МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та будівництва "ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Зіньков Андрій Павлович

_____
(підпис)

Група ЗТ-21-1

Розроблення технології зварювання каркасу резервуара

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів
“Інжиніринг зварювальних технологій”
спеціальності 131 “Прикладна механіка”

Керівник:	**Завідувач кафедри будівництва:**
д.т.н., проф.	***к.т.н., доц.***
Шлапак Л.С.	***Андрусяк А.В.***
_____***підпис***	_____***підпис***

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Інститут архітектури та будівництва "ІФНТУНГ-ДонНАБА" Кафедра будівництва

ОПП "Інжиніринг зварювальних технологій"

Спеціальність 131 "Прикладна механіка"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри БУД
А.В. Андрусяк
(*ініціали, прізвище*)
_____
(*підпис*)
"____"_____2025 р.

ЗАВДАННЯ

на випускну кваліфікаційну роботу бакалавра
студента Зінькова Андрія Павловича

1.Тема роботи Розроблення технології зварювання каркасу резервуара

Затверджена наказом по університету № 283/7 від " 07" 05. 2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи_____

3. Вихідні дані до роботи
Технічні умови на виготовлення корпусу ємності, креслення виробу, умови експлуатації резервуару, матеріал виробу сталь 09Г2С.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити 1 Загальний розділ. 1.1 Загальна характеристика зварної конструкції корпусу корпусу ємності, та її елементів. 1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу. 1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності. 1.4. Технічні вимоги на виготовлення. 1.5 Особливості базової технології виготовлення корпусу цистерни. 2 Технологічний розділ. 2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування. 2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання. 2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів. 2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання. 2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування. 2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції. 2.2.1 Заготівельні операції. 2.2.2 Розробка технології складання та зварювання. 2.2.3 Технічний контроль якості та виправлення браку. 3. Конструкторський розділ. 3.1 Компонування складальних та зварювальних установок. 3.2 Розрахунок роликового стенду 3.3 Розробка плану цеху. 4. Безпека праці.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Загальний вигляд корпусу резервуару. 2. Схема технологічного процесу виготовлення резервуару. 3. Установка для складання кільцевих стиків обичайок. 4. Установка для складання кільцевих стиків обичайок. 5. Технологічна скоба. 6. Установка для зварювання резервуару. 7. План дільниці цеху.
6. Дата видачі завдання_____
Керівник _____ Шлапак Л.С.
Завдання прийняв до виконання _____ Зіньков А.П.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Найменування роботи	Термін виконання	Фактичне виконання
1.	Вибір теми, її затвердження		
2.	Ознайомлення з рекомендованою літературою		
3.	Загальний розділ		
4.	Технологічний розділ		
5.	Конструкторський розділ		
6.	Безпека праці		
7.	Виконання розрахунково-графічної частини, додатків та ілюстрацій до роботи		
8.	Ознайомлення керівника з чорновим варіантом роботи		
9.	Оформлення роботи		
10.	Представлення роботи на кафедрі		
11.	Направлення на рецензування		

Студент_____ Зіньков А.П.

Керівник_____Шлапак Л.С.

РЕФЕРАТ

Робота бакалавра складається із 10 слайдів презентації, пояснювальної записки із 72 аркушів, 19 рисунків, 12 таблиць та 29 посилань на використану літературу.

Об’єкт роботи – технологічний процес складання-зварювання корпусу резервуару.

Мета роботи – розроблення технології складання та зварювання, вибір оптимального зварювального обладнання, зварювальних матеріалів для виготовлення корпусу резервуару.

У роботі бакалавра технологічний процес виготовлення корпусу резервуару розроблено з урахуванням серійності виробництва на основі технологій виготовлення типових конструкцій.

Ключові слова: ЗВАРЮВАННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ДРІТ, ЗВАРНЕ З’ЄДНАННЯ, ОБИЧАЙКА, КОРПУС.

ABSTRACT

The bachelor's work consists of 10 presentation slides, an explanatory note of 72 sheets, 19 figures, 12 tables and 29 references to the literature used.

The object of the work is the technological process of assembling and welding the tank body.

The purpose of the work is to develop the technology of assembling and welding, select the optimal welding equipment, welding materials for the manufacture of the tank body.

In the bachelor's work, the technological process of manufacturing the tank body is developed taking into account the serial production based on the manufacturing technologies of typical structures.

Keywords: WELDING, WELDING WIRE, WELDING JOINT, LAYER, BODY.

ЗМІСТ

Вступ……6
1 Загальний розділ……8
1.1 Загальна характеристика конструкції зварного корпусу резервуару……8
1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу……10
1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності……11
1.4 Технічні умови на виготовлення резервуару……15
1.5 Особливості базової технології виготовлення резервуару ……17
2 Технологічний розділ……21
2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування……21
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання……21
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів……22
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання……23
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування……27
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції……31
2.2.1 Заготівельні операції……31
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання……40
2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями……41
2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку……43

3 Конструкторський розділ……...46
3.1 Компонування складальних та зварювальних установок……....46
3.2 Розрахунок роликового стенду……..…….....52
3.3 Розробка плану цеху……..…..61
4 Безпека праці……....64
Висновки…….67
Список використаних джерел……...69
Додатки……72

ВСТУП

На даний момент для нетрубопровідного транспортування нафти та нафтопродуктів використовують усі види вантажного транспорту. Нафта, газ та їх похідні є високотоксичними, вибухо- та вогненебезпечними речовинами, тому їх перевезення та зберігання регулюються спеціальними стандартами. В нормативних документах України визначені всі норми для кожного виду газів і нафтопродуктів - допустиму тару та спосіб її заповнення, необхідні запобіжні заходи та умови зберігання. Так для різних видів палива та інших світлих нафтопродуктів допускається перевезення у металевих бочках та каністрах із максимальним обсягом завантаження 95% від загальної ємності. Для "в'язких" нафтопродуктів - мастил, бітумів, допускається використання полімерних посудин, немає обмежень за обсягом заповнення. Деякі в'язкі нафтопродукти - наприклад, бітум - можуть вимагати підігріву при зливі, інші речовини - пристроїв у вигляді нижнього зливного пристрою або електроізоляційного захисного шару. Тому практично для кожного нафтопродукту існують спеціалізовані ємності, залізничні та автомобільні резервуари, що повністю задовольняють норми безпеки та практичності [1].

У кожного виду транспортування є свої плюси та мінуси. Найбільш швидкий повітряний спосіб дуже дорогий, вимагає особливих заходів безпеки, тому цим способом доставки користуються рідко - у випадках екстреної необхідності або неможливості доставити продукту іншим шляхом. Наприклад, у військових цілях чи випадках фактичної недоступності місцевості іншим, крім повітряного, видів транспорту [1].

Впроваджуючи сучасне зварювальне обладнання та прогресивні технології зварювання, необхідно акцентувати увагу на поліпшенні якості виробу, що виробляється. Так як навіть при добре відпрацьованій технології зварювання

можливі різноманітні дефекти, що призводять до зниження надійності виробу, необхідна розробка та здійснення сучасних засобів і методів неруйнівного контролю. Практика показує, що правильна організація процесів, а також вміле застосування того чи іншого методу або поєднання методів під час контролю дозволяють з великою надійністю оцінити якість зварних з'єднань.

Незважаючи на зручність залізничного способу перевезення нафтопродуктів на великі відстані, нафтопродукти - такі як бензин, дизельне паливо або скраплений газ - оптимально доставляти автоцистернами на невеликі відстані, до місця реалізації. Перевезення палива у такий спосіб помітно підвищує його споживчу вартість. Рентабельність автоперевезень обмежується відстанню 300-400 кілометрів, що визначає їх локальний характер - від нафтобази до заправної станції і назад.

При розрахунку на міцність посудину вважають тонкостінною, якщо товщина її стінки значно менша від інших розмірів (у 20 разів і більше). З позицій конструктивного оформлення зварних з'єднань та технології виготовлення посудини вважають тонкостінним, якщо товщина стінки не перевищує 7...10 мм [1].

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна характеристика конструкції зварного корпусу резервуару, та його елементів

Резервуари призначені для перевезення рідких, газоподібних, пилоподібних вантажів, які поміщаються в котлі, що є специфічною формою кузова. В залежності від вантажів, що перевозяться, резервуари можуть бути розділені на дві групи: [2]

- загального призначення для перевезення широкої номенклатури нафтопродуктів;

- спеціальні резервуари, для певних видів вантажів.

Резервуари загального призначення у свою чергу поділяються на резервуари для перевезення світлих (бензин, тощо) та темних (нафта, мінеральні мастила тощо) нафтопродуктів. Підвищена небезпека займання світлих нафтопродуктів зобов'язує створення повної герметичності верхньої кришки, так і нижнього зливного приладу. В залежності від виду несучих елементів резервуари поділяють на конструкції, які сприймають усі основні навантаження, що сприймаються рамою, і конструкції, у яких ці навантаження сприймаються котлом – безрамні резервуари.

Корпус резервуару складається з обичайок, днищ та хвилерізів, виготовлених із сталі 09Г2С ГОСТ 19281-89, які з'єднуються між собою кільцевими швами (рис.1.1).

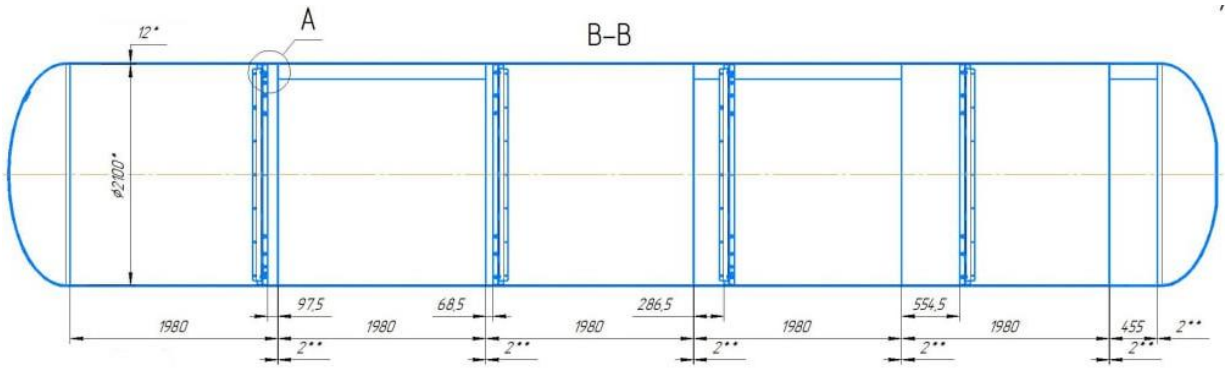


Рисунок 1.1 – Корпус резервуару

Обичайка - конічний або циліндричний барабан без днищ виготовлений з листового матеріалу. Основна функція обичайок - бути огороджувальною корпусною конструкцією ємностей для зберігання та перевезення будь-яких рідин або газів або здійснення деяких технологічних процесів. В залежності від призначення визначаються і матеріали, що використовуються — це можуть бути вуглецеві або низьколеговані сталі, теплостійкі, високоміцні, нержавіючі або жароміцні сталі; двошарові сталі; кольорові метали - алюмінієві або титанові; біметали "сталь-алюміній". Експлуатаційні характеристики зварних швів повинні відповідати основним функціям: з одного боку, з'єднання забезпечують загальну міцність конструкції; з іншого боку, вони повинні бути герметичні та витримувати певні тиски. [3]

Заготівельні матеріали повинні мати сертифікати або іншу супровідну документацію, що підтверджує їхню відповідність вимогам стандартів або технічних умов. За сертифікатами заводу-постачальника матеріалу, перевіряють відповідність його якості та характеристик, вимог стандартів та технічних умов за ГОСТ 7566-81. За відсутності у сертифікатах необхідних характеристик матеріалу їх визначає завод-виробник посудин.

Комплектуючі вироби та матеріали повинні пройти вхідний контроль відповідно до вимог ГОСТ 24297.

Дозволяється заміна матеріалів та закупівельних виробів за погодженням з розробником, якщо при цьому не погіршується працездатність, якість та надійність вузлів резервуару. [4]

1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу

Щоб підвищити технологічність виготовлення циліндричної автомобільної зварної цистерни, потрібно врахувати кілька ключових напрямків: конструктивні, виробничі, матеріальні та організаційні. Ось основні шляхи: [5]

Конструктивне удосконалення [5]

Уніфікація елементів: стандартизація люків, фланців, опор, горловин, щоб зменшити кількість індивідуальних деталей.

Спрощення форми деталей: уникати складних вигинів, змінного радіусу та фрезерування — це полегшує виготовлення та зварювання.

Мінімізація кількості зварних швів: чим менше швів — тим менше часу на зварювання та перевірку.

Зменшення товщини стінок, якщо дозволяє міцність, — це зменшує масу та спрощує обробку.

Покращення технології виготовлення [5]

Автоматизація зварювання: використання автоматичних або напівавтоматичних зварювальних установок для циліндричних поверхонь.

Ротаційне збирання: застосування кондукторів, що дозволяють обертати бак під час зварювання, зменшує деформації.

Прецизійна підготовка країв: забезпечує якісні шви без повторного проходу.

Використання лазерного або плазмового різання: точніше й швидше за традиційні методи.

Вибір матеріалів

Застосування високоміцних сталей: дозволяє зменшити масу конструкції при збереженні міцності.

Матеріали з кращою зварюваністю: наприклад, сталі з низьким вмістом вуглецю (типу 09Г2С).

Організаційні та виробничі аспекти

Модульне збирання: виготовлення резервуару з окремих великогабаритних блоків.

Застосування шаблонів і кондукторів для прискорення складання.

Цифрове моделювання (CAD/CAM): допомагає виявити складні ділянки. ще до початку виробництва.

Контроль якості та випробування

Застосування неруйнівного контролю (ультразвук, рентген) автоматизованими системами.

Тестування на герметичність методом надлишкового тиску — краще інтегрувати це як окрему лінію.

Підвищення технологічності - це не лише спрощення конструкції, а й зменшення трудомісткості, витрат часу, кількості дефектів, а також зниження собівартості. Найбільший ефект дає комплексний підхід: модернізація конструкції, впровадження сучасних технологій та автоматизація. [5]

1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності

Сталь 09Г2С відноситься до кремнемарганцевистих низьколегованих сталей перлітного класу, які використовуються для відповідальних зварних конструкцій, що можуть експлуатуватися за температур нижче від -40°С до +40°С. Ці сталі в основному поставляються в гарячекатаному або нормалізованому стані, що підвищує їх міцність і стійкість додатково на 20-50%.

Також необхідні високі характеристики міцності таких сталей забезпечуються за рахунок додаткового легування іншими елементами: Mn, Cr, Si, V та ін. Введення легуючих елементів до складу сталі підвищує механічні властивості сталі і, зокрема, знижує поріг холодноламкості. Внаслідок цього з'являється можливість знизити масу конструкції. Наявність Mn у сталях підвищує ударну в'язкість і холодноламкість, забезпечуючи задовільну зварюваність. [3]

Розглянута сталь має гарну зварюваність, технологія її зварювання повинна забезпечувати певний комплекс вимог, основними з яких є рівноміцність зварного з'єднання з основним металом і відсутність дефектів у зварювальному шві. Забезпечення рівноміцності металу шва з основним металом досягається в основному рахунок легування його елементами, що переходять з основного металу. Іноді для підвищення міцності і стійкості до крихкого руйнування, метал шва додатково легують через зварювальний дріт.

У металургійній практиці Mn, Cr, Mo знижують дифузійну рухливість і знижують температурний інтервал структурного перетворення. Тому при загальноприйнятих режимах зварювання в навколошовній ділянці зростає можливість утворення мартенситу і знижується опір зварних з'єднань утворенню холодних тріщин. Mn зміцнює ферит, знижує температуру початку структурного перетворення, сприяє процесу карбідоутворення. [3]

За реакцією на термічний цикл низьколегована низьковуглецева сталь мало відрізняється від звичайної низьковуглецевої. Відмінності спостерігаються в основному в дещо більшій схильності до утворення гартівних структур у металі шва та навколошовної зони при підвищених швидкостях охолодження. Це пов'язано з тим, що легуючі елементи при зварюванні розчиняються у фериті і подрібнюють перлітну складову, що при охолодженні гальмує процес розпаду аустеніту і діє рівносильно деякому збільшенню швидкості охолодження. Тому, при зварюванні в зоні термічного впливу на ділянках, де метал нагрівається вище температур точки Ac1 (при підвищених швидкостях охолодження), можуть утворюватися гартівні структури. При цьому метал, що нагрівається до

температур значно вище температури точки Ac3, матиме більш зернисту ферито-перлітну структуру відманштеттового типу зі зниженою ударною в'язкістю.

При зварюванні термічно зміцнених сталей на ділянках рекристалізації та синеламкості може відбутися відпуск, що характеризується структурою сорбіту відпуску, зі зниженням їх властивостей міцності. З метою зниження знеміцнення в навколошовній зоні термозміцнені низьколеговані сталі слід зварювати за мінімально можливої погонної енергії. [1]

Підвищення стійкості до утворення тріщин досягається вибором відповідної технології зварювання (послідовності виконання швів, забезпечення сприятливої форми провару), використанням зварювального дроту зі зниженим вмістом вуглецю, сірки, ніж у металі, що зварюється, і застосування раціональної конструкції виробу [5].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 09Г2С у % (ГОСТ 19281-2014) [4]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
до 0.12	0.5-0.8	1.3-1.7	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.3	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості при Т=20 °С сталі 09Г2С за ГОСТ 19281-2014) [4]

Сортамент	$\sigma_{в}$	$\sigma_{т}$	δ_{5}
-	МПа	МПа	%
Лист	500	350	21

Даній сталі притаманні такі ж характерні властивості при термообробці як і для звичайної низьковуглецевої сталі. Основні відмінності полягають у більшій схильності до утворення структур загартування в металі шва та зоні термічного впливу за високої швидкості охолодження. При високих швидкостях охолодження в швах цього матеріалу крім стандартного фериту та перліту можна знайти мартенсит, бейніт та залишковий аустеніт. Мартенсит у такому

шві практично не утворюється, а бейніт – ферито-карбідна суміш із високою дисперсністю. Розмір структурних елементів змінюється при змінах температурних циклів зварювання. При малій погонній енергії в металі шва підвищуються дисперсність і кількість мартенситу, бейніту та залишкового аустеніту. [6]

При малій величині гартівних структур вони мало впливають на механічні властивості зварних з'єднань через рівномірне і дезорієнтоване розташування цих елементів у м'якій феритній матриці. Але зі збільшенням відсотка таких структур у шві та навколошовних зонах зменшується пластичність металу та його показники стійкості до крихкого руйнування. Введення додаткових легуючих елементів у сталь наприклад марганцю, кремнію та інших елементів буде збільшувати утворення у зварних швах структур гартування. Тому режими при зварюванні багатьох низьколегованих сталей обмежуються меншими (за значеннями погонної енергії) межами, ніж для зварювання низьковуглецевих сталей.

Рівноміцність металу шва з основним металом досягають при легуванні його елементами, які переходять із основного металу. Іноді збільшення міцності і стійкості до крихкого руйнування виконують додатковим легування металу зварного з'єднання через зварювальний дріт. [7]

Стійкість металу зварного з'єднання до кристалізаційних тріщин при зварюванні низьколегованих сталей менша, ніж для низьковуглецевих, це пов'язано зі збільшенням негативного впливу вуглецю різними легуючими елементами, наприклад, кремнієм. Збільшення стійкості до утворення тріщин досягають зменшенням вмісту в зварному з'єднанні вуглецю, сірки та інших елементів при використанні зварювального дроту із зменшеним вмістом розглянутих елементів, і застосуванням необхідної технології зварювання (послідовності накладання зварних швів, отримання сприятливих форм провару) і раціональної конструкції деталі. Враховуючи вище нищенаведене, а також

досвід зварювального виробництва, вважаємо, що сталь 09Г2С зварюється добре [8].

1.4 Технічні умови на виготовлення резервуару

Конструкція відноситься до першого класу відповідальності за ОСТ 23.2.429-80, зазнає змінних і ударних навантажень, тому вимогами до виробу і швів є міцність з'єднань, герметичність, точність конструкції резервуару.

При виготовленні до конструкції ставляться такі вимоги:

до матеріалів, що поставляються: [8]

- для виготовлення поясів обичайок та днищ використовувати листовий прокат;

- якість та марки матеріалів, що застосовуються при виготовленні конструкції, повинні відповідати вимогам відповідних стандартів та технічних умов і засвідчуватися сертифікатами чи паспортами заводів-постачальників;

- контроль якості поверхні, розмірів та вимоги прокату повинні відповідати ГОСТ 16523-97;

- розшарування в листах не допускається;

- при транспортуванні та зберіганні листового прокату виключити його пошкодження та деформування;

до заготівельних операцій:

- для виготовлення поясів обичайок та вирізання заготовок днищ використовувати механічне різання;

- схема механічного різання повинна забезпечити отримання заданих розмірів з похибкою ±0,5 мм;

- якість кромок після механічного різання має виключати подальшу механічну обробку;

- після різання пояс обичайок піддати вальцюванню;

- методи розмітки не повинні допускати пошкодження робочої поверхні деталей;

- перед зварюванням очистити кромки всіх елементів, що зварюються, від мастила, води та інших забруднень, на відстані 15 – 20 мм;

- очищення провести механізованим способом;

до складально-зварювальних операцій:

- при складанні використовувати підйомно-транспортне обладнання;

- при складанні забезпечити взаємне розташування елементів з дотриманням зазорів згідно з кресленням;

- складання зробити так, щоб був вільний доступ до виконання зварювальних робіт у послідовності, передбаченій технологічним процесом;

- для складання використовувати спеціалізовані складальні пристрої та прихоплення;

- прихоплення ретельно зачистити;

- прихоплення не повинні мати пор та тріщин;

- шви виконати згідно з ГОСТ 14771 – 76;

- як захисний газ використовувати суміш вуглекислого газу ГОСТ 8050-85 і аргону ГОСТ 10157-73 (10%); також використовувати редуктори типу У-30-П-2;

- використовувати дріт діаметром 1,2 мм марки Св-08Г2С за ГОСТ 2246 - 70.

- зварювальний дріт очистити від іржі, жирів та інших забруднень.

- кільцеві, поздовжні шви, а також шви, що приєднують до корпусу резервуару днища, виконувати безперервними;

- шви зачистити від напливів та нерівностей;

- шви виконувати у певній послідовності;

до якості зварних швів:

- усі шви контролювати візуально – вимірювальним методом;

- після зварювання провести випробування на герметичність;

- у зварних швах не допускати без виправлення тріщини, непровари, пропали, шлакові включення. [9]

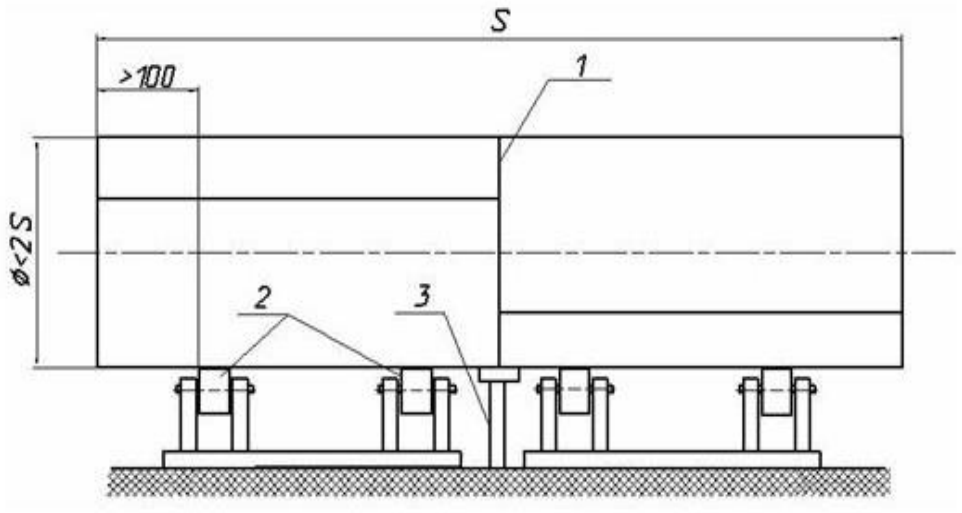
1.5 Особливості базової технології виготовлення резервуару

В загальному випадку використання способу зварювання обичайок і вибору типу зварювального устаткування залежить від форми, габаритних розмірів конструкції, довжини і розміщення зварних швів, типу виробництва.

Перед складанням кільцевого стика обичайки необхідно підготувати наявні пристосування для складання і закріплення деталей в процесі постановки прихоплень. Пристосування для складання (стягувальні, калібрувальні кільця, бандажі) мають бути вказані в технологічному процесі на виріб.

В процесі складання кільцевого стику корпусу застосовуються роликоопори або стенди для складання кільцевих стиків обичайок, різної вантажопідйомності в залежності від габаритів і маси виробу, пневматичні або гідравлічні скоби. [10]

Схема розташування зібраної заготовки корпусу на роликовому стенді приведена на рисунку 1.2.



1 – зварний кільцевий шов; 2 – роликоопори; 3 – флюсова подушка

Рисунок 1.2 – Схема встановлення обичайок корпусу на роликовий стенд

При установці деталей на складальний роликовий стенд необхідно дотримувати наступні вимоги [11]:

– краї обичайки повинні виходити за роликоопори не менше, чим на 100 мм;

– не допускається встановлювати на роликоопори обичайки, в яких відношення діаметру до довжини більше двох (див. рисунок 1.2), а міжцентрова відстань між опорними роликами не менше діаметру корпусу;

– стежити щоб цент ваги виробу не розташовувався поза роликовим стендом;

– дотримувати вимоги до вантажопідйомності роликів.

Перед виконанням прихоплень необхідно перевірити правильність встановленого зазору між кромками, зсув кромок і плавність переходу при різній товщині зварюваних листів відповідно до вимог креслення. Зсуви кромок необхідно виправити за допомогою струбцин або інших допоміжних пристосувань [12].

Довжина прихоплень повинна складати (2..3)·S, але не більше 100 мм, а відстань між ними (10…40)·S, але не більш 500 мм, де S – товщина стінки корпусу. У випадку якщо зібрані на прихопленнях деталі підлягають транспортуванню до зварювання, їх кількість, розташування і розміри мають бути розраховані на навантаження від транспортувань, у тому числі від власної ваги.

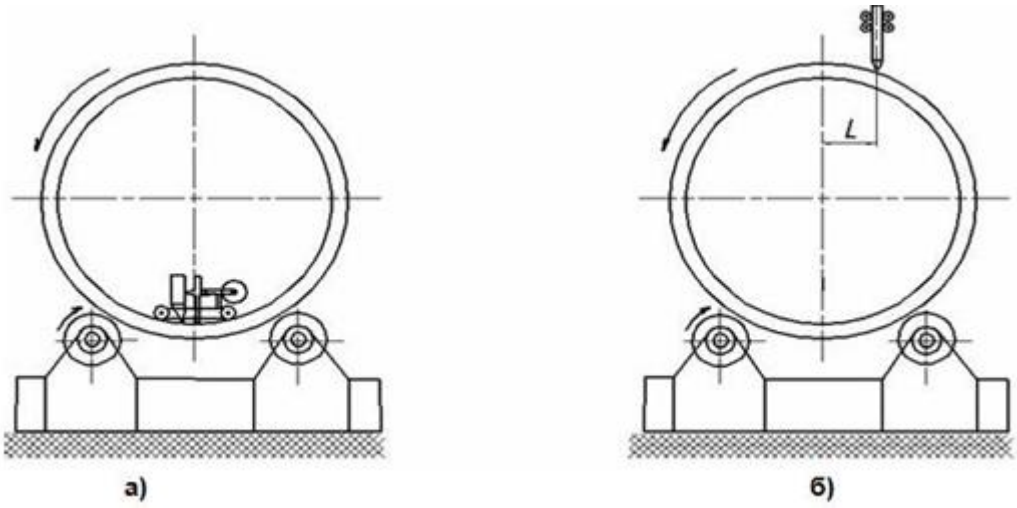
При виконанні автоматичного електродугового зварювання під шаром флюсу необхідно виконати наступні вимоги [7]:

1. Зварювання слід виконувати лише після перевірки якості складання.

2. При зварюванні сталей необхідно дотримуватися вимог по попередньому підігріванню.

3. При виконанні двостороннього зварювання необхідно підготувати і встановити флюсову подушку.

4. Встановити зварювальний апарат зсередини і виконати зварювання корпусу (рисунок 1.3, а), при зварюванні зовнішнього шва компонування обладнання буде наступне (рисунок 1.3, б).



а – зварювання з внутрішньої сторони корпусу;

б – зварювання із зовнішньої сторони корпусу

Рисунок 1.3 – Схеми зварювання кільцевого стика обичайки

5. При виконанні першого шару зварювальна дуга має бути зміщена від вертикальної осі виробу на величину L = 100 – 150 мм (рисунок 1.3, б).

6. Встановити режими зварювання в залежності від товщини і матеріалу деталі.

7. Виконання кожного наступного шару виконувати після ретельної зачистки попереднього шару від шлаку, бризок і окалини, за допомогою металевих щіток і зубила.

8. Зварювання здійснюється з обов'язковою розкладкою валиків і перекриванням їх на 1/3 ширини.

9. В разі обриву дуги перед відновленням зварювання кратер шва і прилегла до нього ділянка на відстані 10 – 15 мм мають бути очищені від шлаку.

При цьому запалення дуги необхідно виконати на відстані 10 – 15 мм від кратера.

10. При утворенні пропалів, витікаючий метал слід видалити механічним способом [12].

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання

Широке застосування зварювання під шаром флюсу в промисловості пояснюється високою продуктивністю процесу, високою якістю та стабільністю властивостей зварного з'єднання, покращеними умовами праці, нижчою, ніж при ручному зварюванні, витратою зварювальних матеріалів. При зварюванні під флюсом практично відсутні втрати на вигоряння і розбризкування електродного металу (не більше 1-3%) [13].

Для утримання флюсу від зсипання при виконанні кільцевих швів необхідно використовувати спеціальні флюсоутримувальні пристрої. Зазор між кромками повинен бути в межах 0 - 3 мм (ГОСТ 8713-79). У зв'язку з цим необхідно застосовувати ручне або напівавтоматичне підварювання зі зворотного боку для запобігання протіканню розплавленого металу в розроблення і утворення пропалу. Для підварювання потрібно застосовувати інший способ зварювання, до того ж погіршуються умови зварювання. Виконання підварювального шва із зовнішнього боку вимагатиме контролю якості.

Зварювання в захисних газах також має високу продуктивність і в порівнянні зі зварюванням під шаром флюсу є більш швидко налагоджувальним та маневреним способом зварювання [6].

Для проходження необхідних металургійних процесів та захисту металу від навколишнього середовища використовуються активні гази (CO_2, O_2, H_2, N_2, повітря), інертні гази (Ar, He) та їх суміші. Інертні гази в основному застосовуються для зварювання кольорових металів і сплавів, а також середньо- і високолегованих нержавіючих, жароміцних та окалиностійких сталей.

Використання активних газів має важливий недолік - підвищене розбризкування розплавленого металу. У зв'язку з цим, як захисне середовище доцільніше використовувати суміші активних та інертних газів. Централізована подача газу та можливість спостереження за зварювальною ванною та дугою, характерні для зварювання в захисних газах, дозволяють використовувати напівавтоматичне зварювання для виконання прихоплень під час складання [14].

Таким чином, для зварювання обичайок, приварювання днищ даної конструкції резервуару раціонально застосовувати автоматичне зварювання під шаром флюсу, а для прихоплення, зварювання коротких швів використовувати зварювання в середовищі суміші захисних газів.

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

Для зварювання обичайок корпусу резервуару виготовлених з сталі 09Г2С, будемо застосовувати автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу АН–348А і зварювальний дріт марки Св–08Г2С (таблиця 2.1.).

Таблиця 2.1 – Хімічний склад зварювального дроту марки Св–08Г2С, % [10]

Марка дроту	**C**	**Si**	**Ni**	**Cr**	**Mo**	**Mn**	**Ti**	**S**	**P**
Св–08Г2С	0,05 – 0,1	0,7-0,9	0,25	0,1	–	0,35 – 0,60	–	не > 0,03	не > 0,03

Хімічний склад зварювального флюсу приведений в таблиці 2.2 [10].

Таблиця 2.2 – Хімічний склад зварювального флюсу марки АН – 348А, % [7].

Марка флюсу	**SiO_2**	**MnO**	**CaO**	**MgO**	**Al_2O_3**	**CaF_2**	**Fe_2O_3**	**S**	**P**
АН–348А	40–41	34–38	6,5	5–7,5	4,5	4–5,5	2,0	0,15	0,12

Механізоване зварювання в середовищі захисних газів використовуємо для прихоплення, приварювання елементів кріплень та інших коротких зварних швів із застосуванням зварювального дроту марки Св–08Г2С та захисної зварювальної суміші газів МІКС-1 - 82%Ar + 18% CO_2 [10].

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Режими напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів обираємо з літературних даних, табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Режими напівавтоматичного зварювання в середовищі суміші захисних газів [10]

Товщина сталі, мм	Положення шва в просторі	Режим зварювання				
		Діаметр зварювального дроту, мм	Сила зварювального струму, А	Напруга дуги, В	Швидкість зварювання, м/год	Виліт електродного дроту, мм
3	Нижнє	1,0	200-210	22-24	70	10
	Горизонтальне			22-24	90	
	Вертикальне			20-23	90	
	Стельове			22-24	90	
4	Нижнє	0,8	200-230	22-24	55	12
	Горизонтальне		200-210	20-22	60	10
	Вертикальне		185-180	20-22	90	
	Стельове		210-220	22-24	63	
5	Нижнє	1,0	260-270	25-27	47	12
	Вертикальне	1,0	210-220	25-27	55	10
	Вертикальне (зварювання на підйом)	0,8	170-180	21-23	36	8
		1,0	250-250	24-26	54	10
	Горизонтальне	1,0	220-230	23-25	63	10
	Стельове					

Витрата вуглекислого газу 8-12 л/хв у всіх випадках.

Параметри режиму автоматичного зварювання під шаром флюсу.

Струм зварювання визначається за формулою 2.1.[15]

$$I_{зв} = 100\frac{h}{k}, A \qquad (2.1)$$

де h - глибина проплавлення основного металу:

$$h = \frac{s}{2} \pm (1...3), мм$$

де s – товщина основного металу;

k – коефіцієнт, що враховує умови зварювання [16].

Приймаємо діаметр електродного дроту рівним 1,6 мм. Тоді отримаємо:

$$\text{h} = \frac{12}{2} + 1 = 7 \text{ мм}$$

$$I_{зв} = 100\frac{7}{1{,}55} = 387 \text{ А}.$$

Отже, струм приймаємо 390 А. Виконуємо уточнення діаметру електродного дроту за формулою 2.2. [16]

$$d_e = 2\sqrt{\frac{I_{зв}}{j \cdot \pi}}; \qquad (2.2)$$

де $j = 100 А/мм^2$ густина струму.

Тоді

$$\text{d}_\text{e} = 2\sqrt{\frac{387}{50 \cdot 3{,}14}} = 3 \text{ мм}$$

Напругу зварювальної дуги визначаємо за формулою 2.3.

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} I_{зв} \pm 1; B \qquad (2.3)$$

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} \cdot 390 = 30 \text{ В}$$

Площа підсилення зварного шва:

$$F_1 = 0{,}75 \cdot l \cdot q\,, \qquad (2.4)$$

де l – ширина зазору шва, *м*;

q – величина підсилення шва, *м*; [16]

$$F_1 = 0{,}75 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 1{,}5 \cdot 10^{-5}\, м^2\,.$$

Визначимо площу наплавленого металу:

$$F_2 = h_ш \cdot l\,, \qquad (2.5)$$

де $h_ш$ – висота шва, *м*;

l – ширина зазору шва, *м*;

$$F_2 = 0{,}008 \cdot 0{,}002 = 16 \cdot 10^{-6}\, м^2\,.$$

Отже, площа наплавленого металу в поперечному перерізі:

$$F = F_1 + F_2\,, \qquad (2.6)$$

де F_1 – площа поперечного перерізу величини підсилення шва, *мм*^{2};

F_2 – площа наплавленого металу в поперечному перерізі шва, *мм*^{2}; [16]

$$F = 1{,}5 \cdot 10^{-5} + 16 \cdot 10^{-6} = 31 \cdot 10^{-6}\, м^2\,.$$

Коефіцієнт наплавлення визначаємо за формулою:

$$\alpha_н = A + B \cdot \frac{I_{зв}}{d_{ел}}\,, \qquad [16] \qquad (2.7)$$

де A – коефіцієнт пропорційності, при постійному струмі, A=2,3;

B – коефіцієнт пропорційності при постійному струмі, B=0,04;

$I_{зв}$ – сила зварювального струму, *А*;

$d_{ел}$ – діаметр електроду, *мм*; [16]

$$\alpha_н = 2{,}3 + 0{,}04 \cdot \frac{530}{3} = 9{,}37 \, г \cdot А/год.$$

Швидкість зварювання розраховуємо за формулою 2.4.

$$v_{зв} = \frac{\alpha_н I_{зв}}{\gamma F_н 100}; \quad (2.8)$$

де $\alpha_н$ – коефіцієнт наплавлення;

γ – густина металу $\gamma = 0{,}78$ г/см^3;

Приймаємо $\alpha_н$=14 г/А год за довідниковими даними.

Тоді:

$$v_{зв} = \frac{14 \cdot 390}{0{,}78 \cdot 2{,}3 \cdot 100} = 30 м/год$$

Швидкість подачі дроту визначається за формулою 2.6.

$$v_{п.д} = \frac{4\alpha_н I_{зв}}{\pi d^2 \gamma}, м/год; \quad (2.9)$$

$$v_{п.д} = \frac{4 \cdot 14 \cdot 390}{3{,}14 \cdot 3^2 \cdot 7{,}8} = 99 м/год$$

Режими автоматичного зварювання, які необхідні для виготовлення резервуару подані в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Режими зварювання циліндричної цистерни

Номер шва	**Сила струму $I_{зв}$,А**	**Напруга на дузі $U_д$, В**	**Діаметр дроту $d_е$,мм**	**Швидкість зварювання $V_{зв}$,м/год**	**Швидкість подачі дроту $V_{п.д.}$, м/год**
N1	390	30	3	30	99
N2	370	29	3	35	110
N3	380	32	3	28	115

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування

При виборі конструктивної схеми складального чи зварювального обладнання необхідно передбачити можливість механізації чи автоматизації зварювальних операцій; оперативність та надійність базування та закріплення деталей або виробу; зручність виконання складальних та зварювальних операцій.

Для прихоплення при складанні, приварювання кріпильних елементів, виконанні коротких зварних швів будемо використовувати зварювальний напівавтомат Fronius TransSteel 3000 C PULSE (рис. 2.1).

Рисунок 2.1 - Зварювальний напівавтомат Fronius TransSteel 3000 C PULSE

Технічні характеристики зварювального напівавтомата Fronius TransSteel 3000 C PULSE [17]:

Напруга мережі	380 / 400V
допуск сетевого напряжения	-10 / +15%
Зварювальний струм мінімальний	10 A
Зварювальний струм максимальний	300 A
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	300A / 40%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	280A / 60%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	240A / 100%
Діапазон робочої напруги Мінімальний	14,5 V
Напруга холостого ходу	59 V
Клас захисту	IP23

Для зварювання зовнішніх і внутрішніх, повздовжніх та кільцевих стиків обичайок резервуару ми вибираємо зварювальний трактор типу ТС–35. Трактор призначений для автоматичного електродугового зварювання повздовжніх та кільцевих швів, в комплектації з велосипедним візком типу ВТ–2Б, для зварювання металу товщиною від 5 до 40 мм.

Технічні характеристики зварювального трактора типу ТС–35 [18]:

- Діаметр електродного дроту, мм……1,6 – 5
- Швидкість подачі електродного дроту, м/год. ……50–500
- Швидкість зварювання, м/год. ……12–20
- Номінальний зварювальний струм при ПВ=60%, А……1000
- Діапазон регулювання зварювального струму, А……400–1000
- Напруга мережі живлення, В……220 або 380
- Вертикальне коректування мундштука, мм……±12,5
- Поперечне зміщення супорта, мм……±60
- Вага електродного дроту в касеті, кг……15
- Місткість бункера для флюсу, дм^3……6
- Габаритні розміри трактора, мм:
  - довжина……850
  - ширина……530
  - висота……490
- Вага, кг……48

Зварювальний трактор є універсальним автоматом з електродвигуном змінного струму, який переміщується під час зварювання безпосередньо по самому виробу або по направляючих. Універсальність зварювального трактора ТС–35 досягається заміною вузлів і деталей, які входять в комплект постачання, за допомогою яких можна налаштувати трактор на зварювання необхідного типу шва.

Зварювання виконується з постійною швидкістю подачі електроду, яка не залежить від напруги на дузі. Швидкість зварювання і подачі електродного дроту трактора типу ТС–35 налаштовується змінними шестернями.

Автоматичне приварювання днищ до обичайок резервуару можна виконати на автоматі АДС–1000–2.

Автомат АДС–1000–2 додатково може піддаватися модернізації для збільшення швидкості подачі дроту, це важливо при зварюванні малих діаметрів

Технічні дані зварювального автомату типу АДС–1000–2 [19]:

- Напруга мережі живлення, В……..380
- Номінальний зварювальний струм %, А……..1000
- Номінальний режим роботи ПР, %.....65
- Діаметр електродного дроту, мм……..3 – 6
- Швидкість подачі зварювального дроту, м/год. ……..30 – 135
- Швидкість зварювання, м/год. ……..15 – 70
- Витрати захисної суміші газів, л/хв……..15 – 30
- Габаритні розміри, мм:

  довжина……1010

  ширина……344

  висота……662

Для зварювання повздовжніх та кільцевих стиків обичайок резервуару ми використовуємо автоматичне електродугове зварювання під шаром флюсу. В якості джерела живлення зварювального трактора ми обираємо зварювальний трансформатор ТДФ–1201, який призначений для автоматичного зварювання під шаром флюсу.

Технічні характеристики зварювального трансформатора ТДФ–1201 [20]:

- Напруга однофазної мережі живлення, В……..380
- Вторинна напруга холостого ходу, В:

  I ступінь……..94

  II ступінь……113
- Номінальна вторинна напруга, В:

  I ступінь……40

  II ступінь……70
- Номінальний зварювальний струм при ПВ=100 %, А……1200
- Номінальна потужність при ПВ=100 %, кВт……215
- Межі регулювання зварювального струму, А:

  I ступінь……350–850

  II ступінь……550–1250
- ККД, %……94
- Габаритні розміри трансформатора, мм:

  довжина……900

  ширина……1300

  висота……1360
- Вага трансформатора, кг……1100

Трансформатор ТДФ–1201 виконаний у однокорпусному виконанні і складається з самого трансформатора, пристрою для плавного регулювання зварювального струму, вентилятора, пускорегулюючої і захисної апаратури. Трансформатор має падаючу зовнішню характеристику, зумовлену розвинутим магнітним розсіюванням.

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції

2.2.1 Заготівельні операції

Для виготовлення конструкції використовується гарячекатаний листовий прокат із низьколегованої конструкційної сталі 09Г2С, з хімічним

складом за ГОСТ 19281-89, з точністю прокатування - Б, з обрізною кромкою О. Розміри листів гарантуються стандартом на сортамент згідно з ГОСТ 19904-90.

Заготівельні операції здійснюються в наступній послідовності:

- очищення листового прокату;
- розмічування;
- різання;
- вальцювання обичайок;
- штампування днищ;
- вирізання отвору горловини.

Очищення застосовується для видалення з поверхні металу окалини, іржі та забруднень. Дробеметне очищення (рис. 2.2) виконується в спеціальних камерах, де встановлені очисні апарати, обладнання для переміщення і транспортування виробів, що очищаються, пристрої для збору, очищення і повернення дробу і для витяжки забрудненого повітря [1]. Для очищення використовують дріб розміром 07-09 мм.

Дробометний апарат 42117 має такі характеристики:

- продуктивність, кг/хв 630;
- потужність електродвигуна, кВт 55;
- габаритні розміри, мм 1150×1100×760;
- Маса, кг 590.

Швидкість виходу дробу 80 м/с; число лопатей - 8; частота обертання 2250 об/хв; діаметр робочого колеса 500 мм.

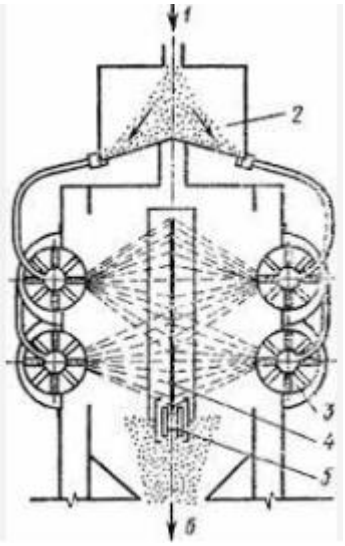


Рисунок 2.2 - Схема дробеметного очищення

Після очищення листовий прокат проходить операцію розмічування та подається до робочого місця, де виконується різання.

Після різання заготовок, призначених для обичайок, заготовки транспортуються для операції згинання та зварювання поздовжнього шва. Заготовки, призначені для подальшого штампування днищ, вирізаються дисковими ножицями.

Розмічування контурів деталей виконують розміточно-маркувальною пневмокерновою машиною програмно за кресленням.

Машина працює в автономному режимі і має такі характеристики [1]:

- найбільші розміри оброблюваних листів, мм:

довжина 10 000;

ширина до 6000;

- максимальна швидкість переміщення пневмокерна, м/хв 8-10;

- точність переміщення машини, мм ±1,0.

Різання проводиться на дискових ножицях (рис.2.3) марки Н4422 за схемою розкрою, які мають наступні технічні характеристики [21]:

Ножиці дискові Н4422:

- найбільша товщина листа, що розрізається, 16 мм;

- швидкість різання, 2-6 м/хв;

- потужність електродвигунів, 12 кВт;

- габаритні розміри, мм 7590×1530×2780;

- Маса, т 15,4.

1 – дискові ножі; 2 – розрізаємий лист

Рисунок 2.3 -Схема різання дисковими ножицями

Обичайки отримують вальцюванням листів на листозгинальних вальцях. При холодному згинанні пластичну деформацію доводиться обмежувати. При виготовленні обичок раціональніше використовувати чотиривалкові згинальні вальці, оскільки незвальцованим залишається тільки ділянка шириною (1...2) s. Схема процесу згинання показана на рис. 2.4. [16]

Рисунок 2.4 - Схема процесу вальцювання обичайки резервуару

Для отримання необхідного радіусу, вальцювання проводять на листозгинальному верстаті І2416.

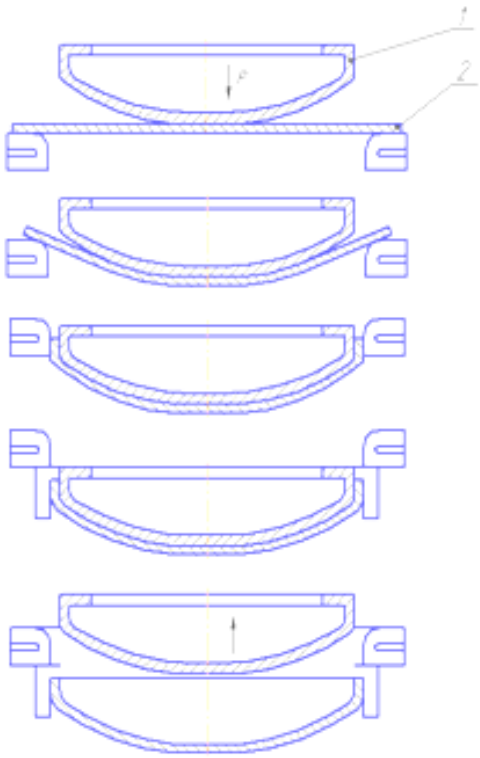
Чотирьохвалкові машини вважаються найбільш універсальними, точними та простими в експлуатації. Миттєве та ідеальне центрування листа на етапі завантаження стало можливим завдяки використанню одного з бічних валків як орієнтиру. Це дозволяє виконувати операції одним оператором. Лист залишається "затиснутим" відразу після центрування і до кінця циклу вальцювання. Це дозволяє уникнути випадкового проковзування деталі з гарантією максимальної точності згинання та безпеки для оператора. Операція підгинання не призводить до опускання листа нижче за рівень введення, як це відбувається у вальцювальних машинах з трьома валками. Це дозволяє використовувати столи подачі та центрування. Вальцювання деталі починається відразу після першого підгину. Таким чином, не потрібно залишати вільний простір з обох боків машини, а лише на боці, що відповідає обраній стороні подачі [22].

Формування другого краю (другий підгин) відбувається після вальцювання, через що можливе виготовлення обичайки за один прохід. Вальцювання машиною з чотирма валками полегшується, оскільки бічні валки нахиляються для забезпечення кута конусності і нижній центральний валок також нахиляється таким чином, що лист буде надійно затиснутий і добре підгинатися. Машина з чотирма валками за своїми режимами роботи є єдиною вальцювальною машиною, якою можна ефективно керувати за допомогою цифрового керування [16].

У серійному та масовому виробництвах для отримання елементів з поверхнею складного контуру широко використовують холодне штампування з листового матеріалу, товщиною переважно до 10 мм. Висока продуктивність холодного штампування, точність розмірів і форми одержуваних заготовок, їх мала маса і низька собівартість забезпечують створення технологічних штампозварних виробів [16].

Для отримання необхідного радіусу, штампування проводять на гідравлічному пресі К04.К3533.

Прес К04.К3533 призначений для виготовлення з листового матеріалу середніх та габаритних деталей, що вимагають вирубування, згинання, формування, неглибокої витяжки та інших операцій холодного штампування.



1 - пуансон; 2 - заготовка днища

Рисунок 2.5 - Схема процесу штампування днища

Вирізання отвору горловини

Отвір у корпусі резервуару ǿ 906 мм під встановлення та зварювання горловини вирізається ручним роздільним кисневим різанням з використанням пропану.

Розмічування отвору виконується маркером КФК ГОСТ 10597-87 та за допомогою циркуля по металу ГОСТ 24472-80Е. Для розмічування може використовуватися крейдяний розчин. При вирізанні отвору використовують кисень ГОСТ 5583-78, пропан ГОСТ 20448-90.

Для цієї мети підходить різак «Полум'я» ГОСТ 5191-79, призначений для

ручного різання листової низьковуглецевої та низьколегованої сталі.

Листовий прокат, з якого вирізаються заготовки, має невелику товщину – 3 мм. Застосування термічного різання може призвести до деформації вирізаних деталей, а також до можливих структурних змін у металі. Тому, для виготовлення поясів обичайки використовується механічне різання. Заготовки можна вирізати за допомогою гільйотинних або дискових ножиць.

Гільйотинні ножиці дозволяють здійснювати різання деталей з прямолінійними кромками з листів товщиною 20-25 мм, в деяких випадках - до 40 мм [23]. У таких ножиць обмежена ширина ножа (до 3200 мм). Похибка розміру зазвичай становить ±(2,0 – 3,0) мм при різанні за розмічуванням та ±(1,5 – 2,5) мм при різанні за упором.

Дискові ножиці дозволяють здійснювати вирізування листових деталей товщиною до 20...25 мм. Дискові ножиці дозволяють вирізати заготовки будь-якої форми, повертаючи заготовки відносно щодо інструменту. Це здійснюється за рахунок того, що ріжучі кромки ножиць утворені перетином конічних поверхонь. Похибка розміру становить ±(2,0 – 3,0) мм. Для отримання листової заготовки заданої ширини з паралельними кромками дискові ножиці розташовують попарно на заданій відстані.

При різанні на ножицях метал кромки різу піддається значній пластичній деформації. Ця кромка надалі при виготовленні корпусу резервуару потрапляє в зону зварювання і повністю переплавляється, додаткової обробки не потрібно проводити.

Для вирізання заготовок обичайок раціональніше використовувати дискові ножиці, тому що заготовки обичайок є довгомірними. Заготовки для штампування також зручніше вирізати дисковими ножицями, тому що вони мають криволінійну конфігурацію різання. При різанні заготовок обичайок дискові ножиці можна виставити на необхідну відстань та отримати необхідну ширину заготовок [24].

При серійному виготовленні резервуарів, днища часто виготовляють штампуванням, причому листова заготовка може бути звареною. У дрібносерійному та індивідуальному виробництвах днища зазвичай збирають та зварюють з окремих штампованих елементів [25].

При виготовленні даної конструкції, враховуючи габарити днища, доцільніше виконувати штампування двох половин, далі ці половини зварюються. На рис. 2.6 показаний загальний вигляд днища.

Рисунок 2.6 - Днище резервуару

Днища для даної конструкції резервуару виконані штампуванням із двох листів. Перед складанням з корпусом резервуару їх необхідно об'єднати в єдину деталь (рис.2.7). Прихоплення виконується напівавтоматом Fronius TransSteel 3000 C PULSE.

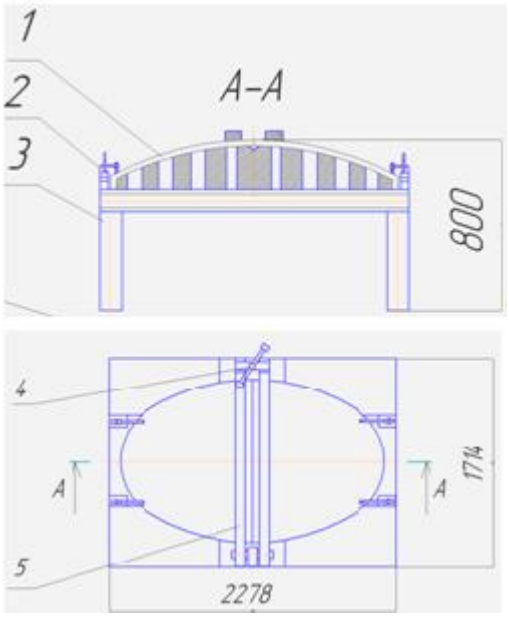


Рисунок 2.7 - Пристосування для зварювання днищ

На рис. 2.7 показано пристосування для зварювання днищ: 1 - заготовки, що зварюються; 2 - ручні відкидні притискачі; 3- пристосування; 4 - гвинтовий притискач; 5 - притискна балка.

Зачисними та опоряджувальними операціями є зачищення та шліфування зварних швів, зняття підсилення швів, зачищення зварних конструкцій, а також нанесення захисних покриттів.

Зачищення зварних швів від шлаку, грату та окалини, шліфування швів та видалення напливів, а також зачищення та опорядження зварних виробів проводяться механізовано - ручними електричними та пневматичними машинами. Ці машини також застосовують для підготовлення та зачищення кромок, що зварюються, і поверхонь від іржі, окалини та забруднень. Механізовано – ручні машини поділяються за видом приводу на пневматичні та електричні, за призначенням – на шліфувальні, зачисні, фрезерні, та за конструкцією – на прямі, кутові та торцеві [16].

При виконанні опоряджувальних операцій на цій конструкції застосовується пряма шліфувальна машинка з армованим кругом 300 мм. Шліфувальна пневматична пряма машина складається з корпусу 3, який вмонтований пневматичний ротаційний двигун 5, рукоятки 7 з пусковим механізмом і шліфувального круга 11, закритого кожухом 1 (рис. 2.8). Запуск машини здійснюється при натисканні на вмикач пускового механізму 10, при цьому голка 9 відводить кульку 8, відкриваючи доступ стиснутому повітрю в порожнину між статором і ротором. Стиснуте повітря тисне на лопатки і обертає ротор і шпиндель 2, з'єднаний з валом ротора муфтою 4. Шліфувальний круг закріплено на шпинделі за допомогою фланця та гайок. При знятті руки з вимикача 10 голка 9 та кулька 8 під дією пружини повертаються у вихідне положення, доступ повітря припиняється та ротор зупиняється. Для обмеження швидкості обертання шпинделя на задньому кінці валу ротора встановлено відцентровий регулятор 6, який може перекривати канал впуску [18].

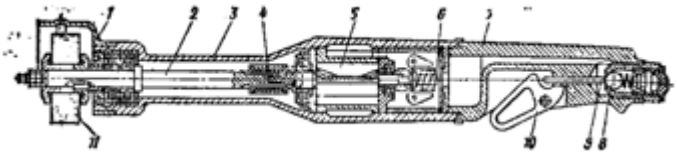


Рисунок 2.8 - Шліфувальна пряма пневматична машина

При виконанні зачисних операцій потрібно дотримуватись правил техніки безпеки.

2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

Розглянемо операції складання та зварювання [25]:

1**.** Складання повздовжніх стиків обичайок перед зварюванням

З'єднання повздовжніх стиків обичайок виконується на прихватках із врахуванням зменшення деформацій та напружень під час зварювання. Одночасно на торцях встановлюються вивідні планки, які дозволяють перенести зварний шов на них під час зварювання, уникаючи утворення кратерів на основному виробі.

2.Зварювання повздовжніх стиків обичайок

Цей процес виконується автоматизованим зварювальним обладнанням. Спочатку перший автомат проварює корінь шва з внутрішньої сторони обичайки з примусовим формуванням, а потім другий автомат, встановлений на роликовому стенді та спеціальному візку, виконує зварювання ззовні.

3.Складання кільцевих стиків обичайок перед зварюванням

Збирання кільцевих стиків також виконується на прихватках, з урахуванням мінімізації деформацій у процесі зварювання. Основним елементом для фіксації та центрування є технологічна скоба з пневмоциліндрами, яка стискає обичайки одна до одної. Процес складання виконується на роликовому стенді, з використанням прокладок для створення необхідного зазору.

4.Зварювання кільцевих стиків обичайок

Зварювання кільцевих стиків проводиться за тією ж схемою, що й повздовжніх. Відмінність полягає в тому, що для формування кореня шва

застосовують флюсо-ремінну подушку, оскільки під час процесу обичайка обертається на стенді з постійною швидкістю.

5.Прихоплення днищ до обичайки

Щоб точно поєднати днище з обичайкою, спочатку зсередини приварюють напрямні циліндричні планки, які допомагають точно встановити днище. Фланці монтують за допомогою міжцехового крана. Для формування зазору використовуються технологічні прокладки.

6. Зварювання днищ

Зварювання фланців здійснюється механізованим способом у захисному газовому середовищі через вузький зазор, із використанням флюсової подушки для примусового формування шва. Для цього застосовують зварювальний автомат АДС–1000–2.

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями

Щоб зменшити деформації та напруження при зварюванні автомобільного резервуару, слід застосовувати комплексний підхід, що включає: [6]

1. Технологічні методи

Попередній підігрів металу

Зменшує температурні градієнти і ризик утворення тріщин.

Особливо важливо при зварюванні товстих листів або сталей з високим вмістом вуглецю.

Вибір оптимального порядку накладання швів

Симетричне зварювання (з обох боків одночасно або по черзі) мінімізує вигини.

Черговість зварювання – зварювання окремих ділянок у визначеному порядку, щоб напруги компенсували одна одну.

Закріплення конструкції

Жорсткі прихватки та фіксатори запобігають переміщенню елементів під час зварювання.

Використовують зварювальні шаблони або кондуктори.

2. Контроль температурного режиму

Міжпрохідне охолодження

Дає змогу уникнути перегріву і накопичення залишкових напружень.

Зварювання короткими відрізками (т. зв. "стібками")

Зменшує локальне нагрівання й запобігає вигинанню елементів.

3. Конструктивні рішення

Компенсатори та розрізи

Використання розрізів, отворів для зняття напруги, або гнучких вставок дозволяє конструкції "рухатися", не створюючи значних залишкових напружень.

Мінімізація товщини зварюваного металу (де можливо)

Менша товщина = менше тепла = менше деформацій.

4. Механічна обробка після зварювання

Термообробка

Нормалізація або відпалювання для зняття залишкових напружень.

Вправлення деформацій

Використання пресів або вальців після зварювання для корекції геометрії.

5. Вибір способу зварювання

Зварювання з мінімальним тепловкладенням

Наприклад: MIG/MAG з імпульсною подачею струму, TIG (аргонодугове), лазерне зварювання.

Вони створюють меншу зону термічного впливу.

Для зменшення деформацій і напружень при зварюванні автомобільної резервуару потрібно:

Раціонально планувати порядок швів,

Використовувати методи контролю температури,

Застосовувати конструктивні й технологічні рішення,

А також післязварювальну обробку [6].

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку

Якість зварних конструкцій великою мірою залежить від раціональності процесу зварювальних робіт та технології їх виконання. Завданням контролю є встановлення таких показників, що визначають якість, як міцність, відповідність матеріалу нормативам, заданим розмірам, обробці, а також найголовніше – відсутність дефектів. [9].

Наявність дефектів у зварних з'єднаннях знижує їх міцності, надійність. Їх негативний вплив може виявлятися навіть у випадку статичного застосування навантажень, при несприятливому поєднанні зі своїми напруженнями за умов зниження пластичності, під впливом низьких температур і агресивних середовищ.

Візуальний метод контролю відіграє важливу роль. Часто зовнішній огляд виконують неозброєним оком. Огляд зварних швів, прихованих прилеглими деталями та недоступних спостереженню неозброєним оком, здійснюють за допомогою оптичних приладів. При зварюванні будь-якого виробу зовнішній огляд є обов'язковим [9].

Основи застосування методів контролю герметичності викладені в ГОСТ 3242-69, ГОСТ 5197-70 та ГОСТ 18353-73. Для визначення дефектів зварних з'єднань труб, а також посудин та замкнутих систем, що працюють під тиском, застосовують гідравлічні випробування. Суть їх у тому, що у виріб подається вода під високим тиском і після певної витримки контролюють наявність протікання.

Відкриті вироби - баки, цистерни і т. п. контролюють наливом води до певного рівня і виявляють місця протікання після певної витримки (0,5-24 год). Перед контролем зварні шви виробів протирають та сушать за допомогою повітря.

Широке застосування отримав спосіб контролю герметичності зварних з'єднань гасом. Одну сторону зварного з'єднання покривають крейдовою обмазкою (350-450 г крейди або каоліну на 2 л води), а протилежну - змочують

гасом. Місця витоку виявляють по плямах гасу на крейдовій обмазці. Для підвищення чутливості методу у гасі розчиняють фарби яскравих кольорів, що дозволяє виявляти дефекти діаметром понад 0,1 мм [10].

Більш високу чутливість мають люмінесцентні методи контролю герметичності, засновані на використанні люмінесцентних рідин (типу шубекол, ЛШ-1, ЛШ-2, ЛШ-4, ЛШ-5 та ін) та ультрафіолетових освітлювачів, що вказують на їх проникнення через зварне з'єднання. Як джерела ультрафіолетового світла застосовують лампи типу ПРК-2, ПРК-4, ДРШ-250 та ін. При люмінесцентному контролі можуть бути виявлені дефекти діаметром до 3-5 мкм [9].

На реєстрації локальних витоків у вигляді бульбашок газу засновані різновиди бульбашкового методу контролю герметичності: пневматичний, пневмогідравлічний та вакуумний. При пневматичному методі використовують повітря під тиском, рівному 1-1,2 робочого тиску, і індикаційні піноутворювальні речовини на основі мила, гліцерину, порошку лакричного кореня, NaCl, CaCl і т. д.

Вакуумний метод заснований на застосуванні переносних вакуумних камер присосок, що накладаються на ділянку зварного з'єднання, що контролюється. Місце витоку визначається по бульбашках піноутворюючої речовини.

Манометричний метод контролю герметичності заснований на реєстрації зміни випробувального тиску газу чи рідини внаслідок наявності дефектів. Вимірювальний блок, як правило, реалізується на основі серійних перетворювачів тиску, які дозволяють отримати високу чутливість до протікання [10].

У цій зварній конструкції всі шви є відповідальними. Перед проведенням контролю дефектності необхідно провести зовнішній огляд. Перевіряється правильність складання, якість зварювання та зачищення. Для контролю зварних швів використовується метод контролю на проникність, зокрема – гасовий

метод. Суть його полягає в наступному: контрольовану поверхню із зовнішнього боку змочують мильним розчином. Під тиском газу за наявності наскрізних дефектів поверхні виявляються бульбашки. Метод дає змогу виявити дрібні дефекти [10].

Для виконання контролю зварену конструкцію за допомогою мостового крану переміщають на рокивий стенд і підключають до установки для випробування на герметичність. На зварні шви наноситься піноутворюючий розчин, що складається з: вода -1 л, мило -50 г. Далі приєднують корпус резервуару до установки та заповнюють корпус резервуару стиснутим повітрям до тиску Р=0,04 МПа (0,40 кгс). У місцях наскрізних дефектів з'являються бульбашки. Дефектні місця відзначаються крейдою. Проводиться скидання повітря, відключення установки [10].

Дефектні місця зачищаються врівень з основним металом. Тоді проводиться підварювання дефектних місць. Після виправлення дефектних ділянок проводиться повторне випробування.

Повторне виправлення дефектів допускається трохи більше 2-х раз. Випробування проводити у присутності контролера ВТК.

Виконувати зварювальні та інші роботи на корпусі резервуару, який знаходиться під тиском, категорично забороняється.

Готовий вузол не повинен мати тріщин, пропалів, непроварів. Відповідно до креслення перевіряються розміри зварних швів та розміри, зазначені в карті ескізів. Необхідно перевірити зачищення внутрішньої поверхні корпусу резервуару від окалини, іржі, бруду [10].

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Компонування складальних та зварювальних установок

Для виготовлення зварного корпусу резервуару виконується наступне компонування устаткування:

1. Велосипедний візок типу ВТ–2Б з балконом [21].

Візок задає певне положення зварювальному трактору типу ТС–35 при виконанні зовнішніх повздовжніх та кільцевих зварних з'єднань обичайок та зварюванню зовнішніх повздовжніх та кільцевих з'єднань обичайки з днищами.

Даний велосипедний візок (рисунок 3.1) призначений для автоматичного зварювання кільцевих та повздовжніх зовнішніх швів циліндричних виробів діаметром 1500 – 3500 мм. Велосипедний візок ВТ–2Б з балконом компонується зі зварювальними тракторами, наприклад трактором ТС–35. На балконі візка розміщений пульт керування. Балкон разом з кареткою дозволяє переміщуватися вертикально за допомогою ходового гвинта і гайки. Переміщення виконується за допомогою редуктора з двигуном змінного струму.

Велосипедний візок рухається по направляючих опираючись роликами на підтримуючу верхню рельсу, і приводиться в рух від встановленого на платформі приводу з електродвигуном постійного струму [21].

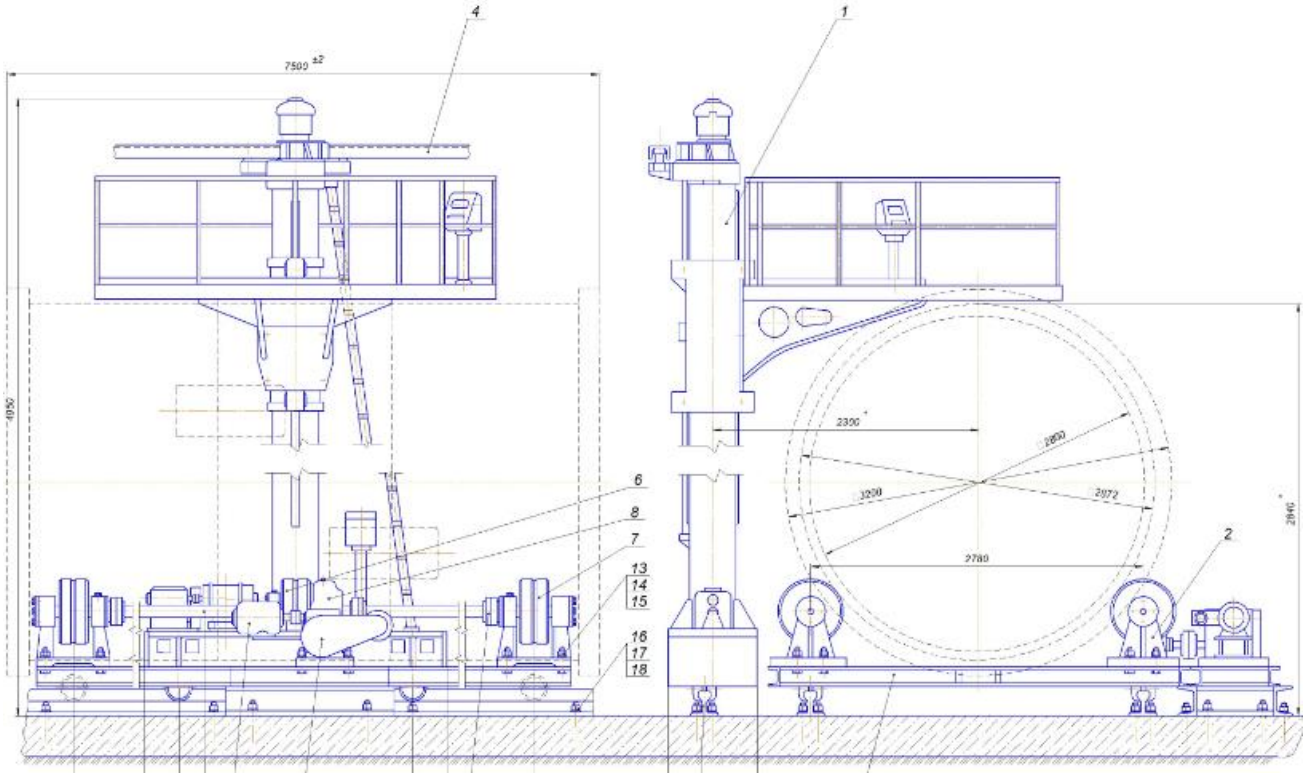


Рисунок 3.1 – Велосипедний візок типу ВТ–2Б з балконом

Роликовий стенд призначений для обертання циліндричних виробів в процесі зварювання. При виготовленні резервуару роликовий стенд призначений для обертання обичайок в процесі зварювання їх кільцевих швів, а також для надання необхідного положення обичайок при зварюванні їхніх повздовжніх швів (рис. 3.2). На роликому стенді, також, можна виконувати прихоплення деталей при їх складанні [25].

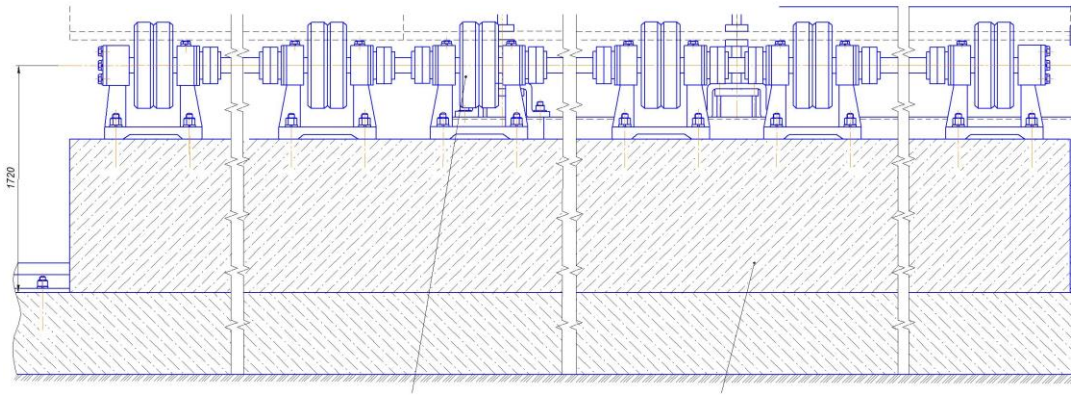


Рисунок 3.2 – Схема роликового стенду

Установка для складання обичайок по кільцевим стикам являє собою візок зі скобою, що пересувається по рейках, прокладених між роликоопорами, на яких розміщені обичайки, що збираються (рис. 3.3). На скобі закріплено три пневмоциліндри: передній, середній і задній . Штоки пневмоциліндрів пов'язані з притискачами. Шток переднього пневмоциліндра закінчується притискною п'ятою, а штоки середнього та заднього пневмоциліндрів з'єднані з притискачами важільними передачами, що збільшує притискне зусилля в кілька разів у порівнянні з зусиллям, що розвивається пневмоциліндрами. На верхній частині скоби, навпроти притискачів переднього і середнього пневмоциліндрів, розміщені три гвинтові регульовані упори. Скоба може підніматися і опускатися в межах 0,45 м за допомогою електроприводу по направляючих, закріплених на візку. Візок пересувається по рейках електроприводом [25].

У вихідному положенні повітря вимкнуте і тиску у всіх пневмоциліндрах немає. При цьому шток переднього пневмоциліндра своїм нижнім кінцем опирається на візок, а кінець скоби під дією власної ваги опускається до упору верхньої кришки переднього поршеня пневмоциліндра. Притискач середнього пневмоциліндра під дією ваги поршня знаходиться вгорі, а притискач заднього - у крайньому правому положенні. На початку роботи механізмом підйому скоба встановлюється на такому рівні, щоб упори були на 15-20 мм вище за нижню стінку обичайки. Потім повітря подається у верхню порожнину переднього пневмоциліндра і передній кінець скоби піднімається [21].

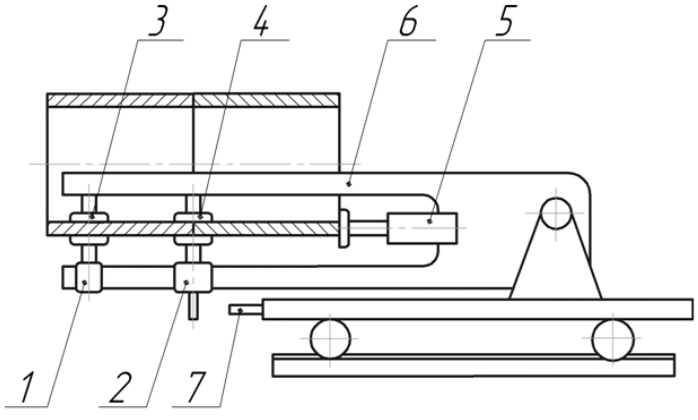
Одночасно повітря подається до нижньої порожнини середнього пневмоциліндра і середній притискач опускається. У такому положенні візок заводить скобу всередину обичайки, що лежить на роликоопорах, доти, поки кільцевий стик не виявиться над середнім притискачем (між другим і третім верхніми упорами). Тепер повітря подається у нижню порожнину переднього пневмоциліндра, спочатку передній кінець скоби опускається, поки передній верхній упор не опуститься на нижню стінку лівої обичайки, після чого поршень піднімається і затискає ліву обичайку між переднім притискачем і упором.

Потім послідовно включаються задній пневмоциліндр, що притискає праву обичайку до лівої, та середній, що притискає кромки обох обичок до верхніх упорів, попередньо відрегульованих на необхідну висоту.

Після вирівнювання кромок обичайок проводиться прихоплення, потім пневмоциліндри перемикаються і всі притискачі відводяться від обичайок. При впуску повітря у верхню порожнину переднього пневмоциліндра спочатку відходить його притискач (до упору нижнім кінцем штока в візок), після цього поршень зупиняється і від тиску повітря у верхню кришку починає підніматися сам пневмоциліндра, повертаючи скобу з упорами, що відходять від обичайок. Звільнені обичайки повертаються на роликовому стенді і відбуваються припасування та прихоплення в сусідньому місці стика. Після складання стика візок зі скобою відкочується, на стенд встановлюється нова обичайка, і цикл повторюється [21].

Управління пневмоциліндрами здійснюється з станції з електропневморозподільниками. У вихідних положеннях пневмоциліндри відключаються кінцевими вимикачами.

Технологічна скоба (рисунок 3.3) виконує функцію закріплення під зварювання кільцевих швів обичайок, обичайки лежать на роликовому стенді, для зручності виконання прихоплення [21].



1, 2, 5 – пневмоциліндри; 3, 4, 7 – упори; 6 – скоба

Рисунок 3.3 – Принципова схема установки для збирання обичайок по кільцевих стиках

Скоба переміщується по направляючих між роликами роликового стенду. При встановленні обичайки, рух скоби 6 у напрямку попередньо зібраної конструкції здійснюється до того моменту, поки упор 4 не буде знадитися у місці з'єднання. Це положення фіксується пневмоциліндром 1 та упором 3. Штоком пневмоциліндра 5 виконує закріплення обичайки і штоком пневмоциліндра 2 та упором 4 здійснюється вирівнювання зварюваних кромок. [21].

Після виконання прихоплень штоки пневмоциліндрів відводяться. При цьому, входячи в контакт із упором 7 шток пневмоциліндра 2 піднімає скобу 6, виконується провертання з'єднання на роликовому стенді і операції повторюються (рис.3.4) [25].

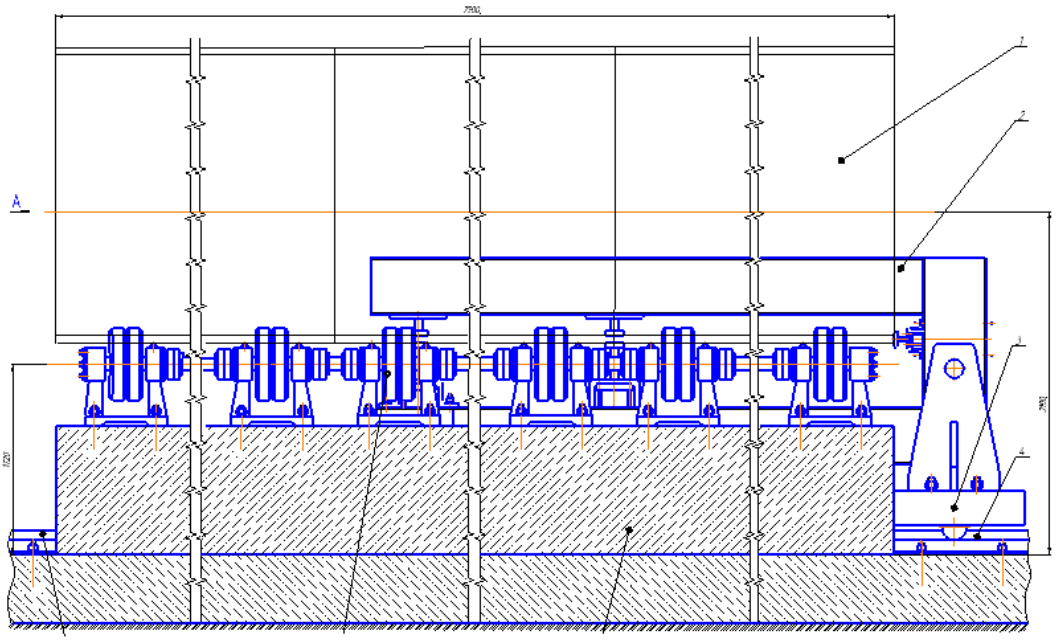


Рисунок 3.4 – Пристосування для збирання кільцевих з'єднань обичайок

Перед тим як зварити поздовжній шов, необхідно зробити прихоплення поздовжнього стика, використовуючи спеціальну стяжку (рис. 3.5).

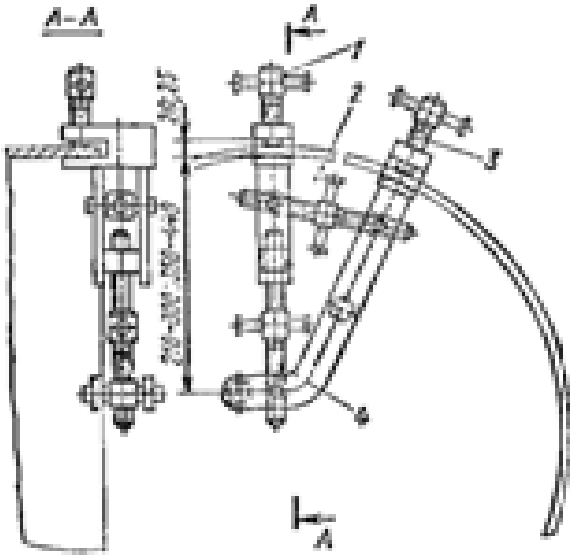


Рисунок 3.5 – Стяжка

Стяжки призначені для зближення кромок виробів, що зварюються. Стяжка складається з двох гвинтових струбцин 1 і 3, пов'язаних двома гвинтами 2 і 4, з правою і лівою різьбою кожен. Кромки обичайки закріплюють у струбцинах, після чого гвинтом 4 вирівнюють, а гвинтом 2 стягують до необхідного зазору між ними [25].

Роликовий стенд призначений для обертання циліндричних виробів з маршовою швидкістю при складанні. Він складається з привідних роликоопор 4, холостих роликоопор 5 і 6 електродвигуна 2 і редуктора 3 рис. 3.6). Привідні та холості роликоопори виготовляють з металевих труб і монтують на рамі 1. Холості роликоопори 6 в залежності від діаметру виробів, що зварюються, встановлюються на різній відстані від роликоопор 4 і 5 [21].

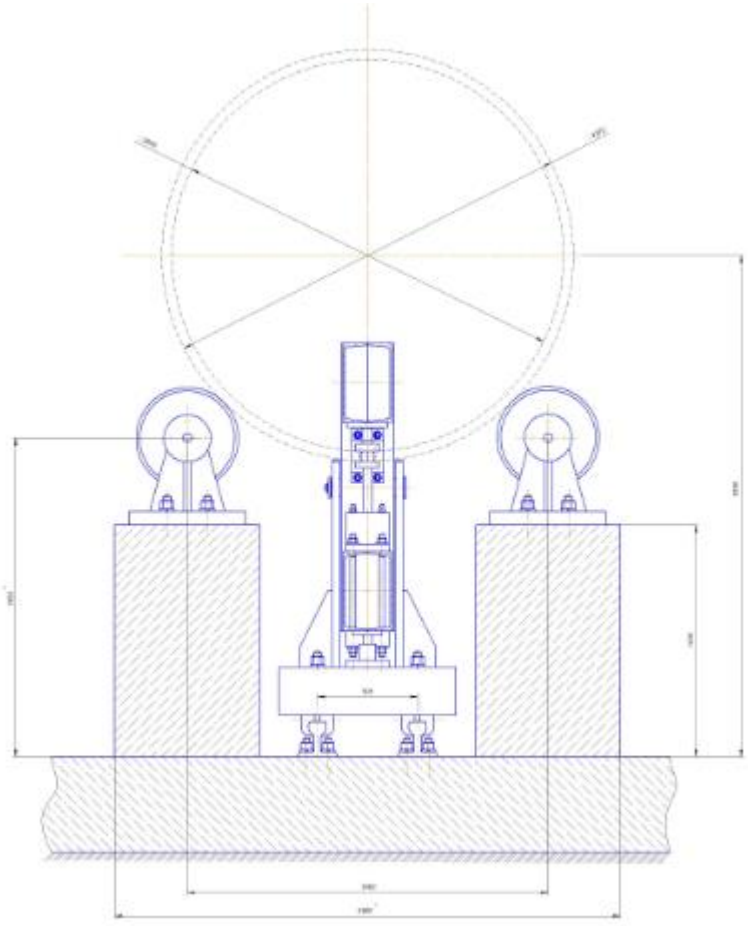


Рисунок 3.6 – Роликовий стенд для складальних робіт

При виготовленні даної конструкції резервуару роликовий стенд використовуватиметься при операціях зачищення, установки хвилерізів і днищ у корпус резервуару, вирізання отвору горловини.

3.2 Розрахунок роликового стенду

Розрахункова схема роликового стенду приведена на рисунку 3.7.

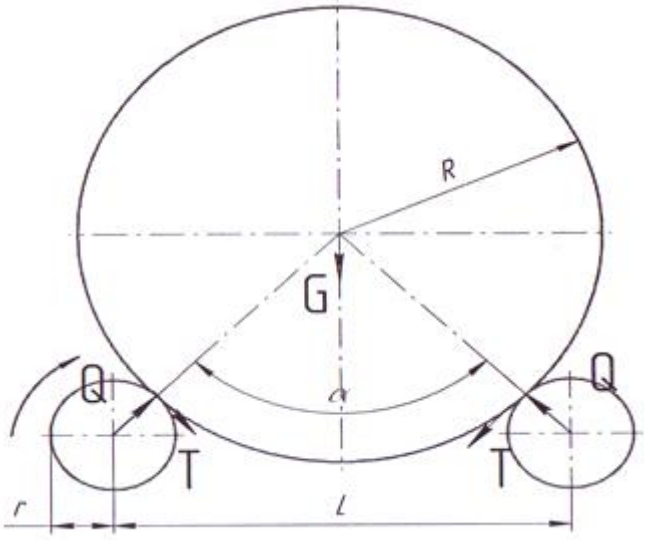


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема роликового стенду

Визначимо загальну масу барабану [26]:

$$G_{ОБИЧ.} = V \cdot \rho = \pi \cdot d \cdot l \cdot b \cdot \rho = 3{,}14 \cdot 280 \cdot 750 \cdot 3{,}6 \cdot 7{,}8 \cdot 10^{-3} = 18220\ кгс.$$

$$G_{ФЛАНЦ.} = V \cdot \rho \cdot 2 = \pi \cdot d \cdot l \cdot b \cdot \rho \cdot 2 = 3{,}14 \cdot 320 \cdot 6 \cdot 20 \cdot 7{,}8 \cdot 2 = 1880\ кгс.$$

$$G_{Р.Ж.} = V \cdot \rho \cdot 32 = 2770 \cdot 7{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 32 = 704\ кгс.$$

$$G_{Б.} = G_{ОБИЧ.} + G_{ФЛАНЦ.} + G_{Р.Ж.} = 18220 + 1880 + 704 = 20804\ кгс.$$

Приймаємо масу зварного барабану G = 21000 кгс. Тоді навантаження на одну роликоопору визначається за формулою [25]:

$$Q = \frac{G}{n \cdot \cos(\frac{\alpha}{2})}, \qquad (3.1)$$

де G – вага барабану, кгс;

n – кількість роликоопор, n=6.

Відповідно:

$$Q = \frac{21000}{6 \cdot \cos(\frac{45^0}{2})} = 3788\ \text{кгс}.$$

Опір обертанню роликоопор (колова сила), приведений до їх окружностей визначається за формулою:

$$T = Q \cdot \frac{f \cdot d + 2 \cdot \mu}{D}, \tag{3.2}$$

де d – діаметр осі ролика в підшипниках, d=0,12 м;

f – коефіцієнт тертя в підшипниках роликоопор (для підшипників кочення $f = 0{,}02$);

μ – коефіцієнт тертя кочення (для роликів з гумовим покриттям $\mu = 0{,}0025...0{,}0035$);

D – діаметр ролика, D=0,522 м [25].

$$T = 3788 \cdot \frac{0{,}02 \cdot 0{,}12 + 2 \cdot 0{,}003}{0{,}522} = 61 \text{ кгс}.$$

Знаючи величину колової і радіальної сили, що діють на роликоопори, можна визначити розрахункові навантаження роликів та їх осей і валів.

$$P = \frac{\sqrt{Q^2 + T^2}}{i} \cdot k, \tag{3.3}$$

де P – навантаження на одну роликоопори, кгс;

i – кількість роликоопор в одному ряду, i=3;

k – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження на роликоопори (для роликоопор з гумовим покриттям при i=3, $k = 1{,}25$) [21].

$$P = \frac{\sqrt{3788^2 + 61^2}}{3} \cdot 1{,}25 = 1579 \text{ кгс}.$$

Осі холостих роликоопор розраховують на згин під дією сили Р. У цьому випадку вісь розглядається, як двохопорна шарнірно закріплена балка з зосередженим навантаженням.

Діаметр осі визначається за формулою:

$$d = \sqrt[3]{\frac{P \cdot L}{0{,}1 \cdot [\sigma] \cdot 4}}, \tag{3.4}$$

де L – відстань між підшипниками, L = 2,78 м;

$[\sigma]$ – допустиме напруження, для осей і валів виготовлених зі сталі 35 допустиме напруження при згинанні $[\sigma] = 20 \cdot 10^6$ кгс/м^2 [21].

$$d = \sqrt[3]{\frac{1579 \cdot 2{,}78}{0{,}1 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 4}} = 0{,}08 \; м.$$

Приводний вал ведучих роликоопори розраховується на сумісну дію згинального моменту $M_з$ під навантаженням P, та крутного моменту $M_{кр}$:

$$M_з = \frac{P \cdot L}{4}, \tag{3.5}$$

Відповідно:

$$M_з = \frac{1579 \cdot 2{,}78}{4} = 1097 \; кгс \cdot м.$$

Визначимо крутний момент $M_{кр}$ за формулою:

$$M_{КР} = T \cdot \frac{D}{2} + (f \cdot \frac{d}{2} + \mu) \cdot \sqrt{Q^2 + T^2}, \tag{3.6}$$

де $d_в$ – діаметр приводного валу в підшипниках, м;

f – коефіцієнт тертя в підшипниках (f=0,02);

μ – коефіцієнт тертя кочення [21].

Відповідно:

$$M_{KP} = 61 \cdot \frac{0{,}522}{2} + (0{,}02 \cdot \frac{0{,}12}{2} + 0{,}003) \cdot \sqrt{3788^2 + 61^2} = 31{,}8 \; кгс \cdot м.$$

Визначимо еквівалентний розрахунковий момент на приводному валу:

$$M_E = \sqrt{M_З{}^2 + M_{KP}{}^2}\,, \tag{3.7}$$

Відповідно:

$$M_E = \sqrt{1097^2 + 31{,}8^2} = 1097 \; кгс \cdot м\,.$$

Визначимо розрахунковий діаметр приводного валу за формулою:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_E}{[\sigma]}}. \tag{3.8}$$

Відповідно:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 1097}{20 \cdot 10^6}} = 0{,}08 \; м.$$

Визначимо частоту обертання барабану

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n\,, \tag{3.9}$$

де ω – кутова швидкість обертання, рад/с;

n – частота обертання, хв$^{-1}$.

Звідси частота обертання дорівнює:

$$n = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}\,. \tag{3.10}$$

Також кутову швидкість можна визначити ще за наступною формулою [25]:

$$\omega = \frac{v_{ЗВ}}{R}, \tag{3.11}$$

де $v_{ЗВ}$ – швидкість зварювання, $v_{ЗВ} = 23$ м/год.;

R – радіус обичайки , R =1,436 м.

Підставимо у формули і отримаємо:

$$n = \frac{v_{ЗВ}}{2 \cdot \pi \cdot \mathrm{R}}. \tag{3.12}$$

Відповідно формулі (3.12) маємо:

$$n = \frac{23}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}42 \cdot 60} = 0{,}04\ хв^{-1}.$$

Потужність на вихідному валу електродвигуна визначається за формулою:

$$N_B = \frac{M_E \cdot n \cdot \pi}{30 \cdot \eta}, \tag{3.13}$$

де M_E – найбільший крутний момент на валу приводу, кгс·м;

n – частота обертання виробу, хв$^{-1}$;

η – ККД всіх передаточних ланцюгів від двигуна до виробу [25].

Загальний коефіцієнт корисної дії привода:

$$\eta = \eta_M \cdot \eta_{ПЕР}^2 \cdot \eta_{ПІДШ}^3, \tag{3.14}$$

де η_M – коефіцієнт корисної дії муфти, $\eta_M = 0{,}96$;

$\eta_{ПЕР}$ – коефіцієнт корисної дії передачі, $\eta_{ПЕР} = 0{,}99$;

$\eta_{ПІДШ}$ – коефіцієнт корисної дії однієї пари підшипників кочення, $\eta_{ПІДШ} = 0{,}97$. [25]

Відповідно (3.14) маємо:

$$\eta = 0{,}96 \cdot 0{,}99^2 \cdot 0{,}97^3 = 0{,}91.$$

Відповідно (3.13) маємо:

$$N_B = \frac{1097\ кгс \cdot м \cdot 0{,}043\ хв^{-1} \cdot 3{,}14}{30 \cdot 0{,}91} = 5{,}4\ кВт.$$

Потужність на вхідному валу електродвигуна визначається за наступною формулою [25]:

$$N_{BX} = \frac{N_B}{\eta}. \qquad (3.15)$$

Відповідно:

$$N_{BX} = \frac{5{,}4}{0{,}91} = 5{,}7\ кВт.$$

Підберемо електродвигун по потужності N:

За отриманими вище даними ми вибираємо стандартний електродвигун потужністю N=5,5 кВт. Тип електродвигуна – 4А132М8У3, $n_{ел}$=750 $хв^{-1}$.

Ефективна частота обертання електродвигуна n_e:

$$n_e = n_{ел} - (E \cdot 1000), \qquad (3.16)$$

E – коефіцієнт ковзання опор, E =0,03.

Відповідно формулі (3.16) маємо:

$$n_e = 750 - (0{,}03 \cdot 1000) = 720 \ хв^{-1}.$$

Знайдемо загальне передаточне число приводу за наступною формулою:

$$U_{ПР} = \frac{n_e}{n_B}. \qquad (3.17)$$

Відповідно маємо:

$$U_{ПР} = \frac{720}{0{,}04} = 18000.$$

Перевірка запасу зчеплення приводних роликів з виробом здійснюється відповідно умові:

$$k_{зч} = \frac{Q \cdot \varphi}{T} \geq 3, \qquad (3.18)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення роликів з виробом (для роликоопори з гумовим покриттям $\varphi = 0{,}3...0{,}4$) [21];

$k_{зч}$ – запас зчеплення.

Відповідно маємо:

$$k_{зч} = \frac{3788 \cdot 0{,}35}{61} = 21{,}7 \geq 3.$$

Умова зчеплення виконується.

Як видно з перевірочного розрахунку обраний роликовий стенд повністю задовольняє технічні вимоги, які висуваються для зварювання корпусу резервуару.

В роликоопорах стоїть шпонка 28×16×100 за ГОСТ 8789 – 68 .

Розрахунок шпонки виконується на зминання:

$$[\sigma_{ЗМ}] = \frac{M_{КР}}{0{,}5 \cdot d_B \cdot k \cdot l}, \tag{3.19}$$

де d_B – діаметр приводного вала, $d_B = 8$ см;

k – виступ шпонки від шпоночного пазу, k=0,7 см;

l – довжина шпонки, l = 10 см.

$$[\sigma_{ЗМ}] = \frac{3180}{0{,}5 \cdot 8 \cdot 0{,}7 \cdot 10} = 113{,}6 \ \frac{кгс}{см^2}.$$

Матеріал шпонки Сталь 40Х, допустиме напруження при зминанні $[\sigma_{ЗМ}] = 300 \ \frac{кгс}{см^2}$.

Розрахунок шпонки ведеться також і на зріз:

$$\tau_{ЗР} = \frac{P}{A_{ЗР}} \le [\tau_{ЗР}], \tag{3.20}$$

де $\tau_{ЗР}$ – робоче (розрахункове) напруження зрізу, що виникає в поперечному перерізі розрахункової деталі;

P – поперечна сила, $P = 1579 \ кгс$.

$[\tau_{ЗР}] = (0{,}25 - 0{,}35) \cdot \sigma_T$, де σ_T – границя текучості матеріалу. (Для сталі марки Сталь 40Х $\sigma_T = 800 \ МПа$. Отже, $[\tau_{ЗР}] = (0{,}25 - 0{,}35) \cdot 800 = 280 \ МПа$).

$A_{ЗР}$ – площа зрізу шпонки, $A_{ЗР} = 2{,}8 \cdot 1{,}6 = 4{,}48 \ см^2$.

$$\tau_{ЗР} = \frac{1579}{4{,}48} = 352{,}5 \ \frac{кгс}{см^2} = 35{,}25 \ МПа \le 280 \ МПа.$$

Умова виконується.

3.3 Розробка плану цеху

Вимоги до плану зварювального цеху для виготовлення автомобільних цистерн (циліндричних резервуарів) охоплюють технічні, технологічні, санітарно-гігієнічні, охоронні та організаційні аспекти. Нижче подано основні вимоги, які мають враховуватись при проектуванні та оснащенні цеху [27].

1. Виробничо-технологічні вимоги

1. Площа цеху:

Має відповідати габаритам цистерн (довжина до 10-12 м, діаметр до 2,5 м) та забезпечувати вільний простір для їх обробки.

Забезпечення окремих зон для:

- розкрою та підготовки металу;
- збирання секцій та обичайок;
- зварювання корпусів;
- неруйнівного контролю;
- фінішної обробки та фарбування.

2. Покриття підлоги:

- неслизьке, вогнетривке, антистатичне;
- забезпечення водовідведення, особливо при гідровипробуваннях.

3. Потужності та обладнання:

- зварювальні апарати (MIG/MAG, TIG, ручне дугове);
- транспортувальні візки, маніпулятори, крани-балки або мостові крани;
- станції підготовки кромок (механічна обробка, фрезерування);
- установки для попереднього підігріву та термообробки швів (якщо це потрібно).

2. Організація виробничого потоку

Принцип прямоточного руху: від заготовки - до збирання - до зварювання - до перевірки.

Ізоляція зон зварювання від пилових, фарбувальних, механічних операцій.

Зона контролю якості - рентген, ультразвук, візуально-оптичні засоби (згідно з ISO 5817).

3. Вимоги з охорони праці та пожежної безпеки

Місцеві витяжні вентиляції над зварювальними постами;

Загальнообмінна вентиляція;

Вогнестійкі штори між постами;

Наявність вогнегасників, пожежних щитів, евакуаційних виходів;

Освітлення не менше 300 лк (зони точного зварювання).

4. Санітарно-гігієнічні вимоги

Шум - не більше 80 дБ у робочих зонах;

Температурний режим - 18–22 °С;

Протипиловий режим у зонах механічної обробки;

Побутові приміщення: роздягальні, душові, кімнати відпочинку.

5. Будівельні та інженерні умови

Висота приміщення - не менше 6–8 м (з урахуванням підйомного обладнання);

Ширина воріт - мін. 3,5 м, висота – 4–5 м (для проїзду зварених цистерн);

Стіни – вогнестійкі, з шумо- і термоізоляцією;

Підведення 3-фазної електромережі 380 В;

Система заземлення.

6. Нормативна база

Вимоги мають відповідати:

ДСТУ EN ISO 3834 – якість зварювання;

ДСТУ Б В.2.5-28 – системи вентиляції та кондиціювання;

ДБН В.2.2-10 – промислові будівлі [27].

Правила охорони праці при зварюванні металів (наказ МОЗ та Держпраці).

Враховуючи наведене вище, норми та правила облаштування виробничих дільниць, обґрунтовано обравши основне зварювальне обладнання та оснастку, розробили план дільниці для виготовлення резервуару (рис.3.8).

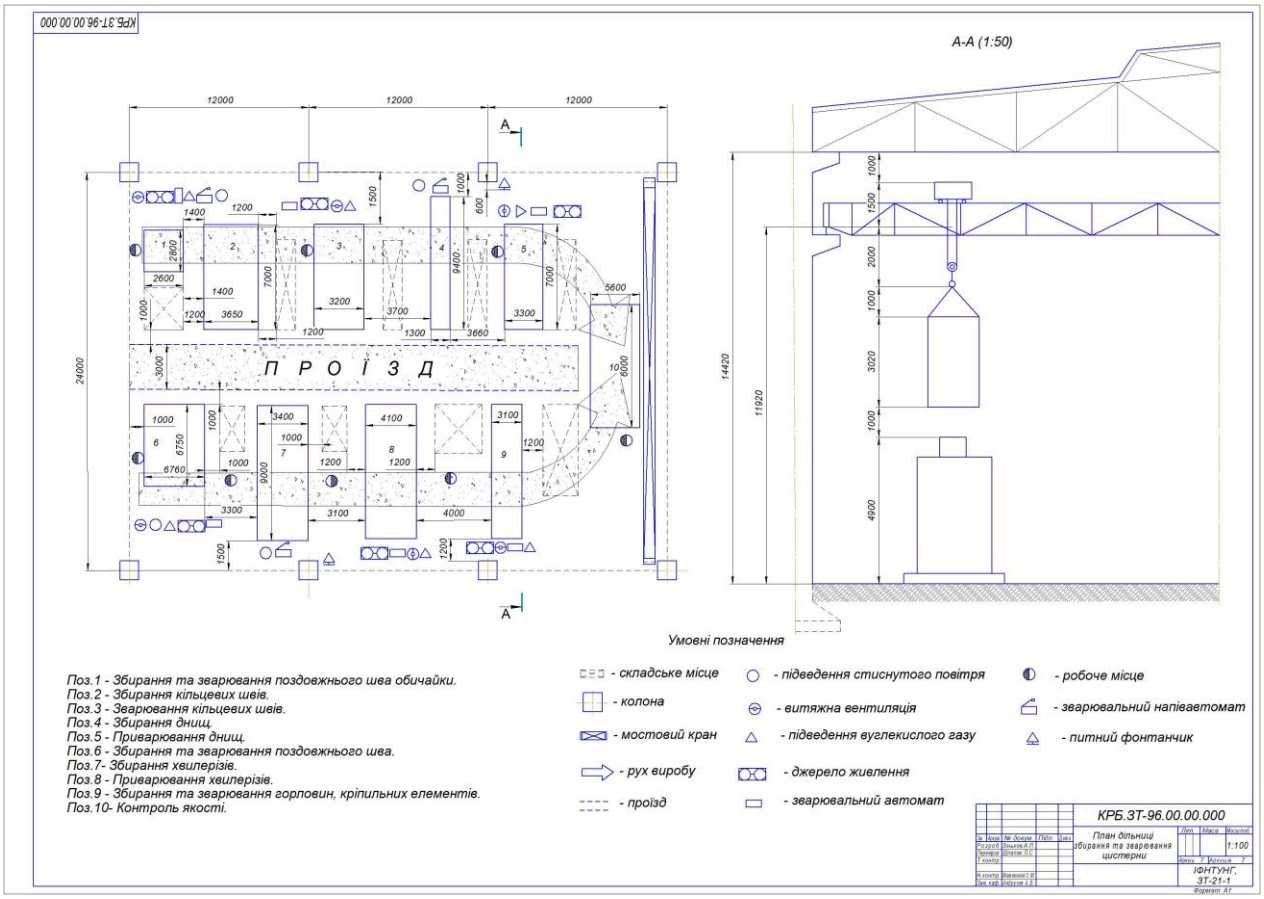


Рисунок 3.8 – План дільниці для виготовлення корпусу резервуару

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

При експлуатації виробничого обладнання в результаті дії шкідливих факторів створюється можливість травматизму. Простір в якому постійно або періодично діють ці фактори називається небезпечною зоною [28].

При зварюванні металів в CO_2 повітряне середовище виробничих приміщень може забруднюватися зварювальним аерозолем, що містить пил, шкідливі гази та випаровування, наприклад, газоподібні фтористі сполуки, оксид вуглецю, оксиди азоту та інші [29].

Потужне ультрафіолетове чи світлове випромінювання зварювальної дуги при дії на очі працюючого може викликати електроофтальмію, а при тривалій дії інфрачервоного випромінювання може розвинутись помутніння кришталика – катаракта.

При проектуванні та експлуатації підприємств із зварювальним виробництвом мають бути проведені заходи профілактики виробничого травматизму та професійних захворювань, в першу чергу по зниженню шкідливих та небезпечних виробничих факторів [29].

Для захисту від дії небезпечних факторів застосовують колективні та індивідуальні засоби захисту.

Істотну роль у збереженні працездатності і підвищенні продуктивності праці зварника відіграють такі пристрої для удержування та переміщення зварюваних виробів, як кондуктори, кантувачі, маніпулятори, струбцини, затискачі [29].

До заходів,спрямованих на поліпшення умов праці зварників належать:автоматизація, механізація і раціоналізація виробничого процесу; захист очей від променистої енергії; видалення пилу і газів з робочих приміщень за допомогою вентиляції;заходи безпеки від ураження електричним струмом.

Освітленість виробничих приміщень-важливий захід гігієни та охорони праці і підвищення її продуктивності. У виробничих приміщеннях застосовують два види освітлення: природнє і штучне [29].

Застосування механізованого транспорту для перевезення важких деталей і надання їм зручного для зварювання положення не тільки полегшує працю зварника,а й зменшує виробничий травматизм,підвищує продуктивність праці.

Електрична дуга випромінює велику кількість невидимих ультрафіолетових і інфрачервоних променів, які шкідливо впливають на зір і шкіру людини. Опіки променями електричної дуги можуть відбуватися тільки при зварюванні відкритою дугою (наприклад ручне дугове зварювання, зварювання в CO_2 і т.д.). Шкіра зварювальника захищається робочим одягом, а зір – захисними щитками або масками із спеціальним темно-синім скло-фільтром [29].

Щоб запобігти механічному пошкодженню очей при прибиранні флюсу і відбиванні шлаку зварювальник повинен користуватися захисними окулярами з простим склом. При опіках очей необхідно робити холодні примочки, промивати очі слабким содовим розчином або закапати очі очними цинковими каплями. При сильних опіках необхідно звернутися до лікаря [29].

В результаті високої температури зварювальної дуги відбувається випаровування металів. Пари металів з’єднуються з киснем повітря, утворюючи дрібний порох в вигляді окислів. Особливо шкідливі пари окислів цинку, свинцю, кадмію, міді та інші, які утворюються при зварюванні міді, латуні і бронз. В результаті плавлення деяких флюсів утворюються пари окислів марганцю, а також хлористий і фтористий водень.

При зварюванні в вуглекислому газі виділяється шкідливий для організму оксидами вуглецю (чадний газ). Оскільки вуглекислий газ в 1,5 рази важчий за повітря, то він може накопичуватися в тісних приміщеннях і закритих посудинах, що приводить до браку кисню для дихання [29].

Для відведення шкідливих газів та пилу, а також для подачі свіжого повітря застосовують загальну або місцеву вентиляцію. Загальна вентиляція повинна бути приточно-витяжною з підігрівом повітря в зимову пору. Її застосовують для обміну повітря в закритих приміщеннях (цехах, майстернях). Місцеву вентиляцію застосовують для відсмоктування шкідливих газів безпосередньо з місць їх утворення. При роботі в закритих приміщеннях застосовують ізолюючі апарати (ШР-1, ША-40, ДПА-4) або маски із шлангами для подачі свіжого повітря [29].

При отруєннях, потерпілого необхідно винести на свіже повітря, звільнити від тісного одягу і дати спокій до приходу лікаря. При зупинці дихання слід застосувати штучне дихання [29].

.

ВИСНОВКИ

Технологічний процес виготовлення корпусу резервуару розроблено з урахуванням серійності виробництва на основі технологій виготовлення типових конструкцій.

Технології виготовлення типових конструкцій допомогли у вивченні технології виготовлення, дозволили визначитися зі способом зварювання, допомогли з вибором обладнання для зварювання.

Проведений аналіз варіантів дозволив вивчити переваги та недоліки різних способів різання, зварювання, контролю, різноманітність та можливості обладнання, що застосовується, а також особливості застосовуваних схем і матеріалів при різанні, зварюванні та контролі.

Розробка технологічного процесу заготівельних операцій познайомила з деякими особливостями та прийомами при очищенні, різанні, правленні та згинанні, з відповідним обладнанням і дала з'ясувати суть цих операцій.

Розробка технологічного процесу складально-зварювальних операцій дозволила вивчити способи та особливості транспортування, встановлення та закріплення деталей, послідовність та характер виконання кожної операції, властивості матеріалів, що застосовуються, а також методику визначення параметрів режиму, який дозволяє отримати з'єднання необхідної якості.

Компонування складально-зварювального обладнання наочно продемонстрував метод підвищення рівня механізації та автоматизації процесу зварювання, а також можливості обладнання.

Вивчення методів контролю показало, яким чином здійснюється контроль зварних з'єднань, у чому переваги та недоліки того чи іншого способу, можливості обладнання та характер його роботи.

При вивченні питань техніки безпеки вдалося дізнатися які умови необхідно дотримуватись при роботі на виробництві із застосуванням термічного різання, зварювання та механізованого обладнання.

Таким чином, розробка технологічного процесу виготовлення конструкції корпусу резервуару дозволила вивчити характер, особливості та рівень механізації та автоматизації серійного виробництва та роботу необхідного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник / Г.О.Кривов, К.О.Зворикін. - К.: КВІЦ, 2012. - 896 с.

2. Матвієнків О.М. Виробництво зварних конструкцій: курсове проектування./ Матвієнків О.М., Біщак Р.Т. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. - 25 с.:

3.ДСТУ 8540:2015 Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент.

4.Бреславский Д.В. Марочник сталей і сплавів [Електронний ресурс] – http://www.splav.kharkov. com.

5.ДСТУ 3761.2-98 Зварювання та споріднені процеси. Частина 2. Процеси зварювання та паяння. Терміни та визначення.

6.Махненко, В.І. Напруження та деформації при зварюванні. Навчальний посібник. [Текст] / В.І. Махненко, Г.В. Єрмолаєв, В.В. Квасницький, А.В. Лабарткава. – Миколаїв: НУК, 2011.

7.ДСТУ 12344:2005 Сталі леговані та високолеговані. Методи визначення вуглецю.

8.ДСТУ EN 1708-1:2015 Зварювання. Зварні з’єднання сталевих елементів. Зварні з’єднання конструкційних елементів, що працюють під тиском.

9.ДСТУ EN 1779:2015 Неруйнівний контроль. Контроль герметичності. Критерії вибору методу і способу контролю.

10.Биковський О.Г., Піньковский І.В. Довідник зварника – К.: Техніка, 2002. – 336 с.

11.ДСТУ 2413-94 Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення.

12.ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 1. Зварювання плавленням (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT).

Гуменюк І.В. Технологія електродугового зварювання: Підручник /І.В. Гуменюк, О.Ф. Іваськів, О.В. Гуменюк. – К: Грамота, 2006, 512 с.

13.Костін О.М. Зварювальні матеріали: Навч. посібник. – Миколаїв: НУК, 2004. – 225 с.

14.ДСТУ EN ISO 14175:2014 Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання (EN ISO 14175:2008, IDT).

15.ДСТУ EN ISO 14343:2019 Зварювальні матеріали. Дроти та стрічки електродні, дроти та прутки для дугового зварювання нержавких і жароміцних сталей. Класифікація (EN ISO 14343:2017, IDT; ISO 14343:2017, IDT).

16.Проект “Довідник зварника” - https://zvarka.info/pro-sajt/

17.ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з’єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, TIG - зварювання та променеве зварювання сталей.

18.ДСТУ ISO 4063:2014 Зварювання та споріднені процеси. Перелік й умовні познаки процесів.

19.Гуменюк І.В., Іваськів О.Ф. Обладнання і технологія електродугового зварювання: навч.посіб-К.: Грамота, 2006.-512с.

20.Серенко А.Н. Розрахунок зварних з'єднань і конструкцій / А.Н. Серенко, М.Н. Крумбольт, К.В. Багрянский. – К.: Вища школа, 1977. – 336 с.

21.Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві/ 2 видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник.-К.:Арістей, 2006.- 272с.

22.Козяр М. М. Комп’ютерна графіка: SolidWorks : навч. посіб. / М. М. Козяр, Ю. В. Фещук, О. В. Парфенюк. – Херсон : Олді-плюс, 2018. − 252с.

23.ДСТУ EN ISO 5817:2022 Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT; ISO 5817:2014, IDT).

24.Біщак, Р. Т. Напруги та деформації при зварюванні [Електронний ресурс]: практикум / Р. Т. Біщак. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 44 с.
25.Складально-зварювальне оснащення. Методичні вказівки до практичних та лабораторних занять для студентів спеціальностей «Технології та устаткування зварювання. /Укл.: Березін Л.Я.-Чернігів: ЧНТУ,2015 - 80с.
26.Олійник, С. Ю. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання / С. Ю. Олійник. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 260 с.
27.Борущак Л. О., Панчук В. Г., Роп'як Л. Я., Пітулей Л. Д. Основи проектування механоскладальних дільниць і цехів: навчальний посібник. ІваноФранківськ: ІФНТУНГ, 2018. 194 с.
28.Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII Про охорону праці.
29.Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник / О.Г. Левченко. – К.: Основа, 2010 – 240 с.

ДОДАТКИ