

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 поздовжнього стику

циліндричної частини ємкості з дослідженням міцності зварного

з'єднання

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

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Тесля П.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Паньків М.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ткаченко І.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)
« »
Окіпний І.Б.
(прізвище та ініціали)
2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

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

1. Тема роботи Удосконалення технології зварювання поздовжнього стику циліндричної частини ємкості з дослідженням міцності зварного з'єднання

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

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи . 20.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Існуючі технологічні процеси зварювання середньолегованих циліндричних деталей, методики аналізу зварних з'єднань на міцність

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

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів):
результати дослідження у вигляді таблиць, схем, графіків

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання *15 листопада 2024 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Тесля П.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Паньків М.Р.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тесля П.В. Удосконалення технології зварювання поздовжнього стику циліндричної частини ємкості з дослідженням міцності зварного з'єднання.

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 під шаром флюсу циліндричної частини ємності та дослідженням міцності зварного з'єднання.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи магістра є технологічний процес виготовлення циліндричної частини ємності та аналіз характеристик міцності зварного з'єднання.

Предметом дослідження є взаємозв'язок впливу параметрів процесу електродугового зварювання під шаром флюсу на показники якості міцності зварного з'єднання.

В результаті дослідження було розроблено технологію автоматичного електродугового зварювання під шаром флюсу циліндричної частини ємності, запропоновано схему розрахунку характеристик міцності зварного з'єднання при зварюванні під флюсом, проведено розрахунки параметрів і режимів зварювання.

Обсяг роботи складає 93 сторінки, 3 таблиці, 27 рисунків, 10 додатків, 25 бібліографічних посилань.

Ключові слова: зварювання, технологія, циліндрична частина, автоматичне зварювання, флюс, електрод, міцність, параметри, режими.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Аналіз способів зварювання та класифікація зварних напружень	8
1.2 Способи попередження напруження та деформації при зварюванні	18
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	21
2.1 Методика проведення досліджень	21
2.2 Дослідження залишкових напружень при виготовлені деталі ...	26
3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	32
3.1 Характеристика методу зварювання	
3.2 Розрахунок параметрів і режимів зварювання	46
3.3 Оцінка технологічної міцності зварного з'єднання	45
4. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	50
4.1 Зварювальні матеріали та обладнання	53
4.2 Пристрій для центрування, збирання та переміщення труб	53
4.3 Вимоги до контролю якості зварювальних робіт	
4.4 Устаткування для зварювання трійників труб	62
5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ	69
5.1 Безпеки в надзвичайних ситуаціях	69
5.1.1 Аварії з викидом або загрозою викиду небезпечних хімічних речовин	69
5.2 Охорона праці	71
5.2.1 Небезпечні та шкідливі фактори при зварюванні	71
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	76
ДОДАТКИ	79

ВСТУП

Актуальність роботи. В даний час зварювання є однією з найпоширеніших технологій для з'єднання металевих деталей у багатьох галузях сучасної промисловості, у тому числі й у будівництві. Її широке застосування обумовлено цілою низкою переваг, таких як зниження ваги конструкцій, скорочення термінів виготовлення виробів складної форми, великі можливості для механізації та автоматизації процесу.

Однак, поряд з перевагами, зварювання має і деякі недоліки, до яких можна віднести виникнення залишкових напружень і деформацій в зоні термічного впливу. Решткові деформації, що з'являються в результаті зварювання, ускладнюють процес складання великогабаритних конструкцій з окремих зварних блоків. Крім того, небажано застосування зварювання для термозміцненої сталі, а також сталі, зміцненої витяжкою, у зв'язку з розміщенням ділянки навколошовної зони.

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

Мета роботи – підвищення показників якості виготовлення зварних виробів шляхом розробки технології автоматичного електродугового зварювання під шаром флюсу циліндричної частини ємності та дослідженням міцності зварного з'єднання.

В кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналізи існуючих способів зварювання та розробити удосконалену технологію електродугового зварювання під шаром флюсу циліндричної частини ємності;
- дослідити основні характеристики міцності зварного з'єднання;
- провести розрахунки параметрів і режимів зварювання;
- розглянути питання безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення циліндричної частини ємності та аналіз характеристик міцності зварного з'єднання.

Предмет дослідження – взаємозв'язок впливу параметрів процесу електродугового зварювання під шаром флюсу на показники якості міцності зварного з'єднання.

Отримані результати. Запропоновано удосконалену технологію виготовлення та технологічний процес електродугового автоматичного зварювання під шаром флюсу циліндричної частини ємності.

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

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 93 сторінках машинописного тексту, що включає 27 рисунків і 3 таблиці.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз способів зварювання та класифікація зварних напружень

Зварювальні процеси – ефективний метод створення нероз'ємних сполук суднобудування. Вони дозволяють суттєво прискорити складальні операції при будівництві судна.

Однак, одним з найважливіших факторів, що впливають на ефективність його застосування, є формування при зварюванні залишкових напружень і деформацій, що істотно впливають на технологічність цих процесів.

Розширення або скорочення металу від нерівномірного нагрівання або охолодження, а також від структурних перетворень утворюють так звані власні, або внутрішні деформації та напруження при зварюванні. Вони існують у тілі без застосування зовнішніх навантажень.

Якщо температурні напруження в процесі нагрівання будуть вищими за межу плинності матеріалу, то після зняття нагріву в тілі залишаться залишкові напруження. [3]. Цей механізм їх утворення характерний для всіх процесів зварювання, пов'язаних з плавленням металу.

Інтерес до дослідження залишкових напружень у зварних конструкціях обумовлюється тим, що вони суттєво впливають на міцність та довговічність зварного з'єднання.

Як відомо, для пластичних матеріалів залишкові напруження практично не впливають на величину залишкових напружень, однак у умовах тендітного руйнування їх вплив може бути значним.

Зокрема, тендітному руйнуванню сприяє об'ємний напружений стан металу. Розтягуючі залишкові напруження знижують вібраційну міцність зварних конструкцій.

Якщо вони діють у зонах, де є концентрація напружень і неоднорідність механічних властивостей, то там насамперед виникають різні види руйнування від втоми.

На рис. 1.1 показані зони, залишкові напруження в яких надають істотний вплив на тимчасову та тривалу міцність зварного з'єднання товстостінних конструкцій.

Двохосні напруження в зоні 1 впливають на довговічність зварного з'єднання; тривісні напруження в зоні 2 – на тимчасову міцність.

Розрізняють одновісний, двовісний і тривісний напружені стани. На практиці реалізується тривісний стан, але в окремих випадках, зокрема, при розгляд поверхневих шарів, завдання часто спрощують.

Так як один чи два компонента залишкових напружень можуть виявитися набагато меншими від інших, то таке спрощення дозволяє, трохи знизивши точність, суттєво спростити визначення залишкових напружень.

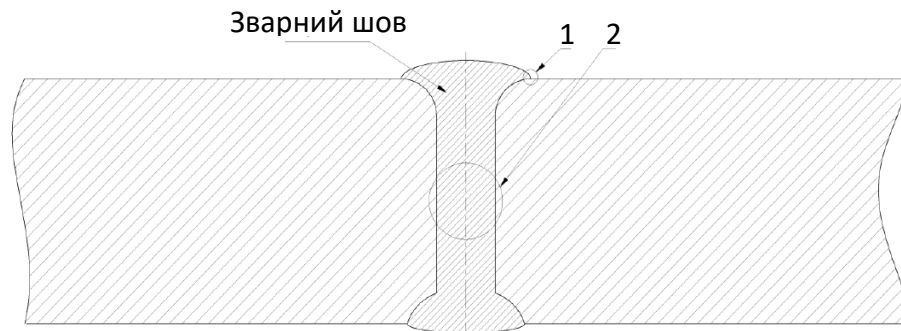


Рисунок 1.1 – Зварний шов у товстостінній конструкції: 1, 2 – зони напружень

На сьогоднішній день напружений стан можна визначити як експериментальними, і теоретичними (розрахунковими) методами.

Існують теоритичні підходи, що дозволяють оцінювати напружене стан у різних конструкціях, наведено методики розрахункового визначення напруження залежно від параметрів теплового процесу.

Таким чином, можна без проведення експериментів оцінити величину залишкових напружень у зварних конструкціях різної конфігурації.

Електричне дугове зварювання характеризується різким локальним нагріванням, обумовленим впливом концентрованого джерела теплоти, що приводить метал на ділянці зварювання в пластичний і рідкий стан, і порівняно швидкому охолодженні цієї ділянки.

В результаті в конструкції виникають тимчасові та залишкові зварювальні напруження. Тимчасові напруження спостерігається тільки в процесі зварювання при зміні температури і, як правило, зникає після охолодження виробу.

Залишкові напруження залишаються у зварній конструкції після закінчення зварювання, її повного остигання та зняття закріплювальних навантажень.

Залежно від протяжності силового поля та його фізичної сутності залишкові напруження бувають:

- I роду – макронапруження, врівноважені в межах областей, розміри яких можна порівняти з розмірами виробу;
- II роду – мікронапруження, врівноважені в межах розміру зерен металу;
- III роду – субмікроскопічна напруження, врівноважена в межах кількох міжатомних відстаней.

У зварних конструкціях з низьковуглецевих і низьколегованих сталей в основному розвиваються зварювальні напруження першого роду.

Напруження другого і третього роду можуть виникнути при зварюванні деяких легованих та високолегованих сталей.

Залежно від просторового розташування та взаємодії розрізняють зварювальні напруження:

- лінійні (одновісні) – діють лише по одній осі в одному напрямку (в елементах стрижневого типу);
- площинні (двохосні) – діють у двох напрямках (у пластинах та оболонках);
- об'ємні (трихосні) – діють у трьох напрямках (у тілах трьох вимірів).

Одновісні, двовісні та тривісні напруження показані, відповідно, на рис. 1.2 і 1.3.

При такому розподілі передбачається, що компоненти напружень, які спрямовані відповідно по двох або трьох осях системи координат, можна порівняти між собою.

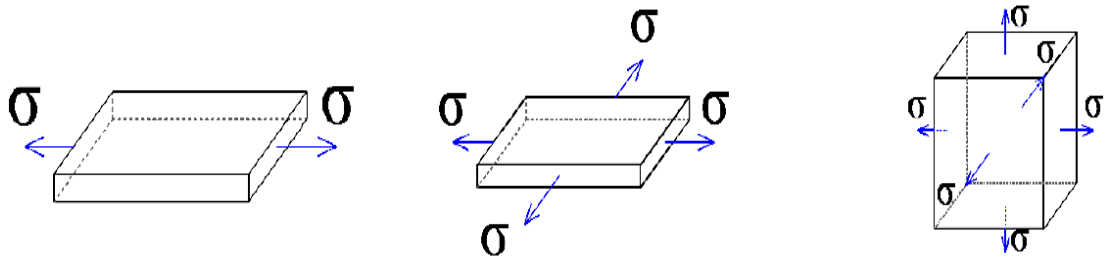


Рисунок 1.1 – Напруження : лінійне (одновісне), площинне (двохвісне) напруження, об'ємне (тривісне)

По напрямку дії напружень розрізняють поздовжні – спрямовані паралельно осі шва, і поперечні – направлені перпендикулярно осі шва зварювальні напруження.

Остаточне формування зварювальних напружень відбувається після завершення процесу зварювання та звільнення зварної конструкції від закріплень.

Разом з цим відбувається перерозподіл напружено-деформованого стану конструкції, виникають залишкові деформації і внаслідок цього перерозподіляються і внутрішні напруження конструкції.

Виділяють кілька причин утворення внутрішніх залишкових напружень у зварних з'єднаннях та конструкціях:

1. Локальне нерівномірне нагрівання металу. Як відомо, всі метали під час нагрівання розширюються, а при охолодженні стискаються.

У процесі зварювання, в результаті місцевого нагрівання металу та його подальшого охолодження, у зварному з'єднанні утворюється нерівномірне температурне поле.

Таким чином, в деталі, що зварюється, виникають стискаючі і (або) розтягуючі термічні внутрішні напруження.

Величина цих напружень залежить головним чином від температури нагрівання, коефіцієнта лінійного розширення і теплопровідності металу, що зварюється.

При зварюванні жорстко закріпленої конструкції, величина термічної напруження може зростати внаслідок обмеженості її вільного переміщення в процесі нагрівання та охолодження.

При цьому спочатку в конструкції, що нагрівається через її розширення будуть виникати стискаючі внутрішні напруження, а при подальшому охолодженні в процесі її укорочення – розтягують напруження.

Коли величина внутрішньої напруження досягне рівня межі плинності, в металі почнуть відбуватися пластичні деформації, що призводять до зміни форми і розмірів виробу, що зварюється.

Після закінчення процесу зварювання, в областях, що зазнали нерівномірного пластичного деформування, виникнуть залишкові напруження.

2. Нерівномірні структурні перетворення на металі. При зварюванні конструкцій з вуглецевих і легованих сталей при нагріванні вище критичних температур можуть виникнути напруження, зумовлені фазовими перетвореннями зі зміною типу кристалічної решітки та утворенням фази, що володіє великим питомим об'ємом та іншим коефіцієнтом лінійного розширення.

Найбільша напруження може виникнути при зварюванні конструкцій з легованих сталей, схильних до загартування. У таких сталях перетворення структур йде з утворенням так званих гартувальних структур (мартенситу), що володіють великим питомим обсягом, вищою твердістю, крихкістю та зниженою пластичністю.

Таке перетворення супроводжується збільшенням обсягу; прилеглий до нього метал відчуватиме напруження, що розтягує, а ділянки зі структурою мартенситу – розтягуючі. У непластичних сплавах це може призвести до утворення тріщин.

3. Ливарне осадження наплавленого металу. При охолодженні та затвердінні розплавленого металу шва відбувається його усадка.

Це тим, що з твердінні збільшується щільність металу, у результаті його обсяг зменшується.

Внаслідок нерозривного зв'язку наплавленого металу з основним металом, що залишається в незмінному обсязі і протидіє усадці, в зварному з'єднанні виникають поздовжні і поперечні внутрішні напруження, що викликають відповідні деформації зварного з'єднання.

В результаті поздовжньої усадки у з'єднанні виникає деформація в поздовжньому напрямку щодо осі шва, а поперечна, як правило, викликає кутові деформації.

Деформації, що виникають при зварюванні, як і напруження, можуть бути тимчасовими і залишковими, а за напрямом дії - поздовжніми і поперечними.

Залежно від характеру, форми та розмірів деталей, що зварюються, розрізняють зварювальні деформації:

- загальні – спотворюють форму та розміри всієї конструкції (зміна лінійних розмірів конструкції та викривлення її осей у поздовжньому та поперечному напрямках);

- місцеві – поширюються на окремі елементи конструкції (деформації окремих елементів при втраті стійкості конструкції та кутові деформації).

Величина і характер деформацій в основному визначаються товщиною та властивостями основного металу, режимом зварювання, формою шва та конструктивними особливостями деталей, що зварюються. Чим більше товщина металу, що зварюється, тим менше величина виникають в ньому деформацій, Це пояснюється більшою жорсткістю конструкції, що зварюється.

Значний вплив на величину деформацій має значення коефіцієнта лінійного розширення металу.

Чим більше значення цього коефіцієнта, тим більше величина деформацій, що виникають.

У теорії зварювальних деформацій та напружень виділяють два основні методи вирішення задачі визначення зварювальних напружень та деформацій.

Перший метод у літературі відомий як метод фіктивних сил. Цей спосіб заснований на припущеннях одномірності поля напружень та гіпотезі плоских перерізів.

Він має на увазі, що в процесі остигання металу в зоні шва виникають усадкові розтягувальні напруження, які представляються у вигляді активного навантаження, прикладеного до деталі, що зварюється.

Застосовуючи гіпотезу плоских перерізів і враховуючи, що у цьому поперечному перерізі внутрішні сили перебувають у рівновазі, можна знайти основні параметри визначення закону розподілу цих усадочних напружень.

Другий метод заснований на вирішенні зворотної температурної задачі середовища, що деформується.

У процесі дослідження виникаючих зварювальних напружень і деформацій, встановлюється закон розподілу температури деталі, що зварюється для будь-якого моменту часу в залежності від потужності джерела і швидкості його переміщення.

Далі, на підставі побудованої температурної кривої та гіпотези плоских перерізів, знаходять як тимчасові, так і залишкові напруження та деформації для даного поперечного перерізу деталі, що зварюється.

Основними фізичними методами, що застосовуються для вимірювання залишкових напруження в металах, є:

- рентгенівські;
- ультразвукові;
- електромагнітні;
- метод твердості;
- метод крихких покриттів.

Розглянемо коротко кожен із цих методів з позиції його переваг і недоліків при вимірі залишкових напружень при зварюванні товстостінних конструкцій.

Як відомо, для таких сталей, зважаючи на протікання при охолодженні фазових перетворень, у загальному випадку формується багатофазна структура, залежно від зони шва змінюються розміри зерна та схема кристалізації. Це говорить про суттєві неоднорідності матеріалу у зварному шві та навколошовній зоні.

Рентгенівські методи засновані на прецизійному вимірі змін міжплощинних відстаней, що визначаються по зміщенню дифракційної лінії.

Цей метод забезпечує досить велику точність і дозволяє вимірювати залишкові напруження у виробах складної конфігурації, має високу локальність на глибині до 0,1 мм. З його допомогою можна визначати також градієнти напруження.

До недоліків рентгенівського методу слід віднести значний вплив структури та розмірів зерна, що особливо критично для даного випадку.

Для дослідження підповерхневих шарів потрібне видалення шару металу, що робить його неприйнятним для неруйнівного контролю товстостінних конструкцій [7].

Вимірювання займають багато часу (до 10 хвилин на крапку), пред'являються високі вимоги до чистоти поверхні. Безпосередньо вимірюваної у дифрактометрі величиною є зміщення дифракційного профілю, яке є наслідком напружено-деформованого стану досліджуваних характеристик матеріалу.

Ця величина становить частки градуса, і має вимірюватися з похибкою, що не перевищує соті частки градуса.

Це можливо або в лабораторних умовах, або з застосуванням високоточних механічних систем для переміщення вимірювального приладу, що ускладнює застосування великогабаритних конструкцій.

Крім того, їх використання пов'язане із виникненням рентгенівського випромінювання, а обладнання досить дороге.

Ультразвукові методи засновані на застосуванні ефекту зміни швидкості поширення звукових хвиль у металі, в якому є залишкові напруження.

Зв'язок швидкості поширення ультразвуку з параметрами напружено-деформаційного стану можна встановити як експериментально (при таруванні), і розрахунковими методами. Вид залежності швидкості звуку від напруження – нелінійний, тому для розрахунку застосовується рівняння п'ятиконстантної теорії пружності з використанням модулів нелінійної пружності Мурнагана [9].

Ці методи дозволяють оцінювати компоненти двовісного напруженого стану поверхневому шарі та середні за глибиною до 150 мм.

Вони не пред'являють жорстких вимог до чистоти матеріалу, обладнання влаштоване щодо просто і може бути мобільним.

Істотним недоліком ультразвукових методів є неможливість прямого незалежного визначення напружень уздовж декількох осей, а також істотний вплив неоднорідностей та дефектів у досліджуваному металі.

Підвищити локальність та точність ультразвукових методів поверхневого контролю можна із застосуванням лазерно-ультразвукового методу, заснованим на застосування оптоакустичного перетворення.

Цей метод також дозволяє визначити усереднені по товщині залишкові напруження із застосуванням потужних широкосмугових акустичних сигналів наносекундної тривалості [11].

Електромагнітні методи дозволяють визначити одновісне напружене стан. Вони засновані на зміні намагніченості під дією залишкових напруження. Можуть вимірюватися магнітна проникність, залишкова намагніченість, коерцитивна сила, величина магнітострикції та інші магнітні параметри [9].

Їх перевагами є простота та оперативність проведення вимірювань, невисокі вимоги до підготовки поверхні.

Недоліки – високі похибки при роботі з твердими матеріалами та при невеликих величинах деформації, застосовність тільки до дослідження феромагнетиків, чутливість до величини немагнітного зазору між зразком та вимірювальним інструментом.

Крім того, глибина, на якій проводяться виміри, для окремих методик досягає лише 20 ... 25 мм, а діаметр точки - близько 3 мм, що говорить про мінімальний ступінь локальності.

Достатньо локально можна визначати залишкові напруження лише на глибині 0,1...3 мм.

Метод твердості – досить простий у застосуванні та заснований на зміні твердості матеріалу при дії в ньому залишкової напруження.

Метод, незважаючи на його простоту, практично не застосовується, так як через низьку точність дозволяє лише якісно визначити характер розподілу залишкових напружень.

Метод крихких покриттів застосовують для визначення найбільш навантажених областей у металевому виробі.

Він полягає у нанесенні на метал керамічного покриття та застосування навантаження до зразка до появи в ньому тріщин. При цьому нанесені заряджені частинки порошку накопичуються в тріщинах, забезпечуючи їх видимість.

Дозволяє візуалізувати поле напруження, але не дає точних кількісних оцінок їхньої величини.

1.2 Способи попередження напруження та деформації при зварюванні

Для попередження напружень та деформацій при зварюванні застосовуються конструктивний та технологічний способи.

Конструктивний спосіб заснований на раціональному конструюванні зварних вузлів і включає наступні заходи:

1. Призначення мінімальних перерізів зварних швів (за умовами міцності) зменшення обсягів, у яких протікають пластичні деформації.

2. Уникнення надмірних скупчень і перетинів зварних швів для зменшення площинних та об'ємних напружень, особливо в конструкціях, що сприймають ударне та змінне навантаження.

3. Розташування зварних швів симетрично центру тяжкості виробу з метою взаємного врівноважування згинальних моментів, що виникають.

4. Застосування переважно стикових швів, що є менш жорсткими та характеризуються меншою концентрацією силових напружень порівняно з кутовими швами.

5. Уникнення застосування накладок, косинок тощо, що веде до збільшення площинних деформацій.

6. Застосування допоміжних елементів у вигляді ребер жорсткості з метою запобігання втраті стійкості елементів та утворення випучин у просторово-розвинених конструкціях коробчастого перерізу.

Для зменшення поперечної усадки ребра жорсткості необхідно розташовувати так, щоб при зварюванні нагрівання піддавалися ті самі місця основного металу.

7. Додавання до номінальних розмірів деталі припусків на усадку, рівних усадці металу для врівноваження деформацій.

8. Розташування зварювальних швів таким чином, щоб воно не заважало механізації зварювальних робіт. Технологічний спосіб заснований на раціональному виборі теплового режиму, способу збирання та технології зварювання та включає наступні заходи:

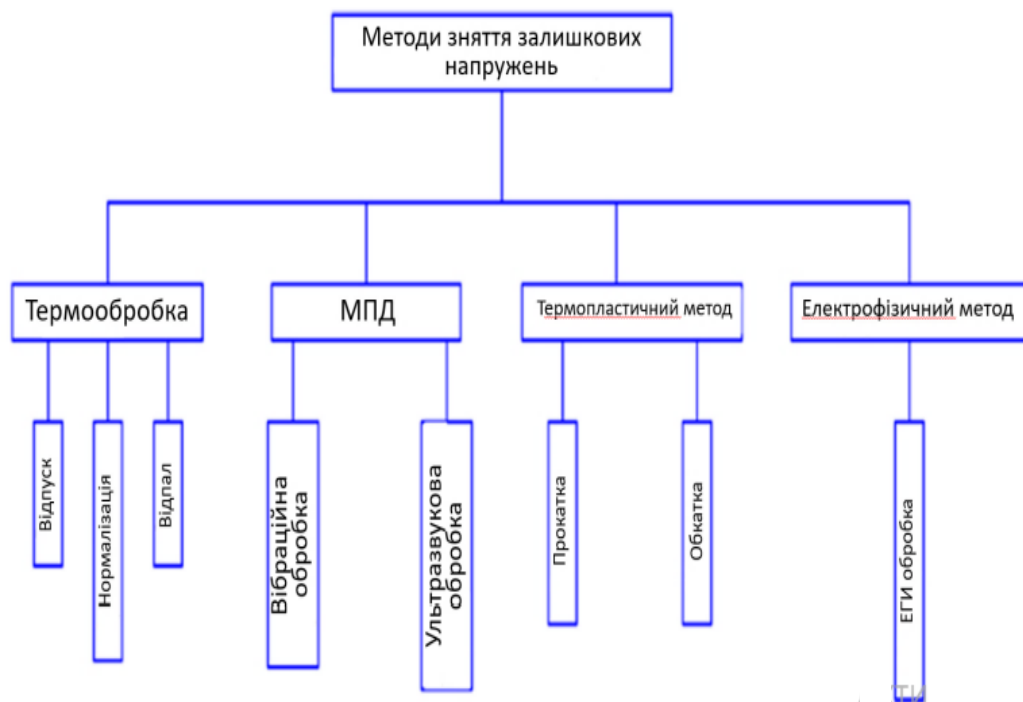


Рисунок 1.2 – Способи зняття напружень

1. Застосування оптимального теплового режиму зварювання, при якому зона нагрівання деталей, що зварюються (ширина активної зони) мінімальна.

Для зменшення піків залишкової напруженості та уникнення тріщин при зварюванні вільних деталей і, особливо, сталей, що гартуються тепловий режим слід підвищувати для збільшення обсягу розігрівається металу і зменшення швидкості його охолодження.

Зварювання деталей великої товщини і сталей, що гартуються, слід здійснювати з попереднім або супутнім підігрівом.

При зварюванні в стик жорстко закріплених деталей з метою уникнення тріщин і розривів, навпаки, необхідно застосовувати знижені теплові режими.

Зварювання жорстко закріпленої деталі великої товщини слід здійснювати багат шаровими швами, причому спочатку необхідно покласти шари поперемінно по краях обробки і потім заповнювати середину шва.

2. Підвищення щільності струму при зварюванні для рівномірного нагрівання металу за товщиною.

За рахунок цього відбувається глибокий провар кореня шва і цим зменшуються зазори в стикових швах, що призводить до зменшення впливу поперечної усадки.

3. Уникнення скріплення вузлів і деталей прихватками, що утворюють жорстке закріплення.

4. Забезпечення рухомого стану закріплених деталей за допомогою клинових, центрувальних та інших складальних пристроїв. При цьому складальні пристрої повинні забезпечувати вільне переміщення деталей у напрямку поперечної усадки та затримувати їх повороти, тобто. перешкоджати кутовій деформації.

5. Попереднє взаємне розташування деталей з урахуванням їхньої майбутньої деформації, а також попередні прогини, які зникнуть від деформації після зварювання.

6. Застосування такої послідовності накладання швів, при якій врівноважуються внутрішні напруження щодо центру ваги конструкції, що зварюється, і не відбувається значний перегрів та усадка металу.

Застосовувана послідовність накладання швів повинна забезпечувати рівновагу напружень та деформацій. Протилежні паралельні шви в багатьох випадках доцільно виконувати одночасно або поперемінно ділянками.

7. Забезпечення свободи переміщення елементів, що зварюються. Особливо це стосується стикових швів, що мають велику поперечну усадку.

Тому насамперед зварюються стикові шви, а потім кутові. Так, при зварюванні двотаврових балок спочатку виконується зварювання стиків стінок і полиць, а потім зварювання поясів кутовими швами.

8. Застосування проковування у процесі зварювання зменшення деформації. Проковування ущільнює шов шляхом розплющування шару, що остигає, наплавки і в результаті зменшує дію усадки шва.

Останній облицювальний шар проковувати не рекомендується, щоб не спричинити появу тріщин на поверхні шва

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Методика проведення досліджень

З позицій механіки дано аналіз напружено-деформованого стану листової заготовки, з якого випливає, що після зняття навантаження відбувається її розпружинування і на зовнішній поверхні з'являються стискаючі залишкові напруження $-\sigma_\theta$, але й внутрішній поверхні – розтягуючі напруження $+\sigma_\theta$.

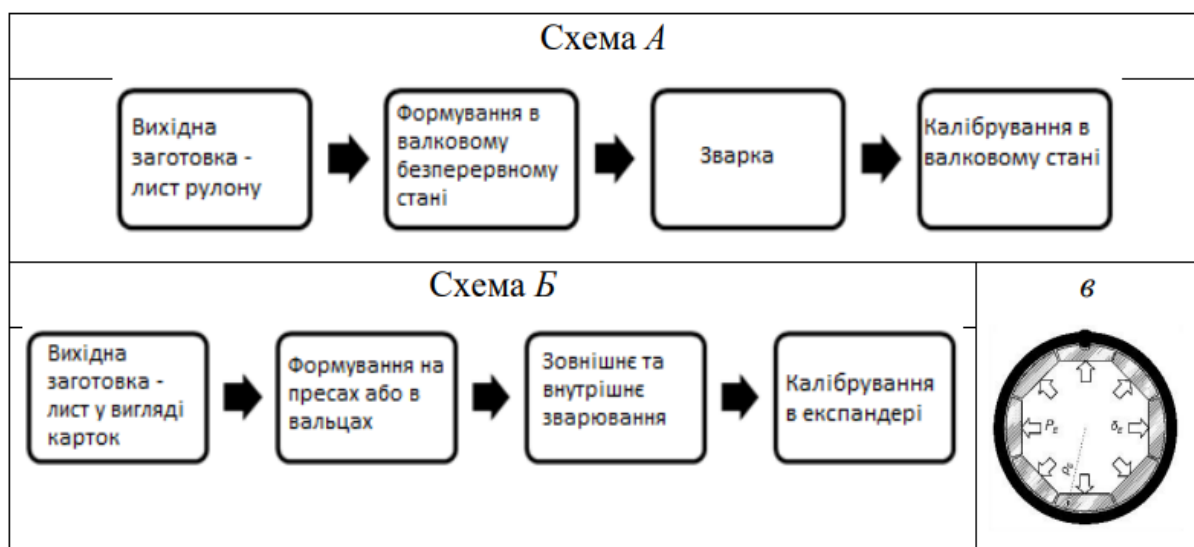


Рисунок 2.1 – Технологічні операції виробництва зварних труб малого, середнього (а) та великого (б) діаметрів та схема калібрування ТБД у механічному експандері (в)

Проте, при формуванні трубної заготівлі було показано, що під дією зусилля P метал зазнає пружно-пластичну деформацію: зовнішні шари металу при згинанні випробовують розтягування, а внутрішні – стиск (див. рис. 2.2).

У зв'язку з цим, важливим є проведення експериментальних досліджень, які дозволять встановити характер розподілу залишкових напружень у формованій трубній заготівлі із застосуванням сучасних неруйнівних методів контролю[8]. Відомо, що процес формування листової заготівлі супроводжується неоднорідністю розподілу напружень та диференціальне рівняння рівноваги елемента, виділеного в осередку деформації, має вигляд

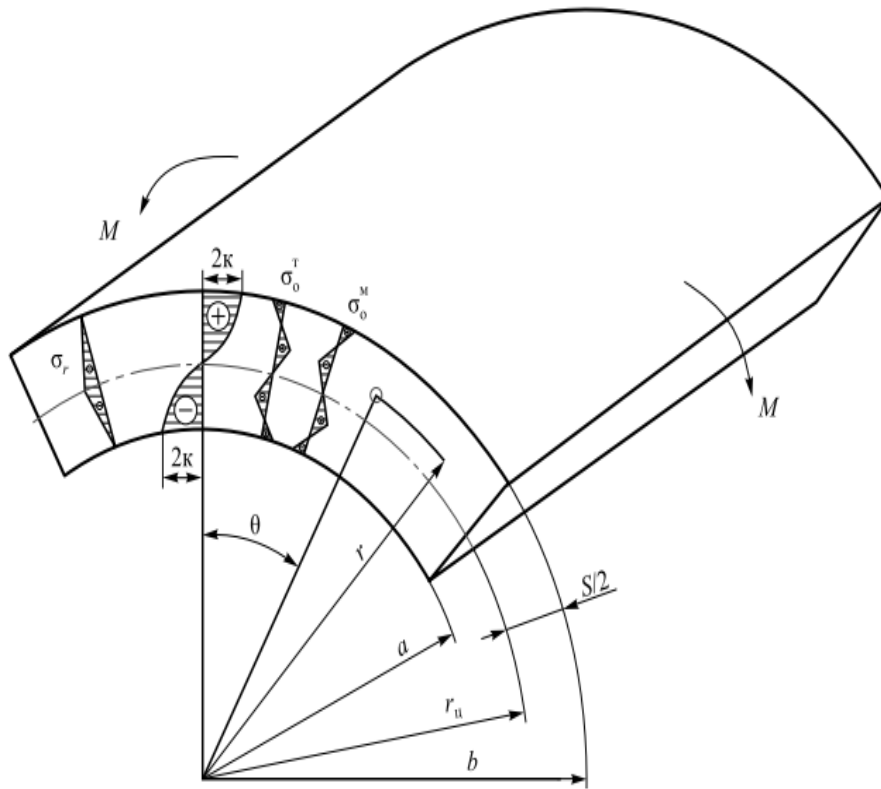


Рисунок 2.2 – Схема формування листової заготовки та епюри розподілу напружень за товщиною листа

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{r}, \quad (2.1)$$

а рівняння пластичності з гіпотези максимальних дотичних напружень для плоского деформованого стану можна записати у вигляді

$$\sigma_p - \sigma_\theta = \pm \sigma_s, \quad (2.2)$$

де знак плюс відноситься до зони розтягування у тангенціальному напрямку, знак мінус – у зоні стиснення.

При спільному розв'язанні цих рівнянь обліком граничних умов: $\sigma_r = 0$ при $r = a$ та $r = b$; $\sigma_z = 0,5 (\sigma_r + \sigma_\theta)$ отримані формули розподілу напружень по товщині листа для чистого вигину:

1. Для зони розтягування у зовнішньому шарі, де $\sigma_\theta - \sigma_r = 2k = \sigma_s$

$$\sigma_r = \sigma_s \ln \frac{r}{b}; \quad \sigma_\theta = \sigma_s \left(1 + \ln \frac{r}{b} \right); \quad \sigma_z = \sigma_s \left(0.5 + \ln \frac{r}{b} \right); \quad (2.3)$$

2. Для зони стискання, де $\sigma_\theta - \sigma_r = -2k = -\sigma_s$

$$\sigma_r = -\sigma_s \ln \frac{r}{b}; \quad \sigma_\theta = -\sigma_s \left(1 + \ln \frac{r}{b} \right); \quad \sigma_z = -\sigma_s \left(0.5 + \ln \frac{r}{b} \right). \quad (2.4)$$

При знятті зовнішнього навантаження відбувається розпружинювання листової заготовки під дією залишкових напружень, епюра яких показано на рис. 2.3.

Розглянемо розтягнення стандартного зразка та криву $\sigma - \epsilon$ реального металу листової заготовки, формування якого відбувається в області пружної пластичної деформації.

На рис. 2.3 також наведено порівняння епюри розтягування зразка реального металу та прийнятої моделі.

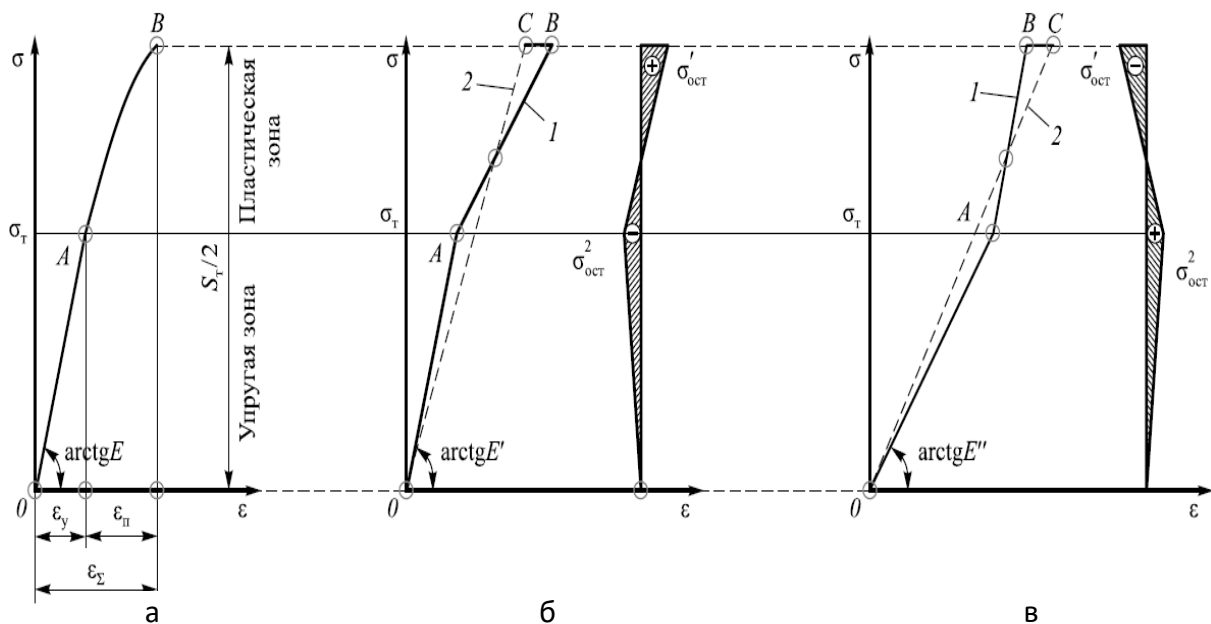


Рисунок 2.3 – Епюри розподілу напруження при розтягуванні зразка: а – реального металу $\sigma - \epsilon$; б – у моделі, прийнятої у роботі; в – у моделі, прийнятій у роботі; 1 – навантаження (лінія OAB) та 2 – розвантаження (лінія OC)

Величину σ_s зміцнення деформованої заготовки зі ступенем деформації ϵ_n та значення σ_s можна визначити за графіком кривої другого порядку за рівнянням

$$\sigma_s = \frac{\sigma_\epsilon}{(1 - \psi_{ui})^2} \cdot (1 - \psi_{ui} + \psi). \quad (2.5)$$

Аналіз експериментальних даних (див. табл. 2.1) переконливо показує, що у зварних трубах малого типорозміру при формуванні, зварюванні та калібруванні на зовнішній поверхні зварного шва спостерігаються розтягнуті напруження.

Тоді як у вихідному холоднокатаному листі з нержавіючої сталі по ширині відзначені тільки стискаючі напруження, що мають, в інтервалі рівному 150–120 МПа і сталі 09Г2С рівному 30–60 МПа.

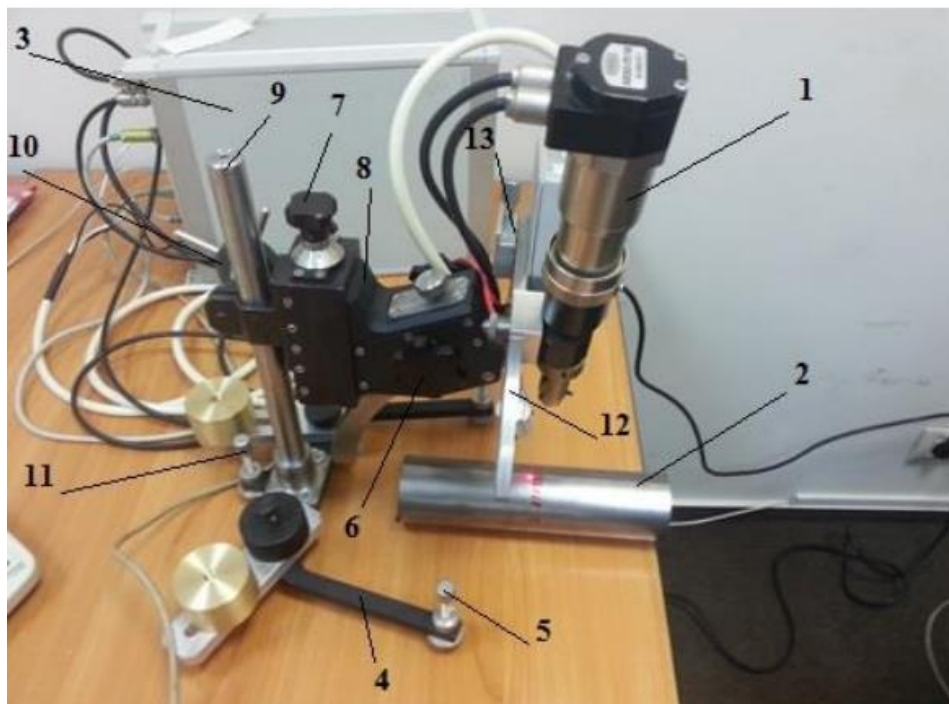


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд приладу «ДРП-РИКОР» і підготовлений зразок труби для вимірювання залишкових напружень: 1 – рентгенівська трубка в кожусі; 2 – зразок; 3 – блок живлення електроніки; 4 – скоба-основа; 5 – регулювальні гвинти скоби-основи; 6 – рукоятка нахилу несучої дуги; 7 – рукоятка точного регулювання дуги; 8 – кронштейн; 9 – міні-штатив; 10 – рукоятка грубого регулювання висоти; 11 – регулювальні гвинти скоби-основи; 12 – несуча дуга; 13 – детектор

На другому етапі були проведені експериментальні дослідження осьових і тангенціальних залишкових напружень у середині і на кінці прямошовної труби великого діаметра (табл. 2.1).

Дані дослідження підтвердили наявність розтягуючих залишкових напружень, які можуть бути небезпечними і викликати появу різних дефектів.

Наявність розтягуючих залишкових напружень сприяє втомному руйнуванню основного металу при подальшій експлуатації конструкцій зварних виробів.

При тривалій експлуатації трубопроводів можливо руйнування навіть при напруженнях, що не перевищують максимально допустимі внаслідок дії всіх навантажень на поверхню труб, включаючи зварювальні напруження і залишкові напруження, що виникають під час технологічного процесу виготовлення труб.

Таблиця 2.1 – Експериментальні значення тангенціального залишкового напруження на зразках труб великого діаметру із сталі 10Г2ФБЮ

Типорозмір труби $D_m \times S_m = 1420 \times 12$ мм		Типорозмір труби $D_m \times S_m = 1030 \times 48$ мм	
Відстань до зварного шва, мм	Залишкові напруження, МПа	Відстань до зварного шва, мм	Залишкові напруження, МПа
Центр зварного шва	+ 220	Центр зварного шва	+ 150
Т.2 на відстані 24 мм	- 40	Т.2	+ 45
Т.4 – 37 мм	- 70	Т.4	- 90
Т.5 – 50 мм	- 70	Т.5	-100
Т.6 – 79 мм	-75	-	-

Отримані результати твердять про наявність розтягуючих напружень на поверхні зварних труб, які з'являються як у зварному шві, так і в металі сформованої листової заготовки як в тангенціальному, так і в осьовому напрямках.

Такі дослідження актуальні для прогнозування руйнування нафтогазопровідних труб великого діаметра у процесі їх експлуатації, а також при виборі труб малого діаметра для застосування в спеціальних галузях техніки.

2.2 Дослідження залишкових напружень при виготовленні деталі

Завданням випускної кваліфікаційної роботи є розробка технології складання та зварювання поздовжнього зварного з'єднання циліндричної заготовки.

Технологія, що впроваджується, забезпечить якісне зварне з'єднання, економічну вигоду за рахунок зниження рівня дефектності, збільшення обсягів виробництва за рахунок більшого відсотка виходу готових виробів.

Метод дослідження торкнеться технології автоматичного зварювання під шаром флюсу та її правильного використання з урахуванням конструкції, застосовуваної сталі, зварювального обладнання та зварювальних матеріалів.

Трійник – деталь трубопроводу з трьома приєднувальними кінцями, які призначені для кріплення бічних трубних відгалужень до основної магістралі та розподілу потоків трубопроводами.

При створенні технології зварювання враховуються багато особливостей, які необхідно взяти до уваги при виконанні розрахунків.

Виділимо такі:

- форма застосовуваного оброблення;
- фізико-механічні характеристики зварюваної сталі та зварювальних матеріалів;
- конструктивні особливості вузла, що зварюється;
- неоднорідність температурних шарів, що залежить від швидкості зварювання;
- кількість шарів та їх розподіл у зварювальній ванні.

Розглянемо зварне з'єднання, яке ми застосовуємо для зварювання циліндричної заготовки (рис. 2.5) зі сталі 10Г2ФБЮ товщиною $S = 48$ мм, форму оброблення С25, рис. 2.6.

Застосування цієї обробки зумовлено наступними факторами:

- економією наплавленого металу – при однакових кутах розкриття площа перерізу Х-подібного шва менша, ніж у V-подібного шва на 30-40%, а значить, що настільки ж менше і обсяг наплавленого металу;

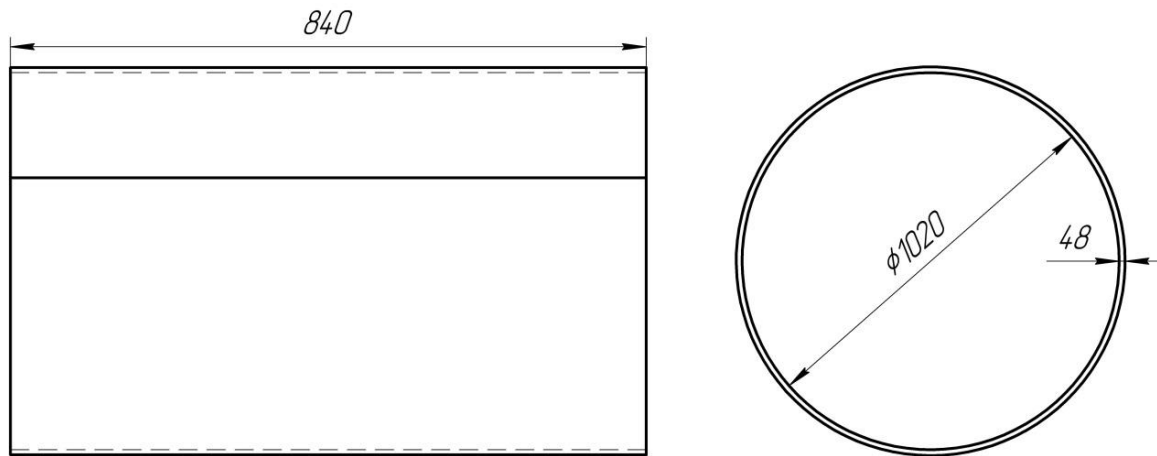


Рисунок 2.5 – Циліндрична заготовка

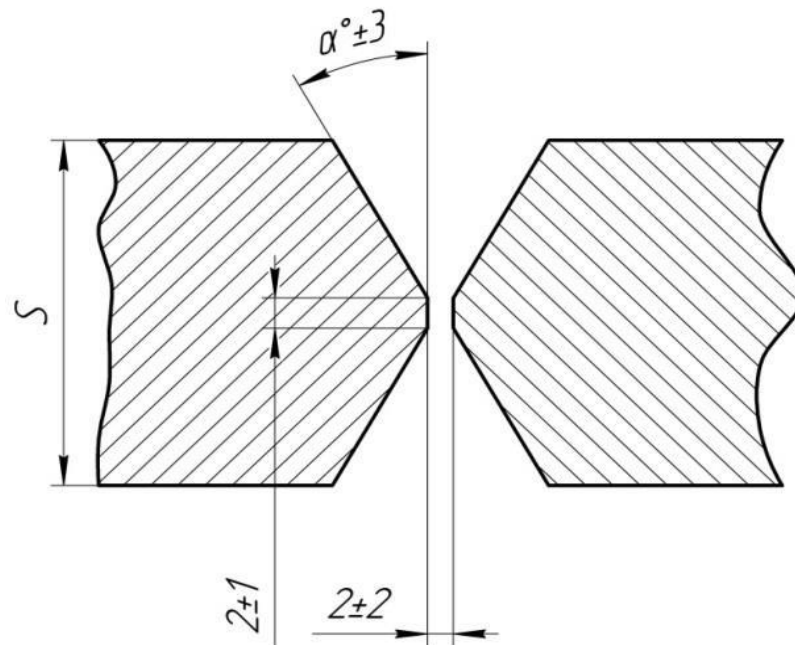


Рисунок 2.6 – Стикове зварне з'єднання з двома симетричними скосами кромки типу С25

- залишкові напруження, вказані на картах ізоліній (рис. 2.7), що виникають після зварювання даного оброблення, розподіляються від центральної частини (кореневої) вздовж скосу верхньої частини обробки на відміну від V-подібної, де розподіл йде вздовж скосу на всю товщину зварюваної деталей.

Розглянемо докладніше тему залишкових деформацій при виконанні стикового зварювання та після виконання стикового зварного з'єднання з X-подібною обробкою.

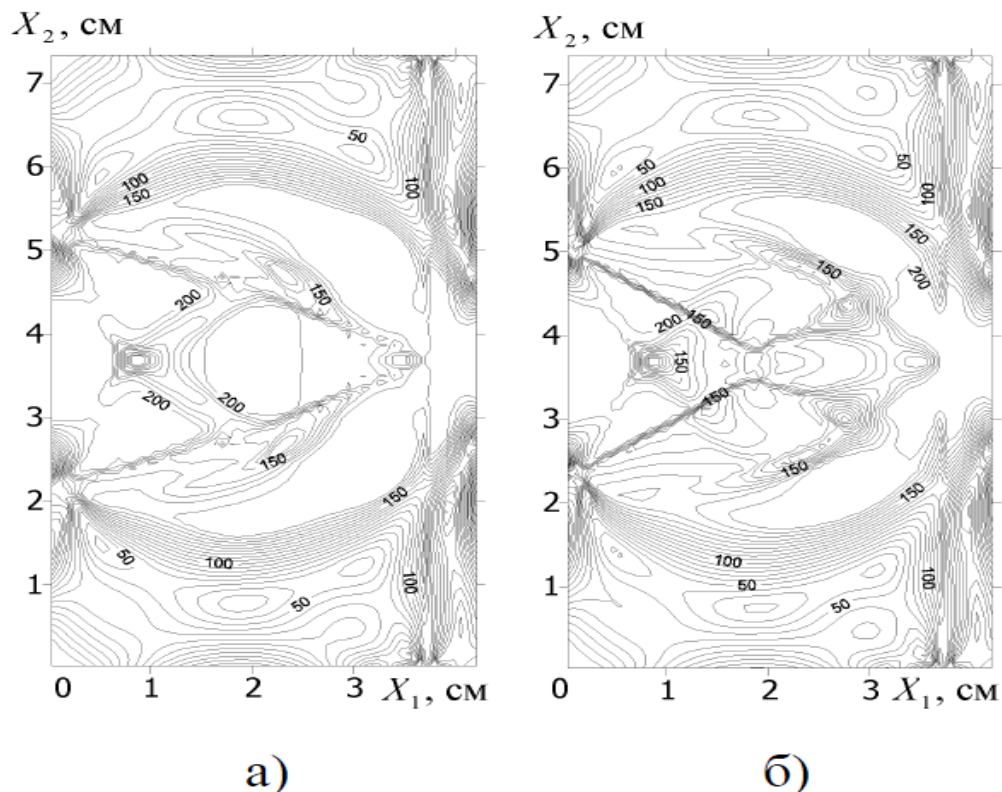


Рисунок 2.7 – Розподіл залишкових напружень при: а) V-подібній обробці; б) X-подібній обробці

При зварюванні виникають деформації, які можна розділити на тимчасові, що виникають під час зварювання, та залишкові, що залишаються після виконання зварювання та охолодження. Залишкові деформації у зварюванні мають важливе значення для практики.

Деформацію можна розділити на деформацію в площині та деформацію з площини, яка залежить від характеру, розмірів та форми деталей, що зварюються.

Деформація в площині виявляється у зменшенні розмірів конструкції, що необхідно взяти до уваги при заготівлі деталей та складання під зварювання, передбачаючи припуск на зміну розмірів.

Деформація з площини (кутова деформація) проявляється на поверхні випучин («хлопунів»), місцевому згинанні листів, рис. 2.8.

При зварюванні пластини з X-подібною обробкою згинальний момент (деформація) при заповненні однієї частини шва повністю компенсуватиметься при заповненні другої, тому є певний ступінь свободи.

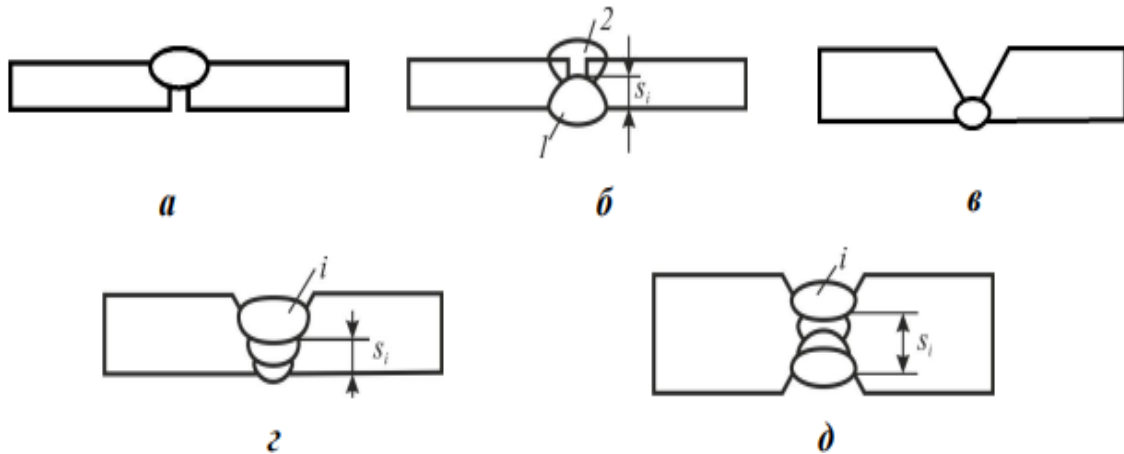


Рисунок 2.8 – Кутові деформації при зварюванні стикового з'єднання: г) V-подібній обробці; д) X-подібній обробці

При зварюванні стикового зварного з'єднання замкнутої деталі, типу циліндричної заготовки, ступінь свободи при деформації з площини буде відсутній, що призведе до додаткових напружень і згодом може призвести до руйнування.

Для X-подібної обробки деформація з площини буде розподілятися рівномірно, якщо заповнювати обробку з обох сторін по черзі з певною кількістю валиків, розділивши зварний шов на зони з певною послідовністю заповнення. Такий спосіб заповнення обробки актуальний при зварюванні високоміцних сталей, які не допускається термобробляти після зварювання. При виконанні контрольно-зварного з'єднання для даного проекту використовувалися два типи КСС, а саме КСС № 1 виконаний у вигляді стику з двох аркушів, і КСС № 2, виконаний у вигляді циліндричної заготовки. як описувалося вище «замкнутий контур».

Необхідно приділити особливу увагу зварюванню низьколегованих сталей із карбонітридним зміцненням. Легування цих сталей і створення в них підвищеної міцності і в'язкості заснований на зміцненні фериту марганцем, утворенні дисперсної зміцнюючої фази за рахунок наявних у сталі вуглецю, ванадія і одержанні дрібного зерна за рахунок обмежують його зростання не розчиняються при нагріванні нітридів (алюмінію), які також є центрами кристалізації під час перекристалізації при охолодженні.

Зміцнююча дисперсна карбонітридна або нітридна фаза виділяється та зміцнює ферит при охолодженні. Таким чином, у сталях розглянутого типу наявність дисперсної фази дозволяє підвищити міцність. А отримання дрібного зерна (бал 10-12) сприяє підвищенню в'язкості та холодостійкості.

В умовах масового виробництва застосування автоматичного зварювання під шаром флюсу для виконання поздовжньої зварної сполуки ЦЗ є пріоритетним.

Причиною цьому є висока продуктивність зварювання: за машинним часом збільшується в 6-12 разів, що навіть за коефіцієнт використання зварювальної установки 0,5, в 3-6 разів перевищує за продуктивністю ручне дугове зварювання.

За рахунок легування шлаком та надійного захисту від взаємодії з повітрям досягається висока якість металу шва та зварного з'єднання. Швидкість кристалізації металу зварювальної ванни і швидкість охолодження металу шва зменшується за рахунок наявного шлаку на поверхні, внаслідок чого зварний шов практично не містить неметалічних включень і пор.

Забезпечення постійного хімічного складу та інших властивостей по всій довжині шва за рахунок покращення форми шва та стабільності його розмірів; зменшення витрати зварювальних матеріалів через зниження розбризкування і втрат металу на чад (трохи більше 3 %, до 15% при ручному зварюванні) є показником економічності цього процесу.

Зниження споживання електроенергії на 30...40%, за рахунок раціональнішого використання тепла дуги.

За рахунок зниження трудомісткості під час підготовки оброблення кромки під зварювання, а також зачистки шва, підвищується економічність процесу.

Для виконання поставленої задачі з розробки технології складання та зварювання були прийняті рішення щодо застосування та впровадження для зварних швів даного типу автоматичного зварювання під шаром флюсу без комбінування інших способів зварювання.

Тим самим забезпечується економічна та технологічна вигода, оскільки застосування автоматичного зварювання для даного типу зварного з'єднання є найбільш раціональним.

Згідно з поставленим завданням, необхідно застосувати тип обробки С-25 з притупленням 2 ± 1 . Для впровадження одного способу зварювання було прийнято рішення про застосування автоматичного зварювання під шаром флюсу даного зварного з'єднання на флюсовій подушці, що у свою чергу забезпечило якісне зварювання кореневої частини без застосування інших способів зварювання та захист зварювальної дуги від кисню з боку другої частини оброблення.

Для рівномірного розподілу внутрішньої напруження при зварюванні замкнутого контуру в ВКР застосували почерговий метод накладання валиків (рис. 2.9), а саме розділивши зварний шов на зони з певною кількістю валиків, в яких необхідно виконувати зварювання по черзі.

Перед зварюванням відповідно забезпечується підігрів та зачистка ділянки зварювання деталей, а також не допускалося охолодження металу нижче 1000°C .

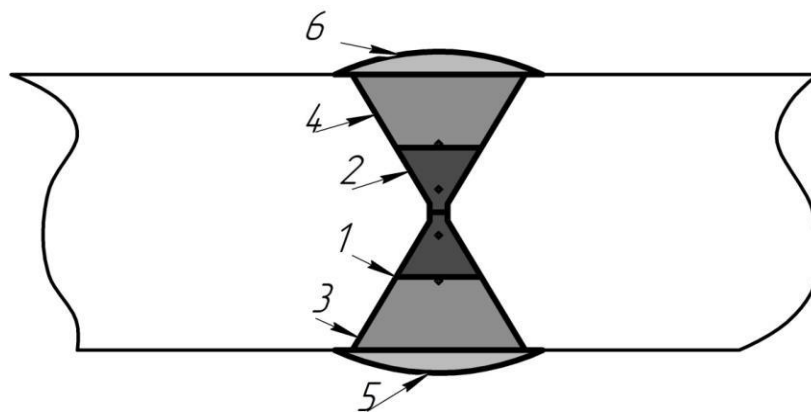


Рисунок 2.9 – Зони послідовності зварювання

Дуже важливо в даній технології виробництва зварного виробу виконати зварювання першої зони усередині циліндричної заготовки для забезпечення верстатної вибірки кореневої частини шва з протилежного боку (з боку флюсової подушки) та формування зварювальної ванни відповідної правильної форми.

Першим фактором ризику є сам матеріал, з якого виробляється дана деталь. Як говорилося раніше сталь 10Г2ФБЮ схильна до утворення холодних тріщин та розтріскування.

Еквівалент вуглецю не повинен перевищувати 0,43%. Неприпустимо застосовувати високу температуру підігріву (граничне значення до 180 0 С), що може призвести до утворення видманштетової структури в навколошовній зоні після зварювання.

Цю сталь термічно не обробляють після зварювання, через погіршення механічних властивостей.

Другим чинником ризику можна назвати технологію зварювання, саме спосіб її застосування. Не можна використовувати високі значення струму та напруження, щоб не допустити перегрів. Необхідно виробити концепцію застосування зварювання для оптимального розподілу температури та мінімізувати напруження.

Третім фактором ризику можна назвати кваліфікацію персоналу. Для виконання зварювальних робіт під час виробництва виробів для нафтогазової галузі і не тільки.

Необхідно, щоб зварювання виконували висококваліфіковані фахівці, які пройшли навчання в атестаційних центрах, успішно склали заключні іспити на певні види зварювання тощо.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Характеристика методу зварювання

За основу дослідження було прийнято базову технологію автоматичного зварювання під шаром флюсу поздовжніх швів заготовок зі сталі 10Г2ФБЮ класом міцності К60.

Технологія включала застосування флюсової подушки для виконання корневих проходів при конструкції зварного з'єднання з обробкою С25. Застосування комбінованої технології або застосування механізованого зварювання неприпустимо через велику товщину виробів і відповідно великий довжини зварних з'єднань.

Виходячи з різних типів розмірів, застосування інших видів зварювання було не доцільним: товщина деталей, що стикаються, від 40 до 60 мм включно, розмір умовного проходу Ду 1030, а довжина заготовок від 840 до 1680 мм. Концепція базової технології зварювання полягала в наступному:

- застосування автоматичного зварювання під шаром флюсу, використовуючи флюсову подушку для виконання корневих проходів, що не характерно для даного типу оброблення;
- використання прийому повного заповнення однієї з обробок, тобто виконання зварювання внутрішньої обробки з вибіркою кореневої частини і подальшим зварюванням зовнішньої частини обробки;
- використання режимів зварювання, підібраних експериментальним шляхом;
- виконання підігріву перед зварюванням, що обумовлено еквівалентом вуглецю.

При виробництві циліндричних заготовок для виготовлення трійників, призначених для магістральних та обв'язувальних трубопроводів, що транспортують некорозійно-активний газ, зазвичай застосовують сталь марки 10Г2ФБЮ (Клас міцності К60).

Завдяки своїм фізико-механічним властивостям та хімічному складу сталь 10Г2ФБЮ набула широкого поширення.

Фізичні властивості сталі забезпечують виробам достатню міцність. Будь-яка додаткова обробка цієї сталі не потрібна. Сталь відноситься до групи М03 і має задовільну зварюваність.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад 10Г2ФБЮ

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Nb	Ti	Al	Cu	As
0.08	0.15	1.6	до	до	до	до	0.05	до	0.02	0.01 -	0.02	до	до
-	-	-	0.3	0.035	0.03	0.3	-	0.012	-	0.035	-	0.3	0.08
0.13	0.35	1.8					0.12		0.06		0.05		

Слід згадати про такі особливості механічних характеристик сталі 10Г2ФБЮ: процес зварювання може призвести до перегріву, якщо не витримувати температурний діапазон; за збереження температурного режиму спостерігається збереження пластичних властивостей високому рівні.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 10Г2ФБЮ

σ_s , МПа	σ_m , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ-60, Дж/ см ²
590	460	20	-	392.0

Механічні властивості дозволяють використовувати сталь 10Г2ФБЮ для виготовлення труб, циліндричних заготовок та трійників класом міцності К60.

Такі галузі, як газодобувні, нафтові (добувні та транспортуючі) та хімічні є основними споживачами виробів із сталі, а саме трубопровідної арматури та труб.

Особливістю хімічного складу сталі 10Г2ФБЮ є додаткове мікролегування сильними карбідоутворюючими елементами. Основу мікролегування сталі складає ванадій і ніобій.

За рахунок стійкості властивостей даної сталі за різних температур стає можливим застосування виробів у діапазоні від -70 до +450. Висока холодостійкість сталі 10Г2ФБЮ дозволяє успішно використовувати виготовлені деталі у північних широтах.

У деяких випадках перед зварюванням виконується підігрів до 170 °С. Потрібно взяти до уваги, що на ділянці рекристалізації навколо-шовної зони можливі утворення ділянок перегріву внаслідок зниження ударної в'язкості.

При даному значенні еквівалента вуглецю необхідно виконати підігрів не менше 1850 °С, але для цієї марки сталі підігрів до такої температури неприпустимий. Це зумовлено тим, що висока температура позначиться зниження механічних властивостей, сталі і зварного шва загалом.

Отже, оптимальним рішенням даної технології буде виконання підігріву до 1500 °С, але з більше 1800 °С що з збереженням механічних властивостей стали.

Метал шва незначною мірою відрізняється за складом від основного металу при зварюванні низьковуглецевих сталей. Здебільшого, ця відмінність полягає у зменшенні вмісту вуглецю в металі шва, зважаючи на те, що він міститься в меншій кількості в металі зварювального дроту, ніж в основному металі, і в підвищенні процентного вмісту марганцю і кремнію.

Знижена частка вмісту вуглецю в зварювальні дроти потрібна для перешкоджання появи структур гартового характеру, причиною появи яких є підвищена швидкість охолодження.

Зумовлена зниженням відсотка вмісту вуглецю в металі шва при дугових способах зварювання деяка втрата його міцності компенсується повністю завдяки підвищенню швидкості охолодження металу та його легування через дріт або флюс, такими як кремній і марганець.

Збільшення міцності та зменшення пластичних властивостей металу шва обумовлюється підвищенням швидкості охолодження.

Швидкість охолодження насамперед визначається товщиною деталей зварювання, початковою температурою виробу та режимом зварювання.

Зміна «механіки» металу шва може відбуватися не тільки за рахунок зміни швидкості охолодження, а й за рахунок пластичної деформації, яка відбувається в металі через зварювальні напруження і викликає підвищення межі плинності.

Застосування всіх способів зварювання плавленням при зварюванні низьковуглецевих швах сталях мають високу стійкість до появи кристалізаційних тріщин, завдяки низькому відсотку вмісту в шві вуглецю.

Виникнення кристалізаційних тріщин більшою мірою пов'язане з несприятливою формою провару (вузька та глибока) [4]. З метою попередження появи непроварів, пір та інших дефектів у зварних швах кромки попередньо захищають від шлаку, забруднень, масла і іржі, що залишився після термічного різання.

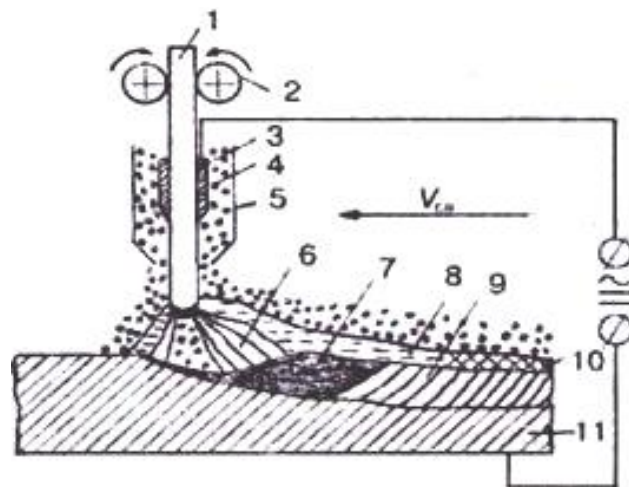


Рисунок 3.1 – Схема автоматичного зварювання під флюсом: 1 – електрод; 2 – механізм подачі дроту; 3 – провідник струму; 4 – флюс; 5 – бункер; 6 – зварювальна дуга; 7 – зварювальна ванна; 8 – шлакова ванна; 9 – зварювальний шов; 10 – шлакова кірка; 11 – основний метал

При автоматичному дуговому зварюванні під флюсом між кінчиком зварювального дроту і металом, що зварюється, горить зварювальна дуга, яка захищена шаром флюсу.

Механізм подачі автоматично подає електродний дріт у дугу. Зварювальний струм, змінний або постійний, прямої або зворотної полярності підводиться до електродного дроту, а іншим контактом виробу.

Зварювальна дуга горить і захищена газовою хмарою, утвореною за рахунок плавлення флюсу та металу. При гасінні електричної дуги розплавлений флюс, остигаючи, утворює шлакову кірку, яка відокремлюється від поверхні шва.

Кількість флюсу, що йде в шлакову кірку, дорівнює масі розплавленого зварювального дроту.

Частина флюсу, що не розплавилася, відсмоктується пневмо-відсмоктувачем у бункер і використовується знову.

При автоматичному дуговому зварюванні під флюсом між кінчиком зварювального дроту і металом, що зварюється, горить зварювальна дуга, яка захищена шаром флюсу.

Загальний вигляд автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу наведено на рис.3.2.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд процесу автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу

Механізм подачі автоматично подає електродний дріт у дугу. Зварювальний струм, змінний або постійний, прямої або зворотної полярності підводиться до електродного дроту, а іншим контактом до виробу.

Зварювальна дуга горить і захищена газовою хмарою, утвореною за рахунок плавлення флюсу та металу.

Утворення кірки флюсу відбувається при охолодженні, згодом вона легко відокремлюється від виборності шва.

Маса розплавленого зварювального дроту та кількість флюсу, що йде в шлакову кірку, рівні.

Невитрачена частина флюсу надходить назад у бункер за рахунок пневмовідсмоктувача і може використовуватися повторно під час виробництва інших зварних конструкцій.

При зварюванні під флюсом зменшується частка електродного металу в металі шва в порівнянні з ручним дуговим зварюванням на 35%, також менше втрати на чад і розбризкування.

Помітне зменшення кількості шкідливих газів, що виділяються при зварюванні, покращує умови праці.

Переваги та недоліки автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу такі.

Переваги:

- велика продуктивність;
- мінімізовані втрати електродного металу;
- відсутність бризок;
- надійний захист зварювальної зони;
- практично не чутливий до утворення оксидів;
- не потрібно захисних пристроїв від світлового випромінювання, оскільки дуга горить під шаром флюсу;
- низька швидкість охолодження металу забезпечує високі показники механічних властивостей металу шва.

Недоліки:

- вартість зварювальних матеріалів;
- невидимість місця зварювання, розташованого під товстим шаром флюсу;
- немає можливості виконувати зварювання у всіх просторових положеннях без спеціального обладнання;
- підвищена рідина плинність розплавленого металу та флюсу;
- потрібне ретельне складання кромок під зварювання.

3.2 Розрахунок параметрів і режимів зварювання

Режим зварювання вибирають залежно від товщини металу, типу зварного з'єднання та марки застосовуваного матеріалу. Основними параметрами режиму автоматичного зварювання є:

- діаметр дроту при вибраному його типі або марці;
- сила зварювального струму;
- напруження дуги;
- площа поперечного перерізу шва, виконані за один прохід;
- число проходів;
- рід та полярність струму.

Інші параметри підбираються зварювальником у процесі зварювання та не регламентуються. Так як товщина стиків, що зварюються, 48 мм (рис. 3.3), діаметр дроту приймемо рівним 3,2 мм.

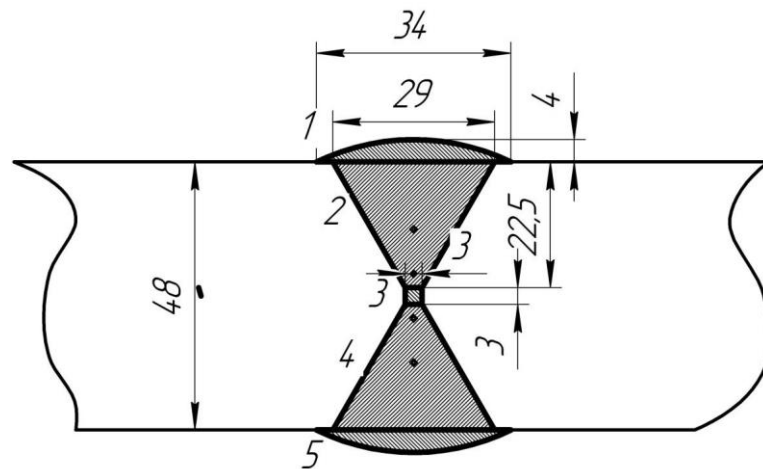


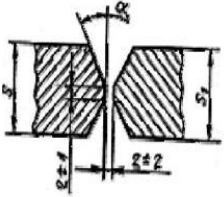
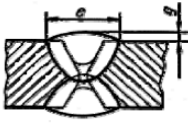
Рисунок 3.3 – Геометричні елементи площі перерізу стикового шва

При автоматичному зварюванні під шаром флюсу встановлені такі геометричні розміри підготовки кромки під зварювання та розміри зварного шва, табл. 3.3.

Для визначення числа проходів знайдемо загальну площу поперечного перерізу наплавленого металу.

Для цього розіб'ємо зварний шов на прості геометричні фігури і знайдемо їх площу, при цьому $S_{\text{сег. круга } 1,5} = 102 \text{ мм}^2$, $S_{\text{трапец. } 2,4} = 360 \text{ мм}^2$, $S_{\text{квадрата } 3} = 9 \text{ мм}^2$.

Таблиця 3.3 – Геометричні розміри підготовки кромки під зварювання та розміри зварного шва

Умовне позначення зварного з'єднання	Конструктивні елементи підготовлених крайок зварюваних деталей	Конструктивні елементи зварного шва	$S = S_1$	e номін.	g номін.	g перед. викл.
C25			48	29	2,5	+1,5- 2,0

Підсумовуючи значення всіх елементів, отримаємо площу поперечного перерізу наплавленого металу 935 мм^2 .

Розрахуємо площу проходів:

$$F_1 = 8 \cdot 3,2 = 25,6 \text{ мм}^2;$$

$$F_2 = 12 \cdot 3,2 = 38,4 \text{ мм}^2.$$

Розрахуємо кількість проходів, при цьому

$$n = \frac{F_n - F_k}{F_{cl}} + 2 = \frac{235 - 25,4}{38,4} + 2 = 24,3.$$

Призначаємо отриману кількість проходів рівну 24.

Розрахуємо величину зварювального струму I_{36} для перших 3 проходів зварного шва

$$I_{36} = \frac{\pi \cdot d_e^2 \cdot a}{4} + 2 = \frac{3,14 \cdot 3,2}{4} \cdot 50 = 400 \text{ А},$$

де d_e – діаметр зварювального дроту, мм;

a – щільність струму, А/мм^2 .

Напруження дуги буде дорівнювати

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 + 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \cdot I_{3\phi} \pm 1.$$

Для зварювального дроту діаметром 3,2 мм

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 + 10^{-3}}{\sqrt{3,2}} \cdot 320 \pm 1 = 28 \text{ В};$$

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 + 10^{-3}}{\sqrt{3,2}} \cdot 400 \pm 1 = 30 \text{ В}.$$

Знаючи зварювальний струм, діаметр електрода та напруження дуги, визначаємо коефіцієнт провару

$$\psi = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{3\phi}) \cdot \frac{d_e \cdot U_{\partial}}{I_{3\phi}},$$

де K' – коефіцієнт, величина якого залежить від роду струму та полярності.

$$\psi = 0,77 \cdot (19 - 0,01 \cdot 320) \cdot \frac{3,2 \cdot 28}{320} = 3,4;$$

$$\psi = 0,77 \cdot (19 - 0,01 \cdot 400) \cdot \frac{3,2 \cdot 30}{400} = 2,77.$$

Площа електродного дроту

$$F_{ел.др} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} = 0,0803 \text{ см}^2.$$

Розрахуємо швидкість подачі дроту для перших трьох проходів у кореневій зоні:

$$V_{ел.др} = \frac{\alpha_p \cdot I_{3\phi}}{3600 \cdot F_{ел.др} \cdot \gamma};$$

$$V_{ел.др} = \frac{10 \cdot 320}{3600 \cdot 0,0803 \cdot 7.8} = 50,76 \text{ м/год};$$

$$V_{ел.др} = \frac{10 \cdot 400}{3600 \cdot 0,0803 \cdot 7.8} = 63,72 \text{ м/год},$$

де $F_{ел.др}$ – площа поперечного перерізу електрода, см²;

γ – щільність електродного металу, дроту, г/см².

Величину вильоту електрода при зварюванні під флюсом вибирають залежно від діаметра електрода в межах 20...80 мм. Меншим діаметрам електрода відповідають менші значення вильоту та навпаки.

Більше значення вильоту визначає більше падіння напружень і, як наслідок, зниження величини струму.

При наближених розрахунках можна скористатися виразом

$$l = (8...12) \cdot d_e.$$

Приймемо рівним виліт електрода $l = 29$ мм.

Зважаючи на незначні втрати електродного металу при зварюванні під флюсом, з достатньою для практичних розрахунків точністю, можна прийняти, що коефіцієнт наплавлення α_n дорівнює коефіцієнту розплавлення α_p .

Величина коефіцієнта розплавлення складається з двох доданків

$$\alpha_p = \alpha_p^{\partial} + \alpha_p^m,$$

де α_p^{∂} – складова коефіцієнта розплавлення електрода, обумовлена тепловложенням зварювальної дуги, г/А·год;

α_p^m – складова коефіцієнта розплавлення, що залежить від тепловкладання внаслідок попереднього нагрівання вильоту електрода струмом, що протікає, г/А·год.

$$\alpha_p^{\partial} = 11.6 \pm 0.4 \text{ г/А·год};$$

$$\alpha_p^m = 3.1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{I_{зв}} \cdot \frac{l}{d_e^2};$$

$$\alpha_p^m = 3.1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{320} \cdot \frac{29}{10.24} = 0.15.$$

Коефіцієнт розплавлення дроту суцільного перерізу при зварюванні під флюсом для постійного струму зворотної полярності

$$\alpha_p = 12.15 \text{ г/А} \cdot \text{год.}$$

Розрахуємо швидкість зварювання для перших трьох проходів

$$V_{3\phi} = \frac{\alpha_p \cdot I_{3\phi}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n} = \frac{12.15 \cdot 350}{3600 \cdot 7.8 \cdot 0.256} = 0.4 \text{ м/хв},$$

де F_n – площа поперечного перерізу валика, м²;

γ – щільність металу, що наплавляється.

Погонна енергія

$$q_n = \frac{q_{ef}}{V_{3\phi}} = \frac{I_{3\phi} \cdot U_d \cdot \eta_u}{V_{3\phi}}$$

де η_i – ефективний ККД дуги

$$q_n = \frac{400 \cdot 30 \cdot 0.9}{0.45} = 24000 \text{ Дж/см.}$$

Глибина провару:

$$H = 0,0076 \cdot \sqrt{\frac{q_n}{\psi_{np}}};$$

$$H = 0,0076 \cdot 93,8 = 0,7 \text{ см.}$$

Ширина шва

$$e = \psi_{np} \cdot H = 3.4 \cdot 0.7 = 1.7 \text{ см.}$$

Висота валика:

$$g = \frac{e}{\psi_g} = \frac{1.7}{7} = 0.24 \text{ см.}$$

де значення ψ_g вибирають у межах 7-10.

Загальна висота шва

$$C = H + g = 3,64 \text{ см.}$$

Миттєва швидкість охолодження

$$V_{ox} = -2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \omega \cdot \frac{(T_m - T_o)^2}{q_n}.$$

Враховуючи безрозмірні та поправочні коефіцієнти визначаємо миттєву швидкість охолодження

$$V_{ox} = -2 \cdot 3,14 \cdot 0,39 \cdot 1 \cdot \frac{422500}{36000} = -28 \text{ } ^\circ\text{C/с}.$$

Циліндрична заготовка довжиною 840 мм, діаметром 1030 мм, товщина стінки 48 мм із сталі 10Г2ФБЮ

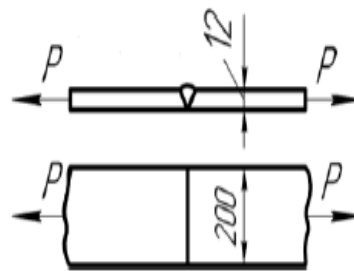


Рисунок 3.4 – Стикове з'єднання

Допустиме напруження при статичному розтягу $[\sigma]_p = 180 \text{ МПа}$.

Допустиме напруження при змінному навантаженні:

$$[\sigma']_p = \gamma \cdot 0,9 \cdot [\sigma]_p;$$

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\min}}{P_{\max}}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{-0,5P_{\min}}{P_{\max}} \right)} = \frac{5}{7};$$

$$[\sigma']_p = \frac{5}{7} \cdot 0,9 \cdot 180 = 116 \text{ МПа}.$$

Умова міцності зварного шва

$$\sigma'_p = \frac{P_{\max}}{F} = \frac{P_{\max}}{1,03 \cdot 0,048} \leq [\sigma']_p = 116 \text{ МПа},$$

звідси

$$[P_{\max}] = 1,03 \cdot 0,048 \cdot 116 = 5,74 \text{ МН}.$$

3.3 Оцінка технологічної міцності зварного з'єднання

Технологічна міцність здатність металу чинити опір різним родам впливу при його технологічній обробці.

Під технологічною міцністю зварного з'єднання розуміють їх здатність чинити опір деформаціям без руйнувань, що виникають під впливом термодеформаційного циклу зварювання.

Технологічна міцність при кристалізації (гарячі тріщини), внаслідок фазових перетворень (холодні тріщини).

Гарячими тріщинами називаються крихкі міжкристалітні руйнування у шві що виникають в області температурного інтервалу крихкості внаслідок впливу зварювального термодетформаційного циклу.

Гарячі тріщини найчастіше виникають у сплавах, що мають виражену великокристалітну будову, з підвищеним вмістом локальних концентрацій легкоплавких фаз.

Відповідно до загальноприйнятих уявлень, вони виникають у тому випадку, якщо інтенсивність наростання деформацій у металі звареної сполуки в період остигання призводить деформаціям більшим, ніж його пластичність у даних температурних умовах.

Утворення гарячих тріщин визначається трьома основними факторами: пластичністю металу, значенням цього інтервалу та характером наростання деформацій при охолодженні.

Для зменшення схильності зварних з'єднань до утворення гарячих тріщин необхідно в процесі виробництва прагнути такого набору властивостей сплаву, а також технологічних прийомів і конструктивного оформлення вузлів, які б забезпечили найменші деформації.

Для цього необхідно прагнути до зменшення температурного інтервалу крихкості та зниження темпів зростання деформацій.

Всі відомі способи підвищення технологічної міцності в кінцевому підсумку зводяться до наступного:

1. Зміна хімічного складу.
2. Вибір оптимального режиму зварювання.
3. Застосування раціонального типу конструкції та порядку накладання зварних швів.

Розглянемо метод кількісної оцінки технологічної міцності.

Сутність його полягає в наступному: випробуваний шов деформується в температурному інтервалі крихкості із заданим темпом наростання деформацій, аж до повного вичерпання пластичності.

Показником опірності утворенню гарячих тріщин служить максимальна швидкість деформації, коли він тріщини ще утворюються

$$HCS = \frac{C(S + P + Si/25 + Ni/100) \cdot 10^3}{3Mn + Cr + M_o + V}.$$

Для сталі 10Г2ФБЮ

$$HCS = \frac{0,13 \cdot (0,035 + 0,3 + 0,35/25 + 0,3/100) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,8 + 0,3 + 0,12} = 7,89.$$

Якщо HCS менше 4, то гарячі тріщини у зварному з'єднанні не утворюються. Для сталі 10Г2ФБЮ характерне утворення гарячих тріщин.

Холодні тріщини – локальне повільне міжкристалічне руйнування металу зварних з'єднань – частий дефект при з'єднанні вуглецевих та легованих сталей, що зазнають при зварюванні часткового або повного загартування.

Вони можуть виникати у всіх зонах зварного з'єднання і розташовуються паралельно або перпендикулярно до осі шва.

Холодні тріщини утворюються після закінчення зварювання нижче температури 420–370 °С протягом наступної доби. Злам холодних тріщин світлий, без помітних слідів окислення.

Основні фактори, що впливають на утворення холодних тріщин:

1. Структурна будова металу зварного з'єднання, що характеризується наявністю складових мартенситного та бейнітного типу.

2. Концентрація дифузійно-рухомого водню в зоні зародження тріщини

3. Рівень розтягуючих зварювальних напруг I роду.

Способи боротьби з холодними тріщинами спрямовані на зменшення або усунення негативної дії основних факторів, що зумовлюють їхнє утворення.

Найчастіше для попередження виникнення холодних тріщин застосовують попередній та/або наступний підігрів зварного з'єднання.

При неможливості підігріву застосовують низьку або високу відпустку зварних вузлів безпосередньо після зварювання.

Способи оцінки схильності до утворення холодних тріщин поділяють на:

- а) характером оцінки – непрямі та прямі;
- б) за характером критерію оцінки – якісні та кількісні;
- в) за характером застосування критерію оцінки – порівняльні та абсолютні.

Непрямі способи дозволяють оцінювати схильність до тріщин розрахунковим шляхом за хімічним складом сталі без випробування сполуки.

Один із таких способів – оцінка потенційної схильності сталі за значенням еквівалента вуглецю $C_{екв}$.

$$P_w = C + \frac{(Si + Mn + Cr + Ni + Cu)}{20} + \frac{M_o}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{[H]}{60} + \frac{K_0 \delta}{40 \cdot 10^3},$$

де H – вміст дифузійного водню, $см^3/100$ г;

K_0 – коефіцієнт жорсткості з'єднання;

δ – товщина металу, мм.

Для сталі 10Г2ФБЮ

$$P_w = 0.13 + \frac{(0,35 + 1,8 + 0,3 + 0,3 + 0,3)}{20} + \frac{1,3}{60} = 1,31.$$

При P_w менше 0.285 холодні тріщини у зварних з'єднаннях не утворюються.

Для сталі 10Г2ФБЮ утворення холодних тріщин характерне.

Сталь 10Г2ФБЮ обмежено зварюється, але бажано одержання складу металу шва, близького до основного металу.

Дана сталь може утворювати гарячі та холодні тріщини, тому є потреби у підігріві та подальшій термообробці.

Зварювання можна проводити як на постійному, так і на змінному струмі. Даному типу джерела відповідає автоматичне дугове зварювання під флюсом.

4 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

4.1 Зварювальні матеріали та обладнання

Виходячи з конкретних вимог та ступеня автоматизації процесу застосовують той чи інший спосіб зварювання та відповідне йому джерело змінного або постійного струму. Застосування передового обладнання просто життєво необхідне.

Для вирішення поставленої завдання було застосовано складальний зварювальний комплекс, що складається з наступних комплектуючих: стаціонарна зварювальна колона «Lincoln Electric», рис. 4.1

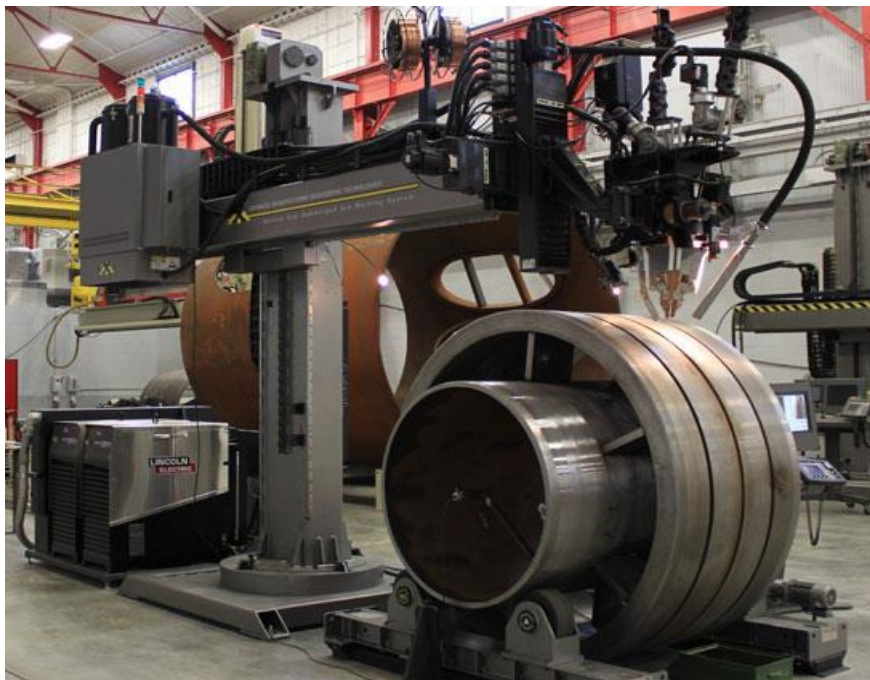


Рисунок 4.1 – Стаціонарна зварювальна колона

Система керування зварювальної колони дозволяє керувати додатковими пристроями у системі, наприклад, зварювальним обертачем та контролювати параметри процесу в режимі реального часу однієї операційної панелі з регульованими налаштуваннями, такими як:

- швидкість зварювання;
- затримка старту зварювання;

- запалювання дуги, і т.д.

Зварювальні колони мають пасивні системи безпеки, такі як ланцюги безпеки, автоматичне гальмування мотор-редуктора у разі збою живлення, та активні, такі як кінцеві вимикачі для запобігання зіткненню колони з будь-якою перешкодою по дорозі переміщення.

Додаткове обладнання включає: систему ТВ спостереження для зварювання MIG/MAG або SAW, джойстик напівавтоматичної або автоматичної корекції положення зварювання та радіокерування

- Механізм подачі дроту, що складається з блоку управління Lincoln Electric MAXsa 10 і головки Lincoln Electric MAXsa 22 є системою на базі зварювального джерела Lincoln Electric Power Wave AC/DC 1000 SD, в якій одночасно реалізовано функції управління зварювальними процесами на змінному та постійному струмі (AC/DC), спеціально розроблені для створення комплексів автоматизованого зварювання.

Лінійку апаратів Power Wave можна назвати хорошим прикладом модульної концепції, яка дозволяє споживачам підібрати найкращу конфігурацію обладнання для того чи іншого завдання. Все обладнання даної лінійки підтримують протокол ArcLink, який дозволяє працювати з будь-якими цифровими механізмами подачі дроту Lincoln Electric, рис. 4.2.

Універсальна система налаштування опцій на цифровому дисплеї полегшує налаштування зварювальної системи зі збереженням усіх параметрів зварювання, що робить експлуатацію максимально ефективною.

Запатентована технологія Лінкольн Waveform Control Technology забезпечує можливість вибору форми струму відповідно до завдання

Зрозумілий інтерфейс, два цифрові табло, вісім осередків пам'яті для зберігання зварювальних параметрів, можливість перемикатися між режимами в процесі зварювання. Регулювання параметрів початку/закінчення зварювання (strike/start/end), керування рухом (travel start/stop), таймер.

Даний комплект - найкраще рішення для створення багатодугових систем та зварювання розщепленою дугою.



Рисунок 4.2 – Механізм подачі дроту

Вузол подачі дроту дозволяє здійснювати зварювання дротом діаметром до 5,6 мм і дроти малого діаметра зі швидкостями до 11,43 м/хв.

Стійкий до несприятливих умов експлуатації комплект: може встановлюватись на відкритому повітрі.

- Джерело живлення моделі Power Wave 1000 AC/DC фірми Lincoln Electric (рис. 4.3) – перше інверторне джерело живлення, що реалізує принципи технології управління формою зварювального струму Wave Control при зварюванні під шаром флюсу.

Висока продуктивність та якість зварного шва, висока потужність при струмі 1000 А, високий ККД – 86%, сучасне програмне забезпечення.

Апарати Power Wave розроблялися відповідно до модульної концепції, завдяки якій кожен споживач може підібрати оптимальну конфігурацію для власних завдань.

Завдяки з'єднанню ArcLink ці апарати мають мережні можливості, які дозволяють підключити їх до будь-яких механізмів подачі дроту

Особливості:

- Багатозадачність – необмежений вибір стандартних, імпульсних та

високотехнологічних процесів зварювання з можливістю встановлення додаткового обладнання для процесів зварювання STT® та Rapid X.

Понад 100 встановлених режимів:

- Ethernet у стандартній комплектації з можливістю встановлення безкоштовних програмних пакетів Power Wave® Manager, Check Point та Production Monitoring на окремий пристрій або мережу з декількох машин.
- Безкоштовне оновлення ПЗ – завдяки якому кожен пристрій Power Wave® може працювати за останніми алгоритмами. Завдяки цьому минулий апгрейд пристрій зможе працювати так само добре, як абсолютно новий.
- Надійність з гарантією необхідного вильоту електрода при завершенні зварювання без ризику застигання у зварювальній ванні.
- Система рециркуляції флюсу фірми ESAB, рис. 4.4.



Рисунок 4.3 – Інверторне джерело живлення Power Wave

Застосування системи рециркуляції флюсу значно підвищує продуктивність зварювального обладнання та ефективність всього виробництва загалом. Системи рециркуляції флюсу – ключ до підвищення рівня автоматизації, а отже, і до продуктивності обладнання для зварювання під шаром флюсу. Перевагами застосування систем є підвищення якості зварних з'єднань, зниження трудомісткості процесу, зниження витрати/втрат флюсу, зниження запиленості повітряного простору виробничого приміщення.



Рисунок 4.4 – Система рециркуляції флюсу

Системи рециркуляції флюсу OPC легко монтуються та прості в експлуатації. Вони сумісні зі стаціонарними та мобільними комплексами.

В основі роботи системи рециркуляції флюсу Esab OPC Basic лежить принцип розрядження з використанням стисненого повітря. Надлишок флюсу, не використаний у процесі зварювання, надходить у бак.

Циклон сепаратор, що розміщений на баку з флюсом, ефективно очищає флюс від пилу. Пил накопичується у фільтрі. Перед попаданням у бункер підібраний флюс проходить очищення через сито для відділення від частинок шлаку.

Особливості;

- Жорстка та компактна конструкція.
- Простота в експлуатації та обслуговуванні.
- Вбудовані системи, що відрізняються максимальною продуктивністю, низькими капітальними витратами та експлуатаційними витратами.
- Адаптовані до зварювальних систем A2 або A6 – мобільних чи стаціонарних.

- Використовується тільки стиснене повітря – безпечно та недорого.
- Можна вбудувати в комплексну систему подачі та відновлення флюсу FFRS.

Три типи фільтрів; фільтр мішків для варіантів застосування A2, циклонний фільтр з мішковим фільтром для більшості варіантів застосування A6 і фільтр Tedak для застосування у важких умовах експлуатації.

Система OPC включає: виштовхувач, циклон, фільтр з кріпильними компонентами, страхувальне кріплення, всмоктувальний шланг і чотири всмоктувальні патрубки (для стикових зварювальних швів, стандартних і великих; для кутових зварювальних швів, лівих і правих).

Базова система відновлення флюсу OPC ґрунтується на виштовхуванні з використанням стисненого повітря.

Циклонний фільтр у верхній частині флюсового бункера ефективно відокремлює пил від відновленого флюсу.

Вигар відокремлюється, після чого флюс повертається в бункер.

Система супервідновлення флюсу OPC є аналогом базової системи, але обладнана більш потужним виштовхувачем і циклоном, завдяки чому забезпечується краще всмоктування.

Можна також використовувати з підігрітим флюсом.

Були застосовані такі зварювальні матеріали високої якості для виконання поставленого завдання:

1) Зварювальний дріт ОК «Autrod 13.24» Ø3,2 мм.

Дріт ОК Autrod 13.24 призначений для електродугового зварювання під флюсом низьколегованих конструкційних сталей підвищеної міцності та високоміцних сталей, рис. 4.5.

2) Зварювальний флюс ОК «Flux 10.71». Флюс ОК Flux 10.71 – основний, керамічний, що забезпечує невелике відновлення Mn та Si.

Він призначений для одно і багатопрохідного зварювання стикових з'єднань з вуглецевих, низьколегованих та високоміцних сталей із забезпеченням необхідної ударної в'язкості до -40°C, рис. 4.6.



Рисунок 4.5 – Зварювальний дріт

OK Flux 10.71 є флюсом алюмінатно-основного типу, що має для даної шлакової системи досить високу електропровідність, як на постійному, так і на змінному струмі.



Рисунок 4.6 – Зварювальний флюс

OK Flux 10.71 поєднує хороші пластичні властивості наплавленого металу з чудовими зварювально-технологічними характеристиками. Шлак, що швидко твердне, у поєднанні з високими швидкостями, на яких можна виконувати зварювання (за наявності відповідного обладнання), дозволяють виконувати горизонтальні поясні шви на вертикальних стінках ємнісних сховищ.

Він підходить для одно- та дводугового зварювання, зварювання розщепленою дугою, а також дводугового зварювання розщепленими дугами стикових, нахлесткових та кутових швів.

Флюс однаково добре працює як на постійному, так і змінному струмі. Хороша відокремлюваність шлаку та незначне легування Si та Mn робить його відмінним флюсом для багатопрохідного зварювання товстостінних виробів.

Незначна лускатість наплавленого металу дозволяє виконувати зварювання на високих швидкостях, і все це у поєднанні з дуже добрими значеннями ударної в'язкості.

Гранульований основний флюс. Висока продуктивність наплавлення, досить хороші пластичні властивості наплавленого металу при температурах до -50°C , при зварюванні в комбінації зі стандартними нелегованими дротиками, дозволяють цьому флюсу відповідати найвищим вимогам до багатопрохідного зварювання.

Режими прожарювання: $275-325^{\circ}\text{C}$, 2-4 години.

4.2 Пристрій для центрування, збирання та переміщення труб

Внутрішній центратор – це агрегат, що використовується для центрування торців труб. Він необхідний для полегшення процесу складання поворотних і неповоротних стиків перед їх зварюванням на трасі під час будівництва магістральних трубопроводів, рис. 4.7.

За рахунок високої міцності конструкції. досягається висока ефективність навіть під час тривалого процесу зварювання із застосуванням різних механізмів, агрегатів та апаратів. центрів для труб забезпечує не тільки максимальну точність складання зварних швів різних труб з діаметром від 530 до 1620 мм, але також може виправити деформацію та нерівність торців, якщо повалює його конструкція та сила гідравліки.

Центратори бувають зовнішніми та внутрішніми і відрізняються вони один від друга способом монтажу. Зовнішній тип встановлюються із зовнішнього боку. Зовнішні центратори простіші і діляться на труб машини з гідродомкратною та ексцентриковою для вирівнювання окремо деформованих ділянок та для неповоротних стиків.

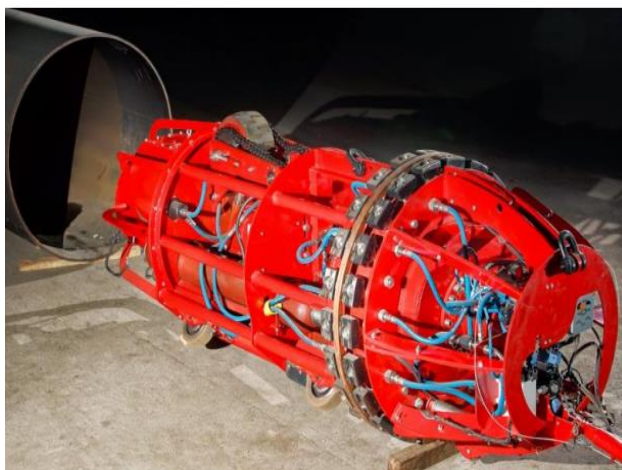


Рисунок 4.7 – Внутрішній гідравлічний центратор ЦВ-124

Другий тип більш універсальних, тому що може використовуватися на трубопроводах різного діаметра труб форму кола, забезпечуючи при цьому концентричну збірку розраховані на тривалий процес зварювання, а повністю відритий стик дозволяє здійснювати процес безперервно та з використанням зварювальних агрегатів.

Центратори внутрішні гідравлічні типу ЦВ, приклад представлений на рисунку, з двома незалежними центруючими видами затисків, призначені для центрування торців секцій та окремих труб при температурі навколишнього середовища від -40 до $+40$ С, при неповоротному зварюванні лінійної частини трубопроводів та центрування торців труб при поворотному зварюванні у секції на трубозварювальних базах.

Центратори укомплектовані спеціальною штангою та є гідравлічною машиною з автономним приводом.

Для кожного з конкретних випадків застосування необхідний внутрішній центратор з певним набором параметрів та характеристик. Однак у загальному випадку всі центаври класу ЦВ складаються з гідравлічної системи, електричного приводу, центруючих жимків та спеціальної штанги, довжина якої може змінюватись в залежності від існуючих умов. Для роботи з трубами діаметром більше 1000мм у комплектації може постачатися промисловий вентилятор, який охолоджує централів внутрішній ЦВ процесі роботи.

Живлення такої машини може здійснюватися від зварювальних апаратів постійного струму. Тип рідини, що використовується для роботи системи гідравліки, залежить від марки гідронасосу.

Підсумовуючи, слід зазначити, що внутрішні центратори – це автоматизування агрегати, які у багато разів полегшують зварювальні роботи з трубами різної довжини і діаметра в різних умовах середовища (температура, вологість).

Вони мають високий рівень захисту і досить мобільні, що дозволяє працювати у польових умовах.

При використанні центру торів такого типу значно покращується якість зварного шва та зростає швидкість зварювання. Що важливо при будівництві трубопроводів.

Пристрій для переміщення труб. Траверси є конструкції фаєм зі стропами, які підвішуються за допомогою укріплених по кінцях балок блоків. Ці пристрої створюють рівномірний натяг стропів, а також передачу навантаження до точок захвату.

Розрізняють такі основні типи траверс, рис. 4.8.

1. Лінійна з підвіскою за центр може бути застосована для роботи з великим переліком вантажів:

- для виконання підйому та переміщення рейок або рейкошпальних ґрат;
- контейнерів із захватами за нижні або верхні фітинги;
- для листової сталі;
- різних довгомірів (арматури, труб, прогонових балок, пиломатеріалу та іншого);
- для зняття та встановлення скла в дерев'яної тарі на транспортні засоби чи місце складування;
- для сендвіч-панелей під час виконання різноманітних монтажних робіт;
- енергетичного обладнання;
- для підйому та подальшого переміщення автомобілів разом із спеціалізованими захопленнями.

2. Лінійна траверса двома точками для підвісу може бути також застосована для подібних робіт, як і пристрій з підвіскою за центр, однак у цьому випадку є деякі особливості застосування того чи іншого виду.

3. Н-подібні призначені для здійснення та переміщення вантажів, які вимагають кріплення за чотири точки, причому з вертикальним розташуванням строп.

Такі вироби використовуються:

- для підйому листової сталі разом із захопленнями;
- для підйому різноманітних довгомірів (прогонових балок, труб, пиломатеріалу та арматури) разом з круглорядними або промислового обладнання, яке має 4 технологічні отвори або фітингу (електростанції, зварювальні апарати та інші).

4. Х-подібна траверса з підвішуванням за центр необхідна для підйому та переміщення різних вантажів, які вимагають підвести за 4 кінці.

Вона може також комплектуватись різними типами строп, що мають спеціалізовані захоплення.

5. Рамний виріб для підвісу служить для переміщення та підйому вантажів та об'єктів, які потребують підвіски за чотири краї, причому в умовах підвищених вимог до мас вантажозахоплювальна.

Використовується для підйому:

- суден,
- контейнерів,
- листової сталі,
- будівельних конструкцій,
- труб,
- технологічного обладнання та ін. 6.

Спеціалізовані траверси необхідні для підйому деяких специфічних вантажів, наприклад, рулонної сталі, будівельних матеріалів та т.п. подібні пристрої дозволяють виконувати перевантаження довгомірних об'єктів, а також вантажів, які потребують спеціальних методів стропування

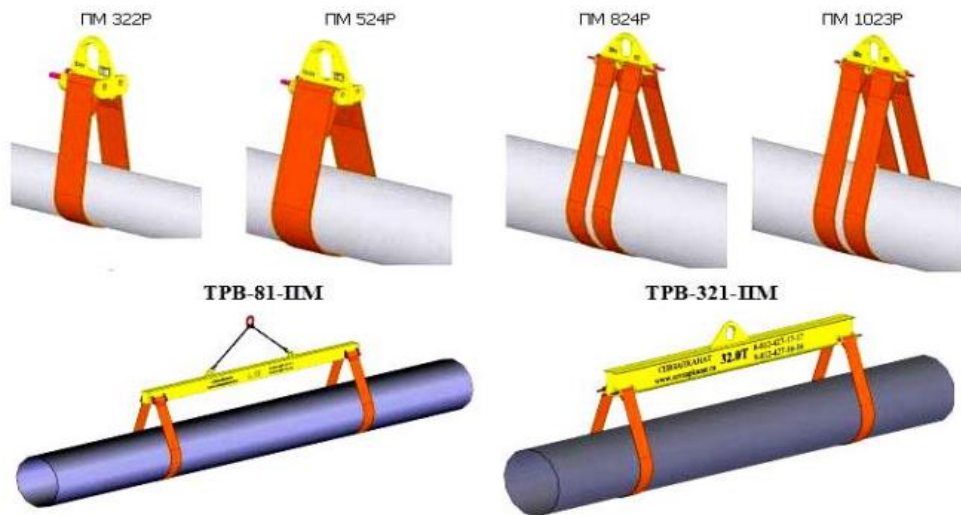


Рисунок 4.8– Основні типи траверс

При складанні та стикуванні двотрубних секцій зазвичай використовують траверси.

Діаметр і товщина стінки труби, довжина, маса секцій є основними параметрами траверси.

4.3 Вимоги до контролю якості зварювальних робіт

На стадіях виготовлення заготовок, монтажу та зварювання виконується виробничий контроль якості зварювальних робіт, для здійснення якого залучаються інженерно-технічні працівники, співробітники зварювальних лабораторій, органи технічного нагляду замовника.

У процесі виробництва та приймання трійників основні контрольні операції включають:

- вхідний контроль;
- операційний контроль;
- приймальний контроль.

Контрольні операції, що проводяться, встановлюють можливість виконання зварювальних робіт з дотриманням необхідного рівня якості продукції, що випускається.

Також призначення контрольних операцій – виявляти причини появи браку.

Вхідний контроль проводиться перед початком виконання складання та зварювання, він включає в себе:

- перевірку правильності оформлення технологічної документації виготовлення зварного трійника;
- перевірка кваліфікації робочого персоналу (інженерів, дефектоскопістів та зварників);
- перевірка якості зварювальних матеріалів (дроту та захисного газу);
- перевірка робочого стану контрольного обладнання, справність інструментів та пристроїв для контролю;
- перевірка результатів випробувань якості зварювання контрольних зразків;
- контроль правильності призначення та встановлення параметрів режиму зварювання.

Поопераційний контроль включає:

- контроль правильності виконання підготовки зварювальних кромок;
- перевірка якості, кількості, розмірів та місць проставлення прихваток;
- перевірка правильності складання (перпендикулярність, зазори і т.д.);
- перевірка правильності призначення та підтримання температури попереднього підігріву;
- перевірка правильності виконання термічної обробки конструкції після зварювання.

Зварені стики трубопроводів підлягають контролю. Обсяг та способи контролю визначаються експлуатаційними вимогами та вказуються в проектній документації чи технологічних картах.

Самий поширений метод контролю зварювання – зовнішній огляд та вимірювання. Огляду піддаються всі шви без винятку. У процесі огляду виявляють наявність зовнішніх дефектів (тріщин, пропалів, підрізів, непроварів та ін.).

Також при поопераційному контролі у процесі зварювання виконується перевірка:

- призначення та підтримання параметрів режиму зварювання;
- розміри зварювальних валиків та правильність послідовності накладання зварних швів;
- правильність виконання пошарового зачищення зварних швів;
- відсутність дефектів у зварних швах (перевіряється після кожного шару);
- проставлення тавра зварювальника після виконання зварювання.

При приймальному контролі зварних з'єднань перевіряється якість виконання зварювання шляхом візуального та вимірювального контролю, неруйнівного контролю, гідравлічних випробувань.

Перед проведенням візуального та вимірювального контролю якості слід виконати очищення зварних швів та прилеглих поверхонь від бризок металу, шлаку та інших забруднень. Перевірка візуальних і вимірювальним контролем піддаються 100% зварних з'єднань.

Для перевірки геометричних параметрів швів використовуються шаблони, щупи, стандартні вимірювальні інструменти.



Рисунок 4.9 – Універсальний двополосний рентгенівський апарат YXLON.MG 325/425

За результатами візуального контролю мають бути виконані такі вимоги до зварного з'єднання:

- зварні шви не повинні мати різких переходів до основного металу, поверхня швів повинна бути гладкою та рівномірною шорховаті;
- зварні шви не повинні мати видимих пропалів, напливів та звужень по всій довжині, не допускаються непровари в корені шва, шлакові включення та пори, подрізи;
- не допускається наявність тріщин будь-якої форми та орієнтації;
- у місцях вимушеної зупинки зварювання катери мають бути заварені.

Для виконання візуального та вимірювального контролю застосовується спеціальний набір .

Радіографічний метод проводиться стосовно 100 % зварних з'єднань. Для його проведення застосовується рентгенівський апарат постійної напруги YXLON.MG 325/425.

4.4 Устаткування для зварювання трійників труб

Багато проводять зварювання в нижньому чи горизонтальному положенні. Для цього доцільно застосування зварювального обертача РТ-3000 (рис. 4.10).

Конструкцій обертача дозволяє установку на ньому із зварюваних деталей, переміщення з маршовою швидкістю для орієнтування деталей у зручне положення при зварюванні, обертання зі зварювальною швидкістю при виконанні зварних швів.

Цей обертач може з успіхом застосовуватися при складанні роботизованих технологічних комплексів на сучасних підприємствах.

Промисловий робот М710 іВ/45-іАW дозволяє виконувати наступні операції, рис. 4.11:

- складання;
- укладання деталей;

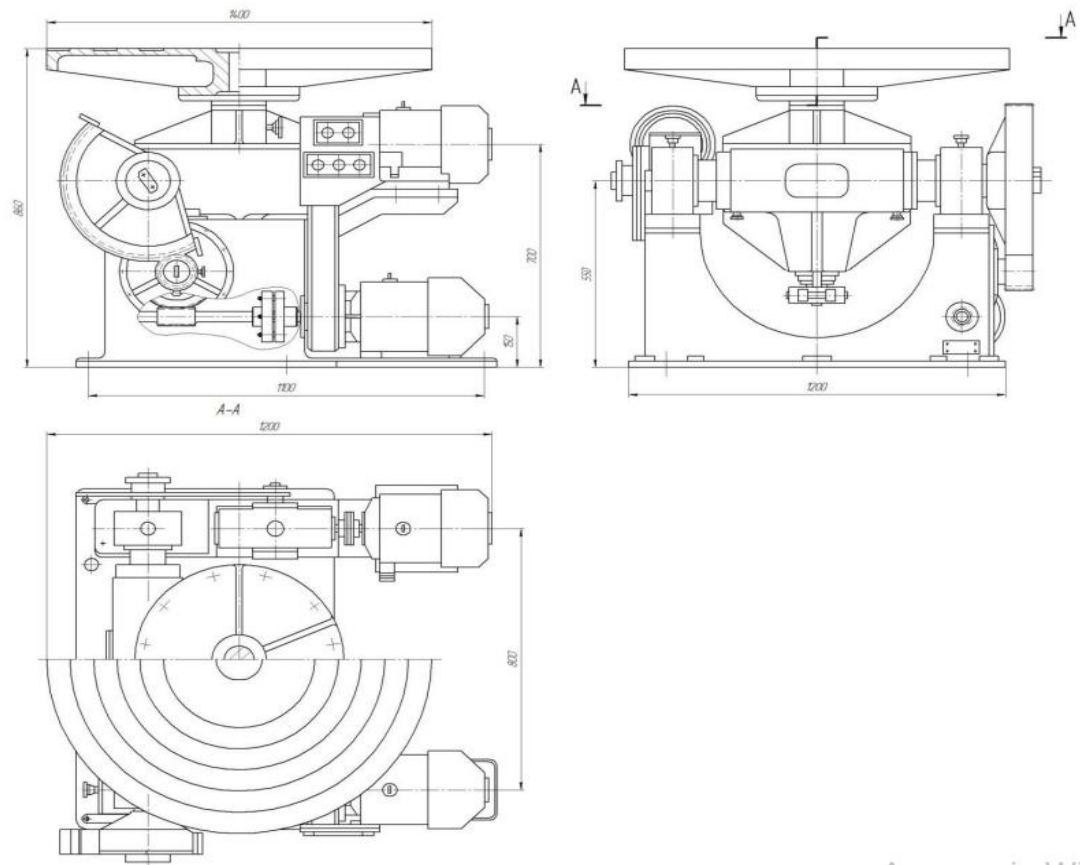


Рисунок 4.10 – Зварювальний обертач

- завантаження / розвантаження деталей;
- обслуговування технологічного обладнання.

Комплектація робота представлена на рис. 4.12.

До складу робота входить базисна основа 1, щодо якої відбувається обертання каруселі 2 довкола осі A1.

Коромисло 3 забезпечує поворот навколо осі робота A2. Основа руки 4 забезпечує поворот руки навколо осі A3.

Рука робота 5 дозволяє виконувати обертання навколо осі A4.

Пензель робота забезпечує орієнтацію схвата шляхом повороту навколо осей A5 та A6.

Таким робота забезпечує переміщення навколо шести осей.

Камера об'ємного бачення 7 закріплена на пензлі робота.

Також на пензлі робота розміщуються сенсор зусилля 8 та захоплення деталей 9.



Рисунок 4.11 – Промисловий робот M710 iB/45-iAW

5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1.1 Аварії з викидом або загрозою викиду небезпечних хімічних речовин

Проблема промислової безпеки значно загострилася з появою великомасштабних хімічних виробництв у першій половині нашого сторіччя. Основу хімічної промисловості склали виробництва неперервного циклу, продуктивність яких не має, по суті, природних обмежень.

Постійне зростання продуктивності зумовлене значними економічними перевагами великих настанов. Як наслідок, зростає зміст небезпечних речовин у технологічних апаратах, що супроводжується виникненням загроз катастрофічних пожеж, вибухів, токсичних викидів та інших руйнівних явищ.

Аварії (катастрофі) на підприємствах, транспорті та продуктопроводах можуть супроводжуватись викидом (виливом) в атмосферу і на прилеглу територію небезпечних хімічних речовин (НХР), таких як хлор, аміак, синильна кислота, фосген, сірчаний ангідрид тощо. Це є серйозною загрозою для населення, адже заражене повітря вражає органи дихання, а також очі, шкіру та інші органи.

За даними ДСНС України: Аварії (катастрофи) на підприємствах, транспорті та продуктопроводах можуть супроводжуватися викидом (виливом) в атмосферу і на прилеглу територію небезпечних хімічних речовин (НХР), таких як хлор, аміак, синильна кислота, фосген, сірчаний ангідрид тощо.

Це є серйозною загрозою для населення, адже заражене повітря вражає органи дихання, а також очі, шкіру та інші органи.

Фактори загрози викиду (розливу) хімічно небезпечних речовин: забруднення довкілля, загрозою для всього живого, що опинилося на забрудненій місцевості (загибель людей, тварин, знищення посівів та ін.).

Крім того, внаслідок можливого хімічного вибуху – виникнення сильних руйнувань на значній території.

Небезпечна хімічна речовина (НХР) – хімічна речовина, безпосередня чи опосередкована дія якої на людину може спричинити загибель, гостре чи хронічне захворювання людей, завдання шкоди навколишньому середовищу [12]. 4.4. Аварії з викидом або загрозою викиду небезпечних хімічних речовин

Проблема промислової безпеки значно загострилася з появою великомасштабних хімічних виробництв у першій половині нашого сторіччя. Основу хімічної промисловості склали виробництва неперервного циклу, продуктивність яких не має, по суті, природних обмежень.

Постійне зростання продуктивності зумовлене значними економічними перевагами великих настанов. Як наслідок, зростає зміст небезпечних речовин у технологічних апаратах, що супроводжується виникненням загроз катастрофічних пожеж, вибухів, токсичних викидів та інших руйнівних явищ.

Аварії (катастрофі) на підприємствах, транспорті та продуктопроводах можуть супроводжуватись викидом (виливом) в атмосферу і на прилеглу територію небезпечних хімічних речовин (НХР), таких як хлор, аміак, синильна кислота, фосген, сірчаний ангідрид тощо. Це є серйозною загрозою для населення, адже заражене повітря вражає органи дихання, а також очі, шкіру та інші органи.

За даними ДСНС України: Аварії (катастрофи) на підприємствах, транспорті та продуктопроводах можуть супроводжуватися викидом (виливом) в атмосферу і на прилеглу територію небезпечних хімічних речовин (НХР), таких як хлор, аміак, синильна кислота, фосген, сірчаний ангідрид тощо. Це є серйозною загрозою для населення, адже заражене повітря вражає органи дихання, а також очі, шкіру та інші органи.

Фактори загрози викиду (розливу) хімічно небезпечних речовин: забруднення довкілля, загрозою для всього живого, що опинилося на забрудненій місцевості (загибель людей, тварин, знищення посівів та ін.), крім того, внаслідок можливого хімічного вибуху – виникнення сильних руйнувань на значній території.

Класифікація небезпечних хімічних речовин:

1. Ступінь токсичності при інгаляційному і пероральному надходженні до організму. За ступенем дії на організм людини НХР поділяються на чотири класи безпеки :

I – надзвичайно небезпечні;

II – високо небезпечні;

III – помірно небезпечні;

IV – мало небезпечні.

Ознака переважного синдрому при гострій інтоксикації передбачає поділ НХР на шість груп:

- перша група – речовини з переважно задушливою дією (хлор, трихлористий фосфор, фосген, хлориди сірки тощо) - шляхом вдихання парів через деякий час викликають токсичний набряк легенів;

- друга група – речовини переважно загальної токсичної дії (синильна кислота, оксид вуглецю, акролеїн, динітрофенол тощо) – викликають гострі порушення енергетичного обміну в організмі; у разі потрапляння до організму людини смертельних доз, з'являються клонікотонічні судоми, різкий ціаноз, гостра серцево-судинна недостатність, зупинка дихання;

- третя група – речовини, яким властива задушлива і загально отруйна дія (сірководень, сульфатний ангідрид, оксид азоту тощо) – мають здатність до сильної опікової дії, що значно ускладнює надання допомоги потерпілим; у разі високих концентрацій спостерігаються судоми, знепритомніння, глибокий наркоз зі зникненням усіх рефлексів;

- четверта група – нейротропні отрути, що діють на генерацію і передавання нервового імпульсу (фосфорорганічні сполуки, сірковуглець, метилмеркаптан) – діють на нервову систему людини; у разі високих концентрацій – це глибокий наркоз зі зникненням усіх рефлексів, падіння артеріального тиску, порушення серцевого ритму;

- п'ята група – речовини із задушливою і нейротропною дією (аміак, гептил, ацетонітрил тощо) - викликають гіпертонію, кон'юктивіт носоглотки,

кашель, блювання; в основі дії на нервову систему лежить вплив на генерацію і передавання нервового імпульсу, що посилює стан гіпоксії, викликаной порушенням зовнішнього дихання;

- шоста група – метаболічні отрути (діоксин, метилбромід, метанол, формальдегід) - втручаються у процес обміну речовин в організмі; отруєння характеризується відсутністю нервової реакції організму на речовину, але поступово уражується багато органів людини.

3. За здатністю до горіння НХР поділяються на:

- горючі – легко займаються від джерела запалювання та продовжують самостійно горіти після його вилучення (аміл, акрилонітрил, гептил, сірковуглець, оксиди азоту тощо);

- важкогорючі – не здатні самостійно горіти після вилучення джерела запалювання (аміак рідкий, ціаністий водень тощо);

- негорючі – не здатні до горіння в атмосфері нормального складу (з концентрацією кисню до 2%) при температурі до 900 град.С (фтористий кисень, фосген, оксид вуглецю, сірчаний ангідрид тощо);

- негорючі пожежонебезпечні – окислювачі (хлор, азотна кислота тощо), що розкладаються при низьких температурах, призводять до займання горючих матеріалів, з якими контактують.

Стан безпеки на хімічно небезпечних об'єктах України розглянуто у другому розділі даного навчального посібника. Безпека функціонування ХНО залежить від багатьох факторів: фізико-хімічних властивостей сировини, напівпродуктів і продуктів, від характеру технологічного процесу і надійності обладнання, умов зберігання і транспортування хімічних речовин, стану контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації, ефективності засобів протиаварійного захисту тощо. Крім того, безпека виробництва, використання, зберігання і перевезення НХР в значній мірі залежить від рівня організації профілактичної роботи, своєчасності і якості планових попереджувальних робіт, підготовленості і практичних навиків персоналу, системи нагляду за станом технічних засобів проти аварійного захисту.

5.2 Охорона праці

5.2.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при зварюванні

У наш час не можливо уявити будь-яке виробництво, де б не проводилися зварювальні роботи. Якщо ці роботи не входять до основного технологічного процесу виробництва, то вони проводяться під час ремонту засобів виробництва, виробничих приміщень та інше.

Задля запобігання виникненню нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань серед електрозварників роботодавцям необхідно знати наступну інформацію.

До виконання електрозварювальних робіт допускаються особи не молодше 18-річного віку, які пройшли медичний огляд, навчені за програмою теоретичної і практичної підготовки, пройшли навчання, перевірку знань та інструктажі з питань охорони праці, мають посвідчення установленого зразка та групу з електробезпеки не нижче другої.

На зварювальника під час зварювання в тій чи іншій мірі існує можливість впливів таких небезпечних факторів:

- ураження променями електричної дуги очей і відкритої поверхні шкіри;
- ураження електричним струмом при дотику до струмоведучих частин електричного кола;
- опіки від крапель металу і шлаку під час зварювання;
- отруєння шкідливими газами, що виділяються під час зварювання та забруднення приміщень пилом і випарами різних речовин;
- вибухи через проведення процесу зварювання в ємностях з-під горючих речовин або виконання зварювання поблизу легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин;
- пожежі від розплавленого металу і шлаку в процесі зварювання;
- травми різного роду механічного характеру під час підготовки важких виробів до зварювання і в процесі зварювання.

Для запобігання небезпеці ураження електричним струмом необхідно, щоб джерела живлення мали автоматичні пристрої, що відключають їх при обриві дуги протягом не більше 0,5 секунди.

Враховуючи непостійну величину електричного опору людського тіла, безпечним вважають напругу не вище 12 В (переносне освітлення).

З метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом зварювальнику слід дотримуватися таких правил:

1) надійна ізоляція всіх проводів, пов'язаних із живленням джерела струму і зварювальної дуги, пристрій герметично закритих пристроїв увімкнення, заземлення корпусів зварювальних апаратів (заземленню підлягають: корпуси джерел живлення, апаратного ящика, допоміжне електричне обладнання; перетин заземлювальних проводів повинен бути не менше 25 мм²);

2) застосування в джерелах живлення автоматичних вимикачів високої напруги, які в момент холостого ходу розривають зварювальний ланцюг і подають на тримач напругу 12 В;

3) надійний пристрій електродотримача з гарною ізоляцією, яка гарантує, що не буде випадкового контакту струмоведучих частин електродотримача зі зварювальним виробом або руками зварювальника;

4) робота у справно-сухому спецодязі і рукавицях. Під час роботи в тісних відсіках і замкнених просторах обов'язкове використання гумових калош і килимків, джерел освітлення з напругою не більше 6–12 В.

Для захисту очей та обличчя від ураження променями електричної дуги та бризок розплавленого металу необхідно використовувати спеціальні захисні маски із затемненим склом.

Для запобігання небезпеці ураження бризками розплавленого металу і шлаку використовують спецодяг (штани, куртку і рукавиці) з брезентової або спеціальної тканини.

У процесі зварювання частина зварювального дроту, покриттів, флюсів переходить у пароподібний та пилоподібний стан.

Найбільш небезпечні для здоров'я зварювальників є пари марганцю, оскільки отруєння марганцем може викликати тривале і стійке ураження центральної нервової системи аж до паралічів.

Гострі отруєння парами цинку і свинцю можуть викликати ливарну лихоманку, а отруєння хромовим ангідридом – бронхіальну астму.

Тривале відкладання пилу в легенях може викликати пневмоконікози.

Всі зазначені ураження можуть виникнути, якщо зварювання виконують із грубим порушенням правил техніки безпеки та охорони праці, що стосуються забезпечення загальної та місцевої вентиляції, застосування індивідуальних засобів захисту (масок, респіраторів), особливо під час зварювання кольорових металів і їх сплавів, а також у тісних, замкнених відсіках при недостатній вентиляції тощо.

Надійним елементом для захисту органів дихання вважається респіратор, який зручно одягати під маску зварювальника.

На практиці добре зарекомендували себе респіратори з вуглецевим покриттям. Вони захищають органи дихання від зварювального диму, аерозолів, пилу та органічних запахів нижче гранично допустимих концентрацій.

Наявність клапанів видиху полегшує дихання і дозволяє успішно застосовувати такі респіратори при підвищених температурах.

Вибухонебезпечність існує під час виконання робіт у приміщеннях, що мають велику кількість пилоподібних органічних речовин (харчового борошна, торфу, кам'яного вугілля).

Цей пил при певній концентрації може спричиняти вибухи великої сили. Крім ретельної вентиляції, для проведення зварювальних робіт у таких приміщеннях потрібно спеціальний дозвіл пожежної охорони.

Небезпека виникнення пожеж від розплавленого металу і шлаку існує також у тих випадках, коли зварювання виконують по металу, що закриває дерево або горючі матеріали, на дерев'яних риштуваннях, поблизу легкозаймистих матеріалів тощо.

Основними причинами травматизму під час підготовки важких виробів до зварювання і в процесі зварювання є:

- відсутність чи несправність транспортних засобів для транспортування важких деталей і виробів та несправність такелажних пристроїв;
- несправний інструмент: кувалди, молотки, гайкові ключі, зубила тощо.

Для запобігання травмам, пов'язаним зі складальними і транспортними операціями (травми механічного характеру), важливе значення має впровадження комплексної механізації та автоматизації.

Крім цього, керівники підприємств повинні знати, що зварювальні роботи належать до робіт підвищеної небезпеки, виконання яких здійснюється роботодавцем на підставі декларації відповідності матеріально-технічної бази вимогам законодавства з питань охорони праці.

Декларація видається у встановленому порядку Головним управлінням Держпраці та її територіальними органами.

ВИСНОВКИ

Роботизація та автоматизація виробництва є невід'ємною частиною сучасного виробництва резервуарів. З метою підвищення якості, швидкості випуску продукції багато підприємств прагнуть роботизувати своє виробництво з мінімальними витратами.

В даний момент на базовому підприємстві відсутні будь-які роботизовані комплекси зварювання, однак є потенціал для його впровадження та отримання позитивних результатів, оскільки виробництво резервуарів є значною галуззю нафтогазохімічної промисловості, тому впровадження нових методів може значно просунути виробника на ринку.

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