мають стандартну висоту опор порталу, що дорівнює 1500 мм.
4. Рейси, що встановлюються на підлозі, мають стандартну довжину 3 м (118 дюймів) і можуть легко подовжуватися.
5. Як стандарт використовуються двопривідні двигуни.
6. Швидкий та гнучкий спосіб підвищення продуктивності зварювання довгих прямих зварювальних швів. Дозволяє у найкоротший термін налагодити масштабне виробництво таких виробів як балки, колони, трубошпунт та ін.
7. Оснащений блоком керування А2-А6 РЕК та зварювальними головками А2 для автоматичного дугового зварювання під флюсом (SAW) або зварювання в середовищі захисних газів (GMAW).



Рисунок 4.5 – Джерело живлення ARISTO 1000 AC/DC SAW

Зварювальне джерело Aristo® 1000 AC/DC розроблено на базі унікальних запатентованих технологій для забезпечення найкращих зварювальних характеристик за мінімальної витрати електроенергії. В результаті це джерело дозволяє виконувати більший обсяг зварювання на одиницю витрати електроенергії. Aristo® 1000 AC/DC призначений для роботи з цифровим контролером РЕК та з надійними механізмами подачі дроту А2/А6.

Універсальний інвертор підключається до трифазної мережі напругою від 380 до 575 В, 50 або 60 Гц.

Установки зварювання змінним струмом.

Моделювання профілю Шва (Bead Profile Modelling™ (запатентована функція) Aristo 1000 AC/DC забезпечує повне керування установками зварювальних параметрів для зварювання на змінному струмі. Шляхом встановлення частоти змінного струму, балансу та симетричності форми коливань можна оптимізувати глибину проплавлення, величину тепловкладень, швидкість наплавлення, стабільність дуги та кристалізацію розплаву, необхідні для конкретних умов зварювання

Швидкий перехід із постійного на змінний струм. Зменшення часу простоїв та зниження дефектів зварювання. Перехід від зварювання на постійному струмі на зварювання змінного струму здійснюється простим натисканням кнопки без зупинки процесу «на льоту» («on the fly» - запатентована функція).

Можливість збільшення потужності За необхідності збільшити зварювальний струм два джерела Aristo® 1000 AC/DC можна легко з'єднати для синхронізованої паралельної роботи.

Джерело призначене для виробництв з важкими режимами роботи. Клас захисту IP 23.

Довгі зварювальні кабелі. Запатентована технологія Cable Boost™ дозволяє накопичувати енергію та за потреби негайно видає додатково до 450% енергії. Cable Boost дозволяє збільшити граничну довжину зварювальних кабелів більш ніж удвічі без погіршення якості зварювання.

Технологія Cable Boost™ зменшує витрати енергії. Індуктивна енергія, що накопичується у зварювальних кабелях, додатково використовується у зварювальному процесі замість того, щоб витрачатися на марне нагрівання кабелів і втрату енергії.

Дистанційне керування функцією вкл/викл (on/off) – інша можливість економити електроенергію.

Декілька зварювальних джерел, розташованих на відстані, можуть керуватися дистанційно і легко вимикатися для економії електроенергії.

Віддача потужності та менше споживання струму. У конструкції джерела застосовані лише сучасні енергозберігаючі компоненти, що знижує вартість встановлення та експлуатації.

Основні функції:

1. Електрошлакове зварювання (ESW).
2. Зварювання під шаром флюсу (SAW).
3. Зварювання MIG/MAG в активних та інертних газах.

4.2 Методи проведення дослідження неруйнівного контролю зварних з'єднань

На сьогоднішній день широко застосовуються методи та засоби неразруш. контролю (НК) виробів у машинобудуванні, здатні перевіряти якість зварних з'єднань, не руйнуючи їх працездатність надалі. Під час дослідження фіз. хар-ік матеріалів та виявлення внутрішніх та зовнішніх дефектів, є основною причиною цих змін, становить фіз. основу методів ПК.

Перевагами методів неруйнівного контролю є хороша надійність та точність контролю, ймовірність застосування неруйнівного контролю у поетапному контролі деталей, ймовірність застосування методів неруйнівного контролю під час експлуатації, порівняно прискорений процес контролю та ін.

Кожен метод ПК класифікується за 3-ма ознаками, що відрізняються, через це кількість методів ПК досить багато. У роботі вказані методи ПК, які досить повно описують можливості того чи іншого виду ПК у поняття якості деталей. У ряді галузей промисловості методи неруйнівного контролю мають більшу частину в технології виготовлення деталі, а витрати на проведення контролю дорівнюють витратам виготовлення деталі.

Види дефектів. Виготовлення деталей на виробничих майданчиках зварюально-складальних вузлів часто виявляються дефекти, які можна характеризувати та виділити як дефекти, пов'язані з електродуговою зварюванням:

- дефекти геометрії зварного шва;
- зовнішні внутрішні дефекти.

До дефектів при підготовці та складання-зварювання є:

- неправильний кут фаски зварного шва;
- нерівномірне притуплення фаскою;
- нерівномірний зазор між крайками по довжині стику;
- не паралельність стикових з'єднань;
- брудні кромки з'єднання.

Дефекти у зварювальних швах обумовлюються зміною геометрії форми та розміру зварного шва, зазначених у НД.

При зварюванні зварних з'єднань різними методами, зварні шви мають різні геометричні розміри, опуклості, провали. Подібні дефекти знижують міцність зварного з'єднання та призводять до появи гарячих чи холодних тріщин.

Поверхневі дефекти це - напливи, підрізи в основному металі, незаплавлені кратери, наскрізні пропали. Напливи з'являються в результаті скочування розплавленого матеріалу на не розплавлений матеріал без сплавлення з цим матеріалом.

Підрізи – це лиски в основному матеріалі, що знаходяться по краях зварного шва. Глибина підрізу варіюється від десятків до пари мм. Вони скорочують основну товщину пластини, і можуть створити напруги від застосовуваних навантажень і бути причиною руйнування зварного шва під час експлуатації. Підрізи в зварних швах а саме в кутових та стикових, що знаходяться перпендикулярно дії на них сил, що призведе до зменшення вібраційної міцності.

Кратер – це заниження, що виявляються в кінці зварного шва прирізкої зупинки зварювального процесу. Розмірність кратерів залежить від різної величини зварювального струму і переважно коливаються 3мм - 20мм.

Не заварені кратери зменшують міцність шва, при впливі навантаження під час вібрації.

Пропали – дефект у вигляді наскрізного отвору у зварювальному шві, часто всього з'являється при зварюванні сталі маленької товщини і у верхніх шарах багат шарових зварних швах, і при зварюванні за технологією знизу з підйомом на вертикальних зварних швах.

Внутрішніми зварними дефектами є пори, тріщини, а також непровари, шлакові включення та несплавлення.

Пори – це порожнечі, заповнені газом з розмірами $\varnothing 0,1$ мм – $\varnothing 3$ міліметра. Пори, що піднімаються на поверхню, бувають також більшими розмірів. Багатьма причинами однакової внутрішньої пористості має забрудненість зварюваного з'єднання за фасками стику, застосування зволоженого зварювального флюсу або сирих зварювальних електродів ймовірність поява газових пор при зварювальному процесі алюмінію також титану об'єми, наповнені не металевими речовинами, так само оксиди.

Шлакові включення у широкому розумінні поділяють на два види мікроскопічні і макроскопічні, форми: круглі та кулясті, а також плоскі на кшталт плівки або довгасті за формою витягнутих «хвостів» у вигляді пір, шлакових включень вони мають великі розміри, у зв'язку з цим вони добре виявляються за допомогою магнітного та ультразвукового методу контролю. Оксидні плівки з'являються майже у всіх способах зварювання, причинами їхньої появи такі ж, як і поява шлакових включень.

Несплавлення, непровари – це вид дефектів, що виникають у зварному шві причиною неповного розплавлення зварних кромок та поверхонь перших валиків у багат шаровому зварному шві непровари виразно виявляються ультразвуковим контролем.

Тріщини це часткова руйнація у зварному шві або з'єднанні через невеликий розрив металу, вони є небезпечним видами дефектів для чинних нормативних документів – недопустимими. Так само розрізняють явище гарячих і холодних тріщин у зварних сполуках, що містить відмінну фізичну природу появи та різні розміри ось тому не однаково відображають ультразвукові коливання через це по-різному виявляються під час проведення контролю.

Головні дефекти у зварних з'єднаннях, здійснених контактним дуговим зварюванням, так само діляться як зовнішні та на внутрішні, рис. 4.6.

Методика ПК. Інноваційне машинобудування, а також ракетобудування, необхідні високі вимоги до матеріалів з високим якістю, та до виготовлення високоточних деталей, складально-зварювальних вузлів.

Дані вимоги необхідні при постійно виникають напруженими умовами постійної роботи конструкцій. На сьогоднішній день в конструкціях авіа апаратів більша частина використовується при підвищених статичних навантажень.

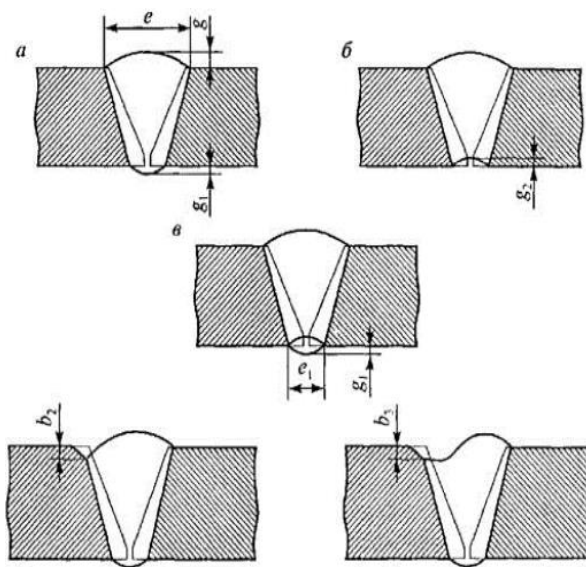


Рисунок 4.6 – Геометрія зварних швів

При магнітних властивостях металу форми і розміри контрольованих деталей використовують 2 способи:

- 1) спосіб прикладеного магнітного поля;
- 2) спосіб залишкової намагніченості.

Відомості про магнітну проникність та зміну відповідно до напруженості магнітного поля обчислюють за допомогою котушки індуктивності.

Радіохвильовий метод неруйнівного контролю необхідний реєстрації фіксації змін, необхідних для параметрів електромагнітні хвилі. В основному використовують хвилі надвисокої частоти в межах від 1...100 міліметра та перевіряють вироби з виготовлених матеріалів.

Ємнісний вид використовують для проведення контролю діелектричних а так само напівпровідникових матеріалів у виріб. З перетворення діелектричної проникності зв'язують напівпровідників, за наявності в них порожнин, вологість у матеріалах. Даний вид застосовують для контролю певної товщини провідного шару у напівпровідників, на присутність у них порожнин.

Інформативними параметрами вважається амплітуда та фаза з вектором поляризації, так само частота та необхідний час поширення коливань у матеріалі. Капілярні способи та методи це проникнення рідини в порожнечі дефектів досліджуваних сполук. Призначені дані знайшли своє застосування при виявленні погано видимих зритих поверхонь. Методи течії – це виявлення наскрізних дефектів в судинах.

Речовина, що використовується, проникає порожнечі дефекту і за рахунок дії капілярних сил і тиску йде процес витягування рідини на поверхню шва. Процес фіксується за рахунок виділення рідини з зворотного боку виробу. Вибираючи даний метод контролю, що не руйнується, завжди потрібно розглядати характер можливості певного дефекту та його розташування, налаштування чутливості.

Візуальний та вимірювальний контроль це метод ПК, він заснований на сприйнятті людського ока видимих дефектів. Для проведення необхідні найпростіші вимірювальні пристрої як: рулетка, лупа. За допомогою даних вимірювальних пристроїв можна виявити: корозійні місця, тріщини на поверхні, поверхневі дефекти та ін. За допомогою збільшувальних пристроїв дозволяє більше широко розглянути те, що людське око не бачить.

Комплект візуально-вимірювальний призначений:

- вимірювання основного матеріалу;
- вимірювання зварних з'єднань;
- вимірювання наплавок;
- вимірювання деталей;
- вимірювання складальних одиниць;
- вимір поверхневих дефектів;

- вимірювання зазорів;
- вимір розмірів кромок;
- вимірювання геометрії зварних швів;
- вимірювання конструкційних елементів.

При візуальному та вимірювальному контролі застосовують: лупи, лінійки, косинці, штангенциркулі, щупи, кутоміри, стінкомери та товщиноміри, мікрометри, нутроміри, калібри, ендоскопи, шаблони, повірочні плити.

Основні вимоги до вимірювань зварних з'єднань, та застосовуваний необхідний інструмент, зазначений у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Вимоги до вимірювань ВІК зварних з'єднань

Контрольований параметр зварного шва	Засоби вимірів. Вимоги до вимірів
Ширина зварного шва	Штангенциркуль або шаблон. універсальний
Висота зварного шва	
Випуклість зворотної сторони зварного шва	
Увігнутість зворотної сторони зварного шва	Штангенциркуль, у тому числі модернізований Вимірювання в 2 - 3 місцях у зоні максимальної величини
Глибина підрізу основного металу	Штангенциркуль, у тому числі модернізований Пристрій для вимірювання глибини підрізів
Катет кутовий зварний шов	Штангенциркуль або шаблон
Луска зварного шва	Штангенциркуль, у тому числі модернізований не менш ніж у 4 точках по довжині шва валиками зварного шва
Глибина западань між вимірами	
Розміри одиночних несрівностей	Лупа

Неруйнівний контроль та його результати представлені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати неруйнівного контролю

Види випробувань	Зварне з'єднання дротом Ø3 мм	Зварне з'єднання дротом Ø4мм
Візуально вимірювальний контроль	дефектів - не виявлено	дефектів - не виявлено

У таблиці наведено параметри зварного з'єднання, що перевіряються і засоби вимірів за вимогами до їх вимірів.

5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1.1 Фактори, які впливають на кількість надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру

На думку фахівців існують різні фактори які призводять до зростання кількості НС природного характеру, а саме:

- 1) Зростання чисельності населення;
- 2) Застосування технологій виробництва і засобів життєзабезпечення, вразливих для впливу природних сил;
- 3) Вплив людини на середу який підвищує її потенційні небезпеки;
- 4) Заселення свідомо небезпечних територій;
- 5) Високий ступінь урбанізації (зростання чисельності міського населення);
- 6) Висока вразливість міст дії нових небезпечних процесів техногенного плану;
- 7) Глобальне потепління і зростання кліматичних небезпечних процесів та інші.

Зі зростанням чисельності населення Землі зростає число жертв від природних катастроф зокрема від землетрусів. Стрімке зростання населення планети змушує освоювати малопридатні для проживання і господарювання площі, а часто і просто небезпечні ділянки: схили гір і пагорбів, заплави річок, заболочені і прибережні території.

Ситуація часто посилюється тим, що в країнах, що розвиваються при освоєнні таких земель, як правило, не ведеться належної інженерної підготовки, не створюється необхідна інфраструктура, використовуються конструктивне недосконалі проекти будинків і споруджень. Вплив людини на літосферу веде до змін у природному середовищі, сприяє розвитку ряду небезпечних процесів,

породжує нові (природно-техногенні) процеси і явища серед яких особливу небезпеку становлять наведена сейсмічність, опускання територій, підтоплення, карстово-суфозійними провали, техногенні геофізичні поля.

За оцінками ООН, чисельність міського населення світу в 2021 році досягла 4,2 мільярда чоловік, або 55% від загальної чисельності світового населення. В середині минулого століття міське населення світу налічувало трохи більше 750 мільйонів чоловік, а сільське -1785 мільйонів чоловік, або в 2,4 рази більше.

Населення світу було переважно сільським: в сільських поселеннях проживало близько 70% населення світу, в міських поселеннях -30%. Швидка урбанізація світу привела до того, що в 2007 році була подолана історично важлива віха-вперше за всю історію людства чисельність міського населення перевершила чисельність сільського населення (3363 проти 3343 мільйонів чоловік).

У наступні роки міське населення продовжувало зростати випереджаючими темпами. У порівнянні з 1950 року народження, чисельність міського населення світу збільшилася до 2021 року в 5,6 рази, сільського – в 1,9 рази, а в порівнянні з 2007 роком, відповідно, на 25% і на 2%.

Очікується, що до 2030 року, до якого світова спільнота намітило досягти прийняті в 2015 році Цілі сталого розвитку, міське населення світу збільшиться ще майже на мільярд чоловік, або на 22% – до 5,2 мільярда чоловік. Таким чином, воно досягне того ж розміру, що населення світу (міське і сільське) в кінці 1980-х років. До середини століття міське населення світу може досягти 6,7 мільярда чоловік.

Як правило, при визначенні причин виникнення аварій та техногенних катастроф виділяють фактори технічного, технологічного й організаційного характеру, або їх поєднання. Як уже було відзначено вище, вагомий внесок у провокування виникнення природних катаклізмів збільшення їх масштабів вносить застосування технологій виробництва і засобів життєзабезпечення, вразливих для впливу природних сил.

В процесі вдосконалення автоматизованих систем управління позначилася загальна тенденція зростання частки людських помилок при виникненні аварійних ситуацій. У 1993 році Erik Hollnagel провів дослідження літератури, присвяченій ролі людського фактору в різних галузях промисловості.

Він встановив, що в 1960 році, коли до цієї проблеми було вперше залучено серйозну увагу, оцінка вкладу людських помилок в розвитку аварійних ситуацій складала в середньому близько 20%. У 1990 році частка людських помилок зросла в 4 рази і склала 80%.

Автоматизація контролю і управління складними процесами, розвиток комп'ютеризованих систем підтримки операторів в багатьох випадках не знизили, а посилили роль людського фактору, важливість і вплив людських помилок. Розробка складних комп'ютеризованих систем, їх обслуговування, координація взаємодії персоналу різних служб породили нові джерела людських помилок.

Рівень смертності в результаті техногенних катастроф, що відбулися за період з 1994 по 2003 рік в індустріально розвинених країнах становить 0.9 загиблого на 1 млн. жителів, для найменш розвинених країн – 3.1 смертельні випадки на 1 млн. жителів. Незважаючи на поширеність аварійних ситуацій через людський фактор, основною причиною служать механічні несправності.

5.2 Охорона праці

5.2.1 Фактори ризику для зварювальників

Зварювальні роботи — вид професійної діяльності підвищеної небезпеки. Не дарма до них допускаються лише після проведення попереднього інструктажу. В ході виконання зварювальних робіт мають місце не тільки фізичні, але і хімічні процеси, які несуть у собі реальну загрозу здоров'ю і життю людини у разі недотримання правил техніки безпеки.

Наприклад, УФ-випромінювання залишає опіки на руках і пальцях, обпікає очі при прямому впливі.

У процесі зварювання також виділяються випари, в яких містяться мікрочастинки розплаву металів. При потраплянні в організм, вони уражують органи дихання зварювальника і викликають отруєння. Крім того, висока ймовірність отримати сильний опік від бризок розплавленого металу.

Щоб уникнути опіків, отруєнь та інших травм у процесі виконання зварювальних робіт важливо не тільки дотримуватись елементарних правил техніки безпеки, але і розібратися у факторах ризику.

Незалежно від місця використання зварювального обладнання (у приміщенні або на вулиці), існує ризик отримати травму або опік. При цьому небезпека є як для самого зварювальника, так і людей, що його оточують. Тому користуватися засобами захисту повинен не тільки сам фахівець, але і його помічники.

Зварювальні роботи – вид професійної діяльності підвищеної небезпеки. Не дарма до них допускаються лише після проведення попереднього інструктажу.

В ході виконання зварювальних робіт мають місце не тільки фізичні, але і хімічні процеси, які несуть у собі реальну загрозу здоров'ю і життю людини у разі недотримання правил техніки безпеки.

Наприклад, УФ-випромінювання залишає опіки на руках і пальцях, обпікає очі при прямому впливі.

У процесі зварювання також виділяються випари, в яких містяться мікрочастинки розплаву металів. При потраплянні в організм, вони уражують органи дихання зварювальника і викликають отруєння.

Крім того, висока ймовірність отримати сильний опік від бризок розплавленого металу. Щоб уникнути опіків, отруєнь та інших травм у процесі виконання зварювальних робіт важливо не тільки дотримуватись елементарних правил техніки безпеки, але і розібратися у факторах ризику.

Незалежно від місця використання зварювального обладнання (у приміщенні або на вулиці), існує ризик отримати травму або опік.

При цьому небезпека є як для самого зварювальника, так і людей, що його оточують. Тому користуватися засобами захисту повинен не тільки сам фахівець, але і його помічники. Оскільки зварювальні роботи є процесом підвищеної небезпеки, існує безліч факторів ризику отримання травми:

- іскри, що утворюються у процесі зварювання, легко пропалюють всі види тканин, окрім спецзахисту. Це призводить до опіків різного ступеню тяжкості;
- бризки розплавленого металу пропалюють взуття зі штучних матеріалів;
- за розплавлення металу утворюються гарячі пари, які призводять до опіків очей або шкіри обличчя;
- під час викидання іскор у процесі зварювання можуть спалахнути горючі матеріали поблизу;
- ризик ураження електричним струмом у разі поганої ізоляції кабелю;
- шуми високого рівня, які генерує зварювальний апарат під час роботи;
- ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання;
- під час дугового зварювання випромінюється яскраве світіння, яке сліпить очі;
- під час плавлення металів у повітря виділяються випари з речовинами, які надають шкідливий вплив на органи дихання: свинець, хром, цинк, кадмій та інші;
- висока ймовірність отримання опіку через тепловий вплив пальника або електричної дуги.

Щоб уникнути будь-яких ризиків потрібне суворе дотримання стандартів безпеки. Загальні правила з техніки безпеки під час роботи зі зваркою:

1. Постійно контролюйте формування зварювального шва.
2. Огороджуйте робочу зону захистом висотою 1,8 метри, щоб зварювальна дуга не нашкодила випадковим перехожим.
3. На місці проведення робіт не має бути сміття та легкозаймистих предметів.
4. Використовуйте засоби захисту очей і обличчя.
5. Під час робіт на висоті використовуйте страхувальні пояси.

6. Пересувайте зварку тільки після повного припинення подачі електроживлення.

7. Слідкуйте, щоб зварювальні кабелі не скручувалися в процесі роботи.

8. Під час виконання кузовних робіт на автотранспорті обов'язково відключайте акумулятор.

9. Обов'язково носіть спеціальний одяг: краги з вогнетривких матеріалів, взуття зі шкіри та повсті, захисну маску і, у разі необхідності, респіратори і каску.

Навіть якщо ваша зварка може працювати у вологому середовищі, дана операція суворо заборонена. Працювати під дощем або в снігопад небезпечно!

Також не варто забувати, що в процесі плавлення металів утворюється інтенсивне випаровування шкідливих речовин. Тому робота за відсутності витяжної вентиляції є неприпустимою. У виняткових випадках можна використовувати спеціальні засоби захисту органів дихання, але лише нетривалий час. Робота з електричними схемами зварювального апарату вимагає підвищеної уваги. Щоб уникнути ураження струмом та отримання електричного опіку слід дотримуватися заходів безпеки:

- обов'язково перевірте заземлення зварювального обладнання перед його увімкненням;
- для освітлення рекомендується використовувати джерела з освітленням у 12 В;
- перевіряйте стан ізоляції кабелів і електродотримачів — на них не має бути тріщин, розривів та інших пошкоджень;
- перевіряйте надійність всіх контактів до початку робіт;
- живлення енергії повинно подаватися через розподільний щит зі встановленими запобіжниками.

Крім того, для забезпечення безпеки:

- довжина кабелю повинна бути не більше 10 метрів;
- різні з'єднання силового кабелю неприпустимі (за винятком контакту через муфтове з'єднання);
- значення напруги холостого ходу має бути не більше 90 В.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуті способи зварювання резервуарних металоконструкцій можливість роботизації зварювання тих чи інших ділянок виробничих ліній. У процесі виконання роботи:

- проведено аналіз вже використовуваних способів зварювання на базовому щодо їх удосконалення шляхом роботизації зварювання, експериментальне зварювання зразків, для розуміння загальної затребуваності та роботизації та шляхи її розвитку;

- оцінено наявність готових рішень у галузі роботизації та автоматизації зварювання з використанням сучасних джерел живлення для зварювання в середовищі захисних газів та під шаром флюсу для подальшого на виробничих ділянках та лініях;

- визначено найбільш можливі напрямки роботизованого зварювання, це зварювання серед захисних та активних газів комплектуючих резервуарів, а також РПІ імпульсне зварювання під флюсом основних конструкцій;

- запропоновано установки роботизованого зварювання, що дозволяє випускати різні великовузлові частини резервуарів з використанням різних способів зварювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Казновецький С.О., Тесля П.В. Процес зварювання неплавким електродом тонкостінних зварних виробів: тези доп. XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 11-12 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

