

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: "Розроблення технологічного процесу зварювання повітряного ресивера автоматичного гальма вантажного вагона" складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 64 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 5 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається із таких частин: аналітична, технологічна, конструкторська та безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

У роботі виконано техніко-технологічне обґрунтування процесу виготовлення головного повітряного ресивера типу РСЗ, який є невід'ємним елементом пневматичної гальмівної системи вантажного рухомого складу. Розглянуто конструктивні особливості виробу, що працює під тиском, та обрано оптимальний матеріал з урахуванням вимог до механічної міцності, герметичності й технологічної зварюваності. Розроблено раціональний технологічний маршрут виготовлення виробу. Значну увагу приділено вибору способів різання, гнуття, штампування та зварювання, а також підбору сучасного високопродуктивного обладнання, яке забезпечує належну точність і стабільність технологічного процесу.

Наведено розрахунок силових параметрів для усунення геометричних відхилень після формоутворення. Розглянуто вимоги безпеки, пов'язані з експлуатацією зварювального обладнання, та запропоновано комплекс технічних і організаційних заходів щодо захисту працівників. Результати дослідження можуть бути використані як базовий техніко-технологічний підхід до серійного виробництва ресиверів, що працюють в умовах підвищеного навантаження та високої відповідальності.

Ключові слова: АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, МЕХАНІЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО, ГАЛЬМО ВАГОНА,РЕСИВЕР ВАГОНА.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Опис конструкції виробу	7
1.2 Характеристика матеріалу виробу.....	11
1.3 Технічні умови на виготовлення виробу.....	13
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу	17
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	19
2.1 Обґрунтування способу зварювання	19
2.3 Вибір методу контролю якості виробу.....	35
2.4 Опис запропонованого технологічного процесу	39
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	47
3.1 Спеціалізоване обладнання для зварювання ресивера	47
3.2 Розрахунок силових параметрів для усунення геометричних відхилень обичайки після формоутворення	50
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	55
4.1 Вимоги безпеки, що ставляться до виробничого процесу	55
4.2 Забезпечення безпеки технологічних процесів, монтажу та експлуатації обладнання.....	57
ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	62
ДОДАТКИ	64

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку промисловості зварювальні технології посідають одне з провідних місць серед технічних процесів. У різних галузях машинобудування активно застосовуються високоефективні та рентабельні методи зварювання, наплавлення, паяння, термічного різання й механізованої обробки, що забезпечують можливість з'єднання широкого спектра конструкційних матеріалів — від тонколистової сталі до масивних металевих блоків. Досягнутий рівень розвитку зварювального обладнання та технологій є надійною основою для суттєвого зростання продуктивності праці, зменшення енергоспоживання та витрати матеріалів, а також для забезпечення високої якості готових виробів при одночасному зниженні їх собівартості.

Одним із ключових напрямів модернізації зварювального виробництва є комплексна механізація та автоматизація технологічних процесів. Це дозволяє не лише значно підвищити якість зварних з'єднань і зменшити вплив людського фактора, а й покращити умови праці персоналу, зменшуючи фізичне навантаження та вплив шкідливих виробничих чинників. На підприємствах усе активніше впроваджуються потокові лінії, автоматизовані дільниці й комплекси, оснащені сучасним обладнанням для дугового, контактного зварювання, а також газового різання. Паралельно ведуться роботи з проєктування та будівництва нових спеціалізованих зварювальних цехів, які враховують вимоги до ефективності, екологічної безпеки та інтеграції новітніх технологій. Ефективне впровадження науково-технічних досягнень у виробничий процес неможливе без відповідної підготовки кадрів. Це вимагає системного підвищення професійної кваліфікації інженерно-технічного персоналу та глибокого знання сучасних зварювальних методик.

В Україні успішно функціонує власна виробнича база, яка забезпечує виготовлення зварювального обладнання для різноманітних методів з'єднання металів. Це устаткування вже ефективно використовується на підприємствах металургійної, машинобудівної, транспортної та інших галузей промисловості, сприяючи підвищенню технологічного рівня національного виробництва.. [1]

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Гальмівна система вантажного вагона є ключовим елементом забезпечення безпеки залізничного транспорту. Вона відповідає за контрольоване зниження швидкості руху, утримання поїзда в нерухомому стані на ухилах, а також за екстрене гальмування у разі надзвичайних ситуацій.

Основу гальмівної системи (рис. 1.1) становить пневматичне гальмо автоматичної дії, яке приводиться в дію стисненим повітрям, що подається з локомотива через магістраль до кожного вагона. Основні компоненти такої системи включають:

- гальмівну магістраль (ТМ);
- повітророзподільник;
- гальмівний циліндр (ТЦ);
- запасний повітряний резервуар (ЗР);
- допоміжні клапани, крани, шланги, з'єднувальні елементи.

Двокамерний повітряний резервуар 7, що є одним із ключових компонентів пневматичної гальмівної системи вагона, надійно закріплюється на рамі транспортного засобу за допомогою чотирьох болтових з'єднань. Його функціональне з'єднання з пиловловлювальним пристроєм 5 забезпечується трубопроводом діаметром 19 мм через роз'єднувальний кран типу №372 (8).

У гальмівному контурі резервуар взаємодіє з додатковим (запасним) резервуаром 11 місткістю 78 літрів і гальмівним циліндром 13 діаметром 356 мм. Це з'єднання здійснюється через автоматичний регулятор режимів гальмування (АРРГ) моделі №265А (12), який виконує функцію адаптації гальмівного зусилля відповідно до завантаженості вагона та типу встановлених гальмівних колодок.

До двокамерного резервуара також під'єднані магістральна секція 9 і головна секція 6 повітророзподільника, що забезпечує керування гальмівним процесом шляхом дозованого розподілу тиску в системі. [2]

Магістральна гальмівна труба 4 має внутрішній діаметр 32 мм і обладнана кінцевими кранами №190 (2) та з'єднувальними рукавами типу Р17 (1). Конструкція кранових з'єднань передбачає поворот на 60° щодо горизонтальної осі, що оптимізує роботу з'єднувальних елементів у криволінійних ділянках колії, мінімізує ризик зсуву та знижує навантаження на головки рукавів, особливо при проходженні через гіркові сповільнювачі.

У разі наявності гальмівного майданчика на вагоні встановлюється стоп-кран 3 зі знятою ручкою — для виключення несанкціонованого втручання у роботу системи. [3-5].

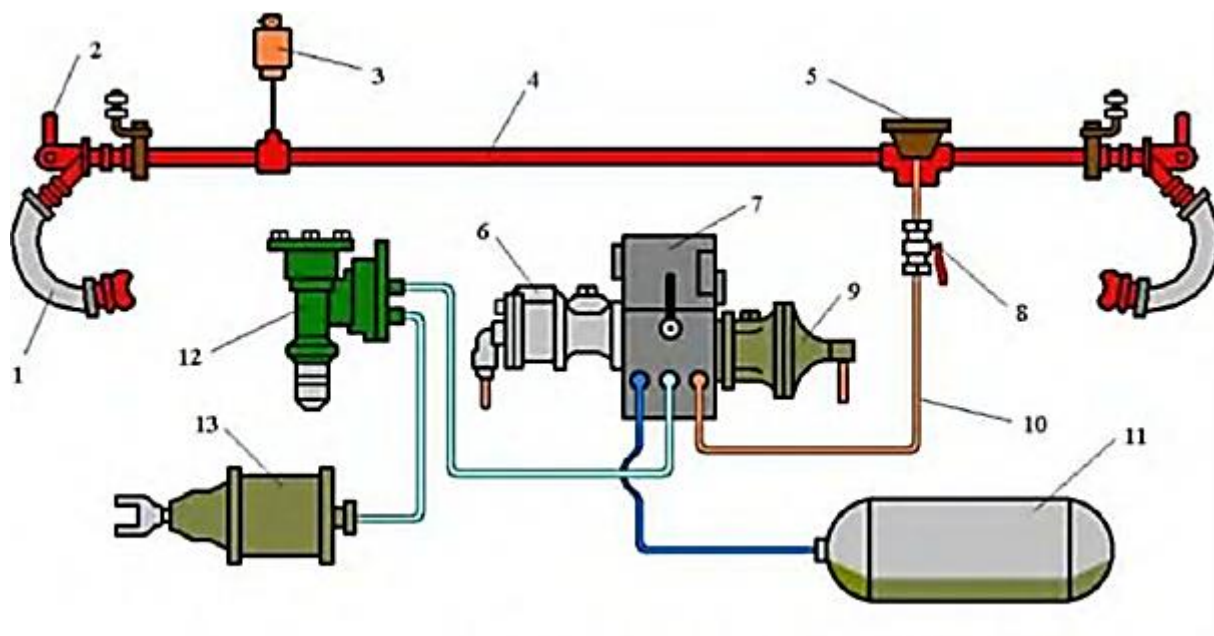


Рис. 1.1 – Тормозна схема вантажного вагона [2]

В роботі розглядшається повітряний резервуар (ресивер) призначений для створення необхідного запасу стисненого повітря, який забезпечує функціонування пневматичних приладів і механізмів вагона навіть після зупинки компресорного агрегату.

У конструкції пневмосистеми вагона передбачено використання трьох типів повітряних ресиверів:

1. Головний резервуар типу РС3 об'ємом 300 л;
2. Запасний резервуар типу РС1 об'ємом 100 л;

3. Вирівнювальний резервуар типу РС2 об'ємом 9,5 л.

З конструктивної точки зору кожен ресивер являє собою герметичну металеву посудину, утворену двома штампованими сферичними днищами, які з'єднані зварюванням із циліндричною обичайкою (рис. 1.2). На корпусі резервуарів передбачені патрубки для підключення до загальної пневматичної системи вагона, а також для монтажу водоспускних кранів, які забезпечують видалення конденсату.



Рис. 1.2 Конструкція повітряного ресивера гальма вантажного вагона [2]

Скидання конденсату з ресиверів здійснюється відповідно через водоспускні крани. Кожен тип ресиверів відрізняється між собою геометричними характеристиками, а також товщиною стінок сферичних днищ і обичайки. Технічні характеристики та експлуатаційні обмеження наведено у табл. 1.1.

На одне з днищ резервуара приварюється ідентифікаційна табличка, а на поверхню обичайки наноситься трафаретне маркування з основними технічними параметрами, що відповідає вимогам стандартів до посудин, які працюють під тиском.

Таблиця 1.1. – Технічні дані ресиверів вагона [2]

Типорозміри резервуарів	Розрахункове тиск, МПа (кгс/см ²)	Місткість, л	Розміри, мм						Номінальний розмір різі штуцера, дюйми		
			L	D _H	R	S ₁	S ₂	r	l	обичайка	днища
									неменше		
P10-9	1,0 (10)	9,5	234	250	300	2,5	3,9	0,1R	16	1/2"	1/2"
P10-100		100	1050	358		3,9					3/4"
P10-300		300	1172	610	502	5,0	6,0		50	1/2"; 1"	1 1/4"

У даній роботі детально розглянуто технологічний процес зварювання головного повітряного резервуара типу РСЗ, який є одним із ключових елементів пневматичної системи вантажного вагона. Цей резервуар, місткістю 300 літрів, призначений для накопичення стисненого повітря, необхідного для живлення гальмівного обладнання та інших пневматичних приладів.

Конструктивне виконання головного повітряного резервуара РСЗ передбачає низку елементів, що забезпечують його ефективну роботу в умовах дії високого внутрішнього тиску та експлуатаційної надійності в складі пневматичної системи вагонів. Основу резервуара становить обичайка, виготовлена з листової вуглецевої сталі, яка з обох боків герметично з'єднується з сферичними днищами за допомогою кільцевих зварних швів. Для підключення до пневмомережі вагона в конструкції передбачено різьбові штуцери, які також слугують для встановлення водоспускного крана, що забезпечує видалення конденсату з внутрішнього об'єму резервуара.

Кріплення резервуара до рами транспортного засобу здійснюється за допомогою опорних лап або спеціальних хомутів, що гарантує його надійну фіксацію під час руху та гальмування. Для ідентифікації посудини і контролю її відповідності чинним технічним нормам на зовнішній поверхні резервуара приварюється паспортна табличка, а на циліндричну частину наноситься трафаретне маркування із зазначенням об'ємно-вагових, реєстраційних та

експлуатаційних характеристик відповідно до вимог нормативних документів для обладнання, що працює під тиском.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Матеріали, що використовуються для виготовлення повітрозбірника, повинні відповідати вимогам конструкторської документації, чинним державним стандартам (ДСТУ) та технічним умовам (ТУ). Якість металу базується на сертифікованому підтвердженні відповідності хімічного складу і механічних характеристик заявленим нормам.

Під час підбору основного матеріалу для виготовлення корпусу повітряного резервуара необхідно враховувати комплекс критичних вимог, зокрема:

- високий рівень зварюваності, який дозволяє ефективно застосовувати поширені методи дугового, контактного та автоматичного зварювання;
- стабільність експлуатаційних характеристик зварного з'єднання в умовах дії зовнішніх факторів, включаючи низькотемпературний вплив;
- гарантований склад сплаву, що забезпечує передбачувані фізико-механічні властивості, підтверджені документацією виробника;
- здатність конструкції витримувати дію навантажень різного типу – як статичних, так і циклічних динамічних – впродовж тривалого терміну служби.

Зазначеним критеріям повністю відповідає низьколегована конструкційна сталь марки 10ХСНД, яка завдяки своєму складу демонструє добру зварюваність усіма традиційними способами без необхідності спеціальної термообробки. Зварюваність даного матеріалу гарантовано зберігається за умови дотримання технологічних інструкцій та контролю вмісту легуючих елементів відповідно до регламентованих допусків [6].

У якості основного матеріалу для виготовлення корпусу головного повітряного резервуара РСЗ використовується низьколегована конструкційна сталь марки 10ХГСНД, яка характеризується високою зварюваністю, достатньою міцністю, стійкістю до атмосферного впливу та надійністю під час експлуатації в

умовах змінних температур і навантажень. Механічні властивості сталі 10ХГСНД наведені в таблиці 1.2, а хімічний склад представлений у таблиці 1.3.

Таблиця 1.2 - Механічні властивості при $T=20^{\circ}\text{C}$ [7]

Сортамент	Розмір	s_B	s_T	δ_5	KCU
	мм	МПа	МПа	%	кДж / м ²
Лист,	5-9	540	400	19	

Таблиця 1.3 - Хімічний склад у % матеріалу 10ХСНД [7]

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Cr</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>Cu</i>	<i>As</i>
до 0.12	0.8 – 1.1	0.5 – 0.8	0.5 – 0.8	до 0.035	до 0.03	0.6 – 0.9	до 0.12	до 0.008	0.4 – 0.6	до 0.08

Сталь марки 10ХГСНД характеризується доброю технологічною зварюваністю, що дозволяє проводити з'єднання як з попереднім підігрівом (до температури 100–120 °С) та подальшою термічною обробкою, так і без них, залежно від умов експлуатації та конструктивних вимог. Ключовим чинником, який забезпечує високу якість зварного з'єднання, є знижений вміст вуглецю — менш ніж 0,25 %, що суттєво зменшує ризик утворення мікропор та гартівних структур під час зварювання.

При підвищеному вмісті вуглецю у зварному шві можливе виникнення гартівних мікроструктур та мікропористості через вигорання вуглецю, що негативно впливає на механічну міцність і пластичність з'єднання. Проте сталь 10ХГСНД демонструє високу стійкість до утворення тріщин, не схильна до явища відпускнуї крихкості (тобто її в'язкість не погіршується після термічної обробки) і має добру опірність до перегріву [6].

Для зниження твердості шва та усунення ефекту гартування рекомендується проводити відпускну термічну обробку при температурі близько 650 °С. Тривалість витримки залежить від товщини виробу і в середньому становить одну годину на кожні 25 мм товщини металу. Після витримки конструкцію охолоджують або на повітрі, або в гарячій воді, що дозволяє уникнути термічних деформацій і

забезпечити рівномірне зниження температури. Зварюваність сталі кількісно оцінюється за еквівалентним вмістом вуглецю [6]:

$$C_e = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + V + Mo}{10} \quad (1.1)$$

$$C_e = 0.12 + \frac{0.5}{20} + \frac{0.5}{15} + \frac{1.02}{10} = 0.28\%$$

На основі експериментальних досліджень та практичного досвіду експлуатації в умовах зварювального виробництва встановлено, що сталь марки 10ХГСНД має низьку схильність до утворення гарячих тріщин у металі шва. Одним із ключових параметрів, який підтверджує хорошу технологічну зварюваність цієї сталі, є еквівалент вуглецю. Для даної марки сталі його значення не перевищує 0,28, що свідчить про відсутність необхідності у попередньому або супутньому підігріванні перед зварюванням.

Таким чином, сталь 10ХГСНД характеризується стабільною структурою зварного з'єднання, не вимагає застосування спеціальних заходів для запобігання тріщиноутворення та дозволяє виконувати зварювання в умовах виробництва без значного ускладнення технологічного процесу. Ці властивості роблять її придатною для застосування в конструкціях, що експлуатуються в широкому діапазоні температур і під дією циклічних навантажень.

1.3 Технічні умови на виготовлення виробу

У процесі виготовлення посудин та їхніх конструктивних елементів, які експлуатуються під надлишковим тиском, обов'язковим є дотримання встановлених допусків згідно з діючими державними стандартами (ДСТУ), галузевими нормативами та технічними умовами.

Процес виготовлення повітряних ресиверів здійснюється відповідно до вимог нормативно-технічної документації, зокрема «Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском», затверджених

Держгірпромнаглядом, а також на основі затверджених у встановленому порядку робочих креслень і зразка-еталона. Додатково, конструкція та виготовлення мають відповідати вимогам ДСТУ EN 286-1:2016.

Випуск продукції можливий лише за наявності чинного сертифіката відповідності, виданого акредитованим органом сертифікації, а також ліцензії на виробничу діяльність, яку надає відповідний територіальний підрозділ Держгірпромнагляду.

Конструктивне виконання ресивера повинно забезпечувати повну відповідність встановленим критеріям міцності, герметичності та надійності зварного з'єднання. Однією з ключових вимог до виробу є досягнення високої якості швів і відсутність дефектів, що можуть призвести до зниження експлуатаційної безпеки.

Термін служби ресивера не повинен бути меншим, ніж строк експлуатації транспортного засобу або обладнання, на яке він встановлюється. Після завершення виготовлення внутрішню порожнину посудини піддають ретельному очищенню від залишків сторонніх включень, продуктів зварювання, пилу та технічного забруднення. Якість очищення перевіряється шляхом контролю промивної рідини, яка повинна відповідати гігієнічним та експлуатаційним вимогам до рідин, що застосовуються у пневматичних і гідравлічних системах.

Допустиме відхилення зовнішнього діаметра обичайки не повинно перевищувати $\pm 1\%$ від номінального значення. Зсув крайок у стикових з'єднаннях листів, що впливають на загальну міцність конструкції, не має перевищувати 10% від товщини тоншого елемента.

Під час автоматизованого зварювання з підформуванням кореня шва допустимий зазор між стиковими поверхнями повинен бути в межах $\pm 1,5$ мм. На етапі транспортування, монтажу або обертання зібраних вузлів під зварювання слід вживати технічних заходів, що забезпечують збереження геометрії, досягнутої під час складання.

Зварювання корпусів та елементів посудин, що працюють під тиском, виконується виключно за чинними технічними умовами та затвердженими

технологічними картами або інструкціями. Впровадження нових методів або технік зварювання можливе лише за рішенням головного інженера підприємства після перевірки технологічної ефективності, отримання позитивних результатів випробувань зварних з'єднань і на підставі експертного висновку профільної науково-дослідної установи.

До початку зварювання виконується ретельний контроль правильності зборки, стану стикових поверхонь і прилягаючих до них зон. Забороняється механічне припасування крайок у процесі складання, якщо це викликає локалізовані напруження в металі. Тимчасові з'єднання (прихватки) необхідно виконувати із використанням тих самих зварювальних матеріалів, що й для основного шва, відповідно до технічних умов на виготовлення виробу.

Технологічна документація повинна передбачати порядок виконання робіт, що мінімізує виникнення залишкових напружень у зварних з'єднаннях. Вибір типів з'єднань, способів зварювання та технологічних прийомів має бути технічно обґрунтованим і орієнтованим на забезпечення високої якості швів.

Граничні відхилення геометрії шва повинні відповідати нормам, встановленим для зварних з'єднань, що працюють під тиском. Зовнішній вигляд шва має бути акуратним: перехід до основного металу — плавним, без напливів; поверхня — рівномірна, допускається дрібна луска. При цьому виступання шва понад 1 мм у стикових з'єднаннях підлягає обов'язковому згладженню.

Перед зварюванням усі поверхні, що підлягають з'єднанню, мають бути очищені від окалини, корозії, мастил та інших забруднень на ширину, що перевищує ширину шва на 5–10 мм. Зварювання допускається проводити лише за температури навколишнього середовища не нижче +5 °С.

Кожен зібраний під зварювання вузол підлягає вхідному контролю, який здійснює майстер дільниці та представник відділу технічного контролю (ВТК). Лише після їхнього дозволу можна переходити до виконання основних зварювальних операцій.

Матеріали, які застосовуються при виготовленні металоконструкцій, повинні відповідати вимогам чинних державних стандартів або технічних умов, що

регламентують їх якість і експлуатаційні характеристики. Відповідність матеріалів нормативним вимогам повинна бути підтверджена супровідною документацією виробника або, за її відсутності, — результатами лабораторних випробувань, виконаних на підприємстві-споживачі відповідно до затверджених методик контролю.

Прокат, що надходить до обробки, підлягає попередньому огляду, очищенню від сторонніх забруднень (пилу, іржі, льоду), виправленню, а також перевірці на наявність розшарувань і нерівномірності розподілу домішок. На поверхні допускається незначний шар окалини або сліди корозії, за умови, що вони не заважають виявленню дефектів.

При виготовленні деталей з прокату на необроблюваних поверхнях не повинно бути задирок, тріщин, подрізів або ознак розшарування. Для деталей, виготовлених без креслень, шорсткість крайок при товщині до 60 мм має становити не більше Rz 1000 мкм, а при більшій товщині — бути в межах допусків за лінійними розмірами. Поверхні, оброблені газовим різанням, повинні бути очищені від окалини, шлаку та бризок. Прикореневі зони зварювання очищаються на ширину не менше 20 мм до металевого блиску.

Корекція дефектів крайок допускається шляхом абразивної обробки вздовж напрямку стику, або ж за допомогою зварювання за затвердженим технологічним регламентом. Виправлення ливарних дефектів (раковин, пор, свищів) дозволяється виконувати наплавленням за відповідною технологією.

Геометричні параметри елементів конструкції мають бути виготовлені з урахуванням заданих допусків. Площинність елементів повинна забезпечувати коректну збірку зварної конструкції із дотриманням необхідних зазорів.

Під час складання передбачено мінімізацію прихваток, які мають бути виконані тим же зварювальним дротом, що і основні шви, із забезпеченням надійної сплавки. Неякісні прихватки підлягають видаленню та повторному виконанню. Складання здійснюється із застосуванням універсального складального оснащення, що дозволяє точно позиціонувати елементи, дотримуючись зазорів і перпендикулярності з'єднань.

У разі відсутності вивідних планок, кратери на краях швів мають бути заварені, а виведення дуги на основний метал — заборонено. Механічні властивості зварних з'єднань повинні не поступатися параметрам основного металу.

Зварювання ресивера та елементів здійснюється згідно з технічними умовами на виготовлення посудин, що працюють під тиском, та затвердженими виробничими інструкціями. Впровадження нових методик зварювання можливе лише після отримання позитивного експертного висновку та з дозволу головного інженера підприємства [8].

До початку зварювання проводиться перевірка якості складання, стану крайок та прилеглих зон. Заборонено припасування з утворенням залишкових напружень. Тимчасові з'єднання виконуються з використанням присадкових матеріалів, що відповідають основному металу.

Зварювальна технологія має передбачати мінімізацію внутрішніх напружень у з'єднаннях. Якість швів забезпечується раціональним вибором типу з'єднання, способу зварювання та режиму. Вимоги до геометрії шва — відповідно до нормативів: перехід повинен бути плавним, поверхня — рівномірною, лускатою, без напливів, а виступання понад 1 мм згладжується.

Перед зварюванням усі деталі очищуються до металевого блиску у зоні шириною 5–10 мм навколо майбутнього шва. Роботи виконуються за температури не нижче +5 °С. Зібраний вузол підлягає обов'язковому огляду майстром та представником служби ВТК [8].

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу

Рівень продуктивності праці в зварювальному виробництві безпосередньо залежить від впровадження сучасних технологічних рішень, високопродуктивного обладнання та спеціалізованого оснащення. Комплексна механізація передбачає застосування прогресивних методів не лише на заготівельному етапі, а й під час складання та виконання зварювальних робіт.

На базовому підприємстві для виконання заготівельних операцій впроваджено використання газорізальної установки з числовим програмним керуванням, що забезпечує високу точність і швидкість формування деталей складної конфігурації. Одночасно з розкром виконується підготовка крайок під подальше зварювання, що значно скорочує технологічний цикл. Очищення заготовок від залишків шлаку та задирок після термічного різання здійснюється за допомогою пневматичних шліфувальних машин.

В цілому, рівень механізації заготівельної ланки виробництва можна вважати високим. Проте діючий технологічний процес має певні недоліки, які потребують удосконалення. Зокрема, при зварюванні обичайок досі застосовується ручне засипання та ущільнення флюсу, що не лише знижує ефективність, а й погіршує умови праці. Також формування зварного з'єднання здійснюється з використанням вивідних планок, що є технологічно застарілим підходом.

З метою модернізації пропонується впровадити флюсо-мідну подушку для заміни традиційного зварювання під флюсом. Такий підхід дозволить покращити якість формування кореня шва, зменшити об'єм додаткових робіт і забезпечити стабільну якість з'єднання. Крім того, застосування спеціалізованих пристроїв для складання і зварювання сприятиме зменшенню трудомісткості, підвищенню точності позиціонування деталей, а також поліпшенню умов праці персоналу.

Планування робочих місць, переміщення заготовок та готової продукції на ділянці здійснюється з урахуванням виключення зустрічних потоків, що знижує ризик збоїв у логістиці та покращує ергономіку виробництва.

Таким чином, впроваджувані заходи спрямовані на підвищення ефективності технологічного процесу, зниження собівартості продукції, поліпшення умов праці та забезпечення стабільної якості зварних конструкцій. Одним з основних завдань дипломного проєкту є розробка адаптованого технологічного процесу, орієнтованого на великосерійне виробництво, вдосконалення оснащення для складання та зварювання, а також оптимізація внутрішніх транспортних операцій у межах зварювального циклу.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування способу зварювання

Під час проектування технологічного процесу зварювання доцільно обирати як типові, так і спеціалізовані методи з'єднання, з урахуванням сучасних технічних вимог, економічної доцільності та перспективності подальшого впровадження. Обраний спосіб має відповідати вихідним техніко-технологічним умовам, що визначені на етапі розробки. У випадку, коли можливе застосування кількох альтернативних варіантів, остаточне рішення слід приймати на основі економічного обґрунтування ефективності кожного з них.

Серед найпоширеніших методів дугового зварювання виділяють технології з використанням плавкого електрода, які характеризуються високою універсальністю, технологічною простотою та широким діапазоном застосування. До таких належать: ручне дугове зварювання із застосуванням покритих електродів, напівавтоматичне й автоматичне зварювання суцільним дротом у середовищі вуглекислого газу або його газових сумішей, а також зварювання під флюсом і порошковим дротом. Значного поширення набуло дугове зварювання суцільним дротом як у середовищі захисних газів, так і під шаром флюсу [9].

Виробництво корпусу автомобільного ресивера доцільно максимально автоматизувати й механізувати, адже традиційні способи зварювання, що застосовувалися раніше, супроводжуються високими трудовими витратами та значним споживанням часу. Впровадження механізованих і автоматизованих систем зварювання дозволяє істотно підвищити продуктивність праці, знизити трудомісткість операцій, а також покращити якісні характеристики зварного з'єднання.

Згідно з даними спеціалізованих джерел, для металу товщиною 6 мм рекомендовано використовувати такі методи зварювання [9]:

- ручне дугове зварювання (РДЗ);
- автоматизоване зварювання під флюсом;
- зварювання в середовищі вуглекислого газу.

Перераховані методи забезпечують належну якість зварних з'єднань для зазначеної товщини матеріалу. Проте вибір оптимального способу слід здійснювати з урахуванням низки додаткових чинників: вимог до міцності та герметичності швів, доступності обладнання та витратних матеріалів, рівня продуктивності та вартості зварювального процесу, а також кваліфікаційного рівня персоналу.

Використання РДЗ можливе, однак така технологія вимагає високої майстерності виконавця й супроводжується значними часовими витратами, що є небажаним за умов серійного або масового виробництва. Разом із тим, ручне дугове зварювання доцільно застосовувати для коротких швів, особливо в складних просторових положеннях, а також у випадку дрібносерійного або ремонтного виробництва. У монтажних умовах РДЗ доцільне навіть для з'єднань, що висуюють підвищені вимоги до якості, за умови обмеженого обсягу робіт [9].

У процесі механізованого зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей найчастіше як захисне середовище використовують вуглекислий газ, що зумовлено його доступністю та певними технологічними перевагами. Проте, попри ряд позитивних властивостей, зварювання в середовищі CO_2 має низку суттєвих недоліків, що обмежують його застосування при виготовленні відповідальних металоконструкцій, а також у випадках, коли необхідно пройти міжнародну сертифікацію виробів відповідно до вимог органів акредитації.

До основних проблем, пов'язаних із застосуванням чистого вуглекислого газу як захисного середовища, відносяться значні втрати електродного металу через інтенсивне розбризкування, утворення бризок, які залипають на поверхні виробу, а також груба структура поверхні шва з характерними нерівностями та лускатістю. Крім того, у низькотемпературних умовах часто спостерігається недостатній рівень ударної в'язкості металу шва, що погіршує його механічні характеристики.

Як свідчить як вітчизняний, так і зарубіжний досвід, одним із дієвих напрямів удосконалення механізованого зварювання в окисних середовищах є заміна чистого CO_2 на комплексні газові суміші. Коригуючи склад захисного середовища,

можна суттєво покращити як продуктивність зварювального процесу, так і якість одержуваних з'єднань.

Найбільш ефективними з погляду балансу між технологічною стабільністю та економічною доцільністю є суміші аргону з окисними компонентами — зокрема, $\text{Ar}+20\ldots 25\ \% \text{CO}_2$ або трикомпонентна суміш $\text{Ar}+20\ldots 30\ \% \text{CO}_2+3\ldots 7\ \% \text{O}_2$. Такі склади забезпечують оптимальні умови горіння дуги, якісне формування шва та знижують загальні витрати на зварювальні операції.

Особливо перспективною вважається трикомпонентна газова суміш $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$, яка завдяки підвищеному окисному потенціалу зменшує ймовірність утворення газових пор у шві (викликаних, зокрема, впливом азоту). Це робить її доцільною для зварювання стиків із великим зазором, металу зі слідами окалини, товстостінних виробів, а також для зварювальних робіт у складних умовах — наприклад, на відкритому повітрі при вітрі зі швидкістю до 1,3 м/с.[10-11]

Порівняно з традиційним зварюванням у CO_2 , використання аргоновмісних сумішей дозволяє досягти таких переваг:

- зменшення втрат електродного металу через розбризкування у 3–4 рази;
- зниження трудомісткості очищення виробу від бризок у 8–10 разів;
- підвищення продуктивності праці зварювальників на 10–20 %;
- можливість використання імпульсно-дугового режиму та інших технологічних прийомів, таких як зварювання на прямій полярності, з подовженим вильотом електрода або на підвищеній швидкості;
- покращення механічних властивостей зварного металу, зокрема ударної в'язкості при мінусових температурах;
- поліпшення санітарно-гігієнічних умов і зменшення екологічного навантаження під час проведення зварювальних робіт.

До недоліків зварювання в аргоновмісних газових сумішах слід віднести підвищене теплове та світлове випромінювання зварювальної дуги, що вимагає посилених заходів індивідуального захисту, а також вищу вартість таких сумішей у порівнянні з вуглекислим газом.

Для зварювання більшості поширених марок конструкційних, низьковуглецевих і низьколегованих сталей у середовищі сумішей $\text{Ar}+\text{CO}_2$ та $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$ можуть застосовуватись стандартні зварювальні дроти або їхні закордонні аналоги, які традиційно використовуються при зварюванні у CO_2 . З'єднання, отримані в аргонових газових сумішах із використанням зазначених дротів, відзначаються високими механічними характеристиками, зокрема значною ударною в'язкістю металу шва при низьких температурах.

Крім того, зварні з'єднання, виконані у таких середовищах, демонструють хорошу стійкість до утворення кристалізаційних тріщин, а також знижену схильність до крихкого руйнування. Це зумовлено зменшенням вмісту кисню в металі шва, що сприяє формуванню сприятливої мікроструктури та покращує зовнішнє формування з'єднання. Завдяки цьому забезпечується висока тріщиностійкість та холодостійкість зварного металу навіть при зварюванні з підвищеним тепловкладенням — що неможливо досягти при зварюванні у чистому CO_2 .

Процес зварювання у сумішах $\text{Ar}+\text{CO}_2$ і $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$ можливий у будь-яких просторових положеннях, з використанням стандартного зварювального обладнання, яке зазвичай застосовується для зварювання у вуглекислому газі. При цьому рекомендується зменшити напругу дуги на 2–3 В порівняно з аналогічними режимами у CO_2 для того самого зварювального струму. Напруга не повинна перевищувати значень, що встановлені як нормативні для процесів у середовищі CO_2 .

Особливо помітними технологічні переваги аргонових сумішей стають за умов застосування струмів, що забезпечують струминний (spray-type) перенос металу з електрода. Аргонові суміші дозволяють проводити зварювання на постійному струмі прямої полярності, забезпечуючи при цьому якісне формування шва зі зменшеним вмістом основного металу. За таких умов підвищується продуктивність зварювання на 25–30 %, що є особливо актуальним під час виконання багат шарових швів на товстостінних металевих виробах.

На відміну від зварювання у вуглекислому газі, зварювання в аргоністких сумішах дозволяє ефективно використовувати імпульсно-дуговий процес, при якому реалізується дрібнокрапельний перенос електродного металу. Частота відриву крапель при цьому відповідає частоті накладення імпульсів зварювального струму. Такий тип переносу забезпечується за нижчого середнього значення струму, ніж у випадку струминного переносу, що виникає за умови сталого (неімпульсного) дугового режиму [9].

Застосування імпульсно-дугового режиму дозволяє використовувати зварювальний дріт одного діаметра в широкому діапазоні технологічних завдань. Це вигідно відрізняється від звичайного (неімпульсного) режиму, при якому добір діаметра дроту обмежується товщиною основного металу, просторовим положенням шва, теплофізичними характеристиками матеріалу та іншими параметрами. У промислово розвинених країнах цей процес отримує активний розвиток, що зумовлено появою сучасних джерел живлення, здатних формувати імпульси довільної форми, амплітуди, частоти та тривалості з точним і плавним регулюванням.

Окрім технічних і економічних переваг, процес зварювання в аргоністких сумішах характеризується покращеними умовами праці, зокрема зниженням рівня пилових і газових викидів у зону дихання зварювальника, що значно вигідніше порівняно зі зварюванням у CO_2 . Менше виділення токсичних речовин сприяє поліпшенню гігієнічних умов праці, зниженню рівня професійних захворювань та дає змогу оптимізувати системи вентиляції, зменшити споживання електроенергії та експлуатаційні витрати на обслуговування вентиляційного обладнання.

Дещо вищий рівень питомих озонових викидів при роботі в аргоністких сумішах не становить суттєвої перешкоди, адже дотримання раціональних зварювальних режимів у поєднанні з використанням стандартних засобів захисту дозволяє підтримувати концентрацію озону в межах гранично допустимих значень (ГДК) у зоні дихання зварювальника.

Найбільш відчутний техніко-економічний ефект від використання аргоністких сумішей досягається у таких випадках:

- під час зварювання конструкцій, для яких технічними умовами забороняється наявність бризів металу на поверхні виробу;
- при виготовленні елементів, що експлуатуються в умовах низьких температур і під впливом динамічних навантажень;
- під час виконання швів малого перерізу на високих швидкостях;
- при зварюванні товстостінних заготовок у багат шаровому режимі;
- у виробничих циклах, де передбачене застосування автоматизованих установок або поточкових ліній.

Для стабілізації зварювального процесу та покращення формування шва доцільно застосовувати захисну газову суміш, що містить 80 % аргону та 20 % вуглекислого газу. Така комбінація забезпечує оптимальні умови горіння дуги та сприяє зменшенню дефектності з'єднання.

Для зварювання сталевих конструкцій із товщиною стінки від 6 до 100 мм доцільно застосовувати автоматизоване дугове зварювання під флюсом із використанням плавкого електрода. Цей метод забезпечує високу стабільність і якість зварного процесу завдяки ефективному захисту зони дуги від впливу навколишнього середовища, хімічній однорідності металу шва, точності його геометрії та збереженню постійності параметрів з'єднання.

Однією з ключових переваг зварювання під флюсом є мінімізація ймовірності виникнення типових дефектів шва, таких як непровари, підрізи та нестабільне формування. До того ж виключається необхідність у частій зміні електродів, що забезпечує безперервність процесу.

Важливою технічною перевагою є практично повна відсутність металевих бризів, що суттєво знижує потребу в трудомісткому зачищенні поверхні зварюваних деталей. Зварювання під флюсом також менш шкідливе для оператора: не потребує додаткового захисту очей і обличчя, а кількість токсичних виділень у процесі менша, що покращує умови праці.

На практиці найвищу продуктивність демонструють автоматизовані установки самохідного або підвісного типу. Вони забезпечують зниження трудомісткості в 10–20 разів порівняно з ручним дуговим зварюванням і в 4–6 разів

у порівнянні з напівавтоматичними процесами. Однак слід враховувати, що вартість такої комплексної установки зазвичай у 5–25 разів перевищує ціну стандартного напівавтомата. Тому остаточне рішення щодо доцільності використання автоматизованого комплексу для зварювання кільцевих швів (як проєктного варіанта) замість напівавтоматичного зварювання в CO_2 (базовий варіант) слід приймати на основі техніко-економічного аналізу [9].

Для виконання зовнішніх прямолінійних швів на обичайках переважно використовується автоматизоване зварювання під шаром флюсу. Високоякісні з'єднання на вуглецевих конструкційних сталях зазвичай досягаються при використанні таких комбінацій флюсів і зварювальних дротів:

- плавлений флюс з високим вмістом кремнію і марганцю у поєднанні зі звичайним низьковуглецевим дротом;
- плавлений високоокремністий безмарганцевий флюс у комбінації з марганцевовмісним низьковуглецевим дротом.

Марганець вводиться до зварного металу з метою підвищення його тріщиностійкості, зокрема — стійкості до кристалізаційного розтріскування. У першому випадку легування відбувається через флюс, у другому — через дріт.

Порівняння ефективності зазначених комбінацій свідчить про дещо кращі зварювальні властивості високоокремністих флюсів із вмістом марганцю. До таких належать: АН-348А, АН-348АМ, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-60, ФЦ-9 тощо. Найбільш поширеними серед них є флюси АН-60, ОСЦ-45 та АН-348А [11-12].

Як засвідчено у таблиці 2.1, флюс АН-348А вирізняється серед інших, зокрема ОСЦ-45, вмістом фтористого кальцію (CaF_2), що знижує ймовірність утворення пор у шві завдяки наявності оксиду кремнію (SiO_2) та фтористих сполук у шлаку. Проте надлишкова концентрація фтористих газів у дуговій атмосфері може погіршувати стабільність горіння дуги та впливати на гігієнічні умови.

У межах цього проєкту передбачено застосування флюсу АН-348А, який демонструє хорошу стабільність горіння дуги та має нижчий рівень токсичності порівняно з ОСЦ-45.

З огляду на хімічний склад і експлуатаційні характеристики сталі, для її зварювання доцільно використовувати зварювальний дріт марки Св-08ХГ2С. Даний дріт, що містить підвищену кількість марганцю та хрому, сприяє формуванню зварного металу з високою ударною в'язкістю, особливо за умов дії низькотемпературних навантажень. Крім того, він забезпечує добру стійкість до кристалізаційного розтріскування, що є критичним чинником при виготовленні відповідальних конструкцій. Оптимальними для використання з дротом Св-08ХГ2С є флюси типу АН-348А, АН-60 та ОСЦ-45, які забезпечують надійний захист зони зварювання та сприяють отриманню якісного шва.

Таблиця 2.1 - Склад флюсів, % [12]

Марка флюсу	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	не більше		
							Fe ₂ O ₃	S	P
АН-348А	41-44	34-38	≤6,5	5-7,5	≤4,5	4-5,5	2,0	0,15	0,12
ОСЦ-45	38-44	38-44	≤6,5	≤2,5	≤5	6-9	2,0	0,15	0,15

Таблиця 2.2 — Хімічний склад дроту Св – 08ХГ2С, % [12]

Марка дроту	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
Св-08ХГ2С	0,05-0,11	1,7-2,1	0,70-0,95	0,70-1,0	<0,25	<0,025	<0,030

З урахуванням того, що початкове збирання елементів ресивера передбачає виконання з'єднань на прихватках, а основне зварювання штуцерів та додаткових конструктивних деталей здійснюватиметься механізованим способом у середовищі захисного газу, для стабілізації процесу та надійного захисту зварювальної ванни доцільно застосовувати газову суміш, що складається з 20 % CO₂ та 80 % Ar. В якості захисного середовища використовуються технічно чисті компоненти високої якості: вуглекислий газ із чистотою 99,8 % та аргон із чистотою не менше 99,993 %. Такий склад газової суміші забезпечує оптимальні умови горіння дуги, покращене формування шва та підвищену стабільність процесу зварювання.

Для досягнення високих показників технологічної та експлуатаційної надійності зварного з'єднання необхідним є забезпечення якісного провару по всій товщині шва. З цією метою виконується розрахунок параметрів режиму зварювання. Розрахунок здійснюється згідно з методикою, наведеною у [12], з урахуванням типу з'єднання, зображеного на рис. 2.1.

Зварювання циліндричної частини ресивера передбачається виконувати автоматичним способом під флюсом з використанням флюсомідної підкладки, яка забезпечує підтримку зварювальної ванни та формування кореневого шару шва. На рис. 2.1. представлено конструктивне виконання стикового з'єднання типу С4, яке застосовується при зварюванні листових або обичайкових елементів, розташованих у одній площині. Такий тип шва характерний для відповідальних з'єднань, де важливими є повний провар, герметичність і мінімальні деформації після зварювання. Залежно від товщини з'єднуваних елементів, зварювання може виконуватись за багатопрохідною технологією із застосуванням підкладного шару або флюсомідної основи для забезпечення формування кореневого шару шва.

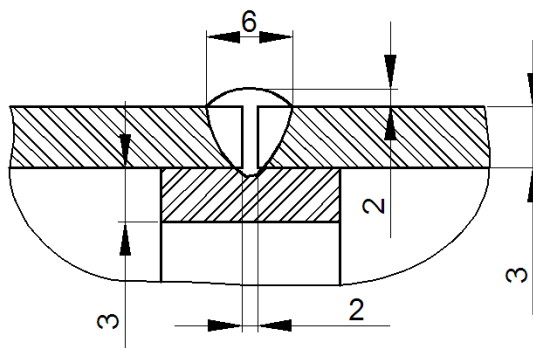


Рис. 2.1 – Схема з'єднання С4 обичайки ресивера

Визначимо силу струму:

$$I_{36} = \frac{h}{k} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де h — глибина проплавлення, мм, приймаємо глибину проплавлення 6 мм;

k — коефіцієнт пропорційності, мм/100А.

Для електродного дроту діаметром 3 мм, $k = 1$ мм/100А.

$$I_{36} = \frac{6}{1} \cdot 100 = 600A$$

Приймаємо рівним 600А.

Діаметр дроту:

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_{36}}{j}} \quad (2.2)$$

де I_{36} — сила зварювального струму, А;

j — густина струму, А/мм²;

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{600}{50}} = 3,9_{мм}.$$

Приймаємо діаметр дроту 4 мм.

Напругу зварювання:

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_e^{0,5}} \cdot I_{36} \pm 1, \quad (2.3)$$

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{4^{0,5}} \cdot 600 = 35 B.$$

Приймаємо 35 В.

Визначаємо площу наплавленого металу в перерізі шва.

Площа підсилення в перерізі шва

$$F_1 = 0,75 \cdot l \cdot q, \quad (2.4)$$

$$F_1 = 0,75 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 32 \cdot 10^{-6} м^2.$$

Площа наплавленого металу в зазорі перерізу шва:

$$F_2 = h_{ш} \cdot l + h_p \cdot tg\alpha \cdot h_p, \quad (2.5)$$

де $h_{ш}$ — висота шва, м;

l — ширина зазору шва, м;

h_p — висота розроблення, м;

α — кут розроблення;

$$F_2 = 3 \cdot 1,5 + 2 \cdot tg90 \cdot 2 = 27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Площа наплавленого металу в перерізі шва

$$F = F_1 + F_2 \quad (2.6)$$

$$F = 32 \cdot 10^{-6} + 27 \cdot 10^{-6} = 59 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт наплавлення визначається згідно з табличними даними залежно від величини зварювального струму $I_{зв}$ (А) та діаметра зварювального дроту d_e (мм). Для заданих параметрів режиму він приймається 20,1 г/А·год.

Швидкість зварювання

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв.}}{F_n \cdot \gamma} = \frac{20,1 \cdot 600}{59 \cdot 7,8} = 26 \frac{\text{м}}{\text{год}} \quad (2.7)$$

Швидкість подачі дроту

$$V_{п.д} = \frac{4 \cdot V_{зв} \cdot F_{нр}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 26 \cdot 59}{3,14 \cdot 4^2} = 122 \text{ м/год} \quad (2.8)$$

Механізоване зварювання фланця, штуцерів та прихватки деталей виконуватиметься в середовищі захисного газу за попередньо визначеними параметрами режиму зварювання. Для забезпечення необхідної якості зварного з'єднання та стабільності процесу виконуємо розрахунок режимів для шва типу ТЗ–Δ3. Розрахунок включає визначення оптимального значення зварювального струму, напруги на дузі, швидкості подачі дроту, витрати захисного газу та інших параметрів, які відповідають умовам механізованого зварювання зазначеного типу стикового з'єднання.

Площа наплавлення

$$F_H = 2(k^2/2 + 1,05 \cdot k \cdot h) = 2(3^2/2 + 1,05 \cdot 3 \cdot 1,5) = 18,45 \text{ мм}^2. (2.9)$$

Діаметр електрода. Приймаю для напівавтомата діаметр 1,2 мм.

Струм зварювання

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} j, (2.10)$$

За результатами розрахунку: $I_{зв} = 140 \text{ А}$.

Напруга на дузі

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \cdot I_{зв} + 1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \cdot 140 + 1 = 21 \text{ В} (2.11)$$

Коефіцієнт наплавлення вибирається з таблиць і приймаєм 14,2 г/А · год;

Швидкість зварювання.

$$V_{зв} = \frac{14,2 \cdot 140}{18,45 \cdot 7,8} = 14 \text{ м/год}$$

Швидкість подачі дроту

$$V_{п.д} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{зв.}}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \gamma} = \frac{4 \cdot 14,2 \cdot 150}{3,14 \cdot (1,2)^2 \cdot 7,8} = 241 \text{ м/год}$$

Узагальнені результати обчислень режимних параметрів процесу зварювання подано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Режим автоматичного зварювання під флюсом

Тип шва	F_n , мм ²	Кількість проходів	d_e , мм	$I_{зв}$, А	U_d , В	$V_{п.д}$, м/год	$V_{зв}$, м/год	α_n , г/А·год
С4	59	1	4	600	35	122	26	20,1
ТЗ	18,45	1	1.2	140	21	241	14	14,2

2.2 Вибір устаткування для реалізації технологічного процесу

Під час вибору зварювального устаткування слід урахувати специфіку механізованих ліній, що використовуються для виготовлення автомобільних газових балонів. У таких системах застосовуються зварювальні апарати, здатні забезпечити надійне виконання з'єднань при товщині металу в межах 3–8 мм.

Процес зварювання ресиверів здійснюється із використанням установки Р-879 (табл. 2.4, рис. 2.2), яка призначена для автоматизованого дугового зварювання під шаром флюсу. Дана установка забезпечує формування трьох основних зварних з'єднань: одного поздовжнього шва та двох кільцевих.

Таблиця 2.6 – Технічні параметри зварювального комплексу Р-879

Параметри	Значення
Швидкість зварювання кільцевих швів, м/год.	
найменша;	14
найбільша	32
Швидкість зварювання поздовжніх швів, м/год	
найменша;	13
найбільша	112
Габаритні розміри установки, мм:	
висота;	3240
ширина;	4800
довжина	6000



Рис. 2.2 - Зварювальний комплекс Р-879 [1]

Для забезпечення стабільної роботи зварювальної установки типу Р-879 використовується зварювальний випрямляч, здатний підтримувати необхідні параметри технологічного режиму. Джерело живлення має відповідати сукупності технічних вимог, що визначають його придатність до високоефективного та надійного функціонування в умовах дугового зварювання.

Серед ключових критеріїв, яким повинне відповідати джерело живлення, виділяють [14]:

- а) можливість формування заданого діапазону зварювального струму і напруги залежно від специфіки процесу;
- б) наявність відповідної зовнішньої вольт-амперної характеристики, яка забезпечує стійке горіння дуги протягом усього циклу зварювання;
- в) здатність до тонкого регулювання робочих параметрів згідно з установленними технологічними режимами;

г) задовільні динамічні властивості, які сприяють надійному запалюванню дуги та мінімізації вторинних ефектів, зокрема розбризкування розплавленого металу.

У таблиці 2.7 подано основні технічні характеристики зварювального випрямляча ВДУ-1201К (рис. 2.3), які визначають його експлуатаційні можливості в процесі дугового зварювання. [16].

Таблиця 2.7 – Технічна характеристика ВДУ – 1201К (КИУ – 1201)[15]

Найменування параметру	Значення
Напруга мережі, В	3х380
Частота струму мережі, Гц	50
Номінальний зварювальний струм при ПВ 100% , А	1250
Межі плавного регулювання зварювального струму, А: – падаюча – жорстка	250 – 1250 250 – 1250
Межі регулювання напруги, В: – падаюча – жорстка	24 – 56 24 – 56
Номінальна споживана потужність, кВт	120
Напруга холостого ходу, В	85
Маса, кг	550
Габаритні розміри, мм	960 × 680 × 890



Рис. 2.3 – Зварювальний випрямляч ВДУ – 1201К (КИУ – 1201)[15]

З огляду на те, що операції прихоплювання основних елементів ресивера в процесі складання та наступного зварювання виконуються механізованим методом у середовищі захисних газів, виникає потреба у відповідному доборі зварювального обладнання, здатного забезпечити реалізацію цього технологічного процесу. Зварювання в середовищі інертних або активних газів, як правило, здійснюється на постійному струмі. У таких умовах використовуються джерела живлення з пологопадаючими або крутопадаючими статичними вольт-амперними характеристиками. Залежно від динамічних властивостей, зокрема швидкості наростання струму при короткому замиканні, ці джерела поділяють на чотири групи: з низьким, середнім, високим та надвисоким показником приросту струму [16].

Провівши аналіз технічних параметрів, для забезпечення стабільної роботи механізованого зварювання обрано джерело постійного струму з жорсткою вольт-амперною характеристикою. У ролі основного зварювального апарата використовується установка типу TPS/i 500 (табл. 2.8, рис. 2.4). Це високотехнологічна зварювальна система нового покоління, що забезпечує струм до 600 А і відповідає високим вимогам до зварювання сталевих, нержавіючих та алюмінієвих компонентів. Завдяки інтелектуальній системі керування, модульній архітектурі та широким можливостям конфігурації, зварювальна система TPS/i 500 забезпечує високу гнучкість, надійність і ефективність виконання зварювальних робіт у різних виробничих умовах [16].

Таблиця 2.8 – Технічні показники зварювальної системи TPS/i 500

Напруга мережі	3 x 400V
Частота мережі	50-60Hz
Зварювальний струм мінімальний	3 A
Зварювальний струм максимальний	500 A
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	500A / 40%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	430A / 60%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	360A / 100%
Напруга холостого ходу	71 V
Клас захисту	IP23
Габаритні розміри / довжина	706 mm
Габаритні розміри / ширина	300 mm
Габаритні розміри / висота	510 mm
Вага	38 kg



Рис. 2.4 — Зварювальний напівавтомат з джерелом живлення *TPS/i 500*

2.3 Вибір методу контролю якості виробу

Вибір та застосування методів контролю якості зварних з'єднань обумовлюється необхідністю своєчасного виявлення як зовнішніх, так і внутрішніх дефектів у металі шва. Обраний метод повинен бути здатен ідентифікувати дефекти певних розмірів відповідно до класу відповідальності конструкції, а також надавати дані про їх морфологічні особливості.

Отримана під час контролю інформація є критично важливою для встановлення причин виникнення дефектів, аналізу умов їх утворення та розроблення ефективних коригувальних заходів щодо запобігання їх повторній появі у майбутньому.

З урахуванням вимог до надійності зварних з'єднань і умов експлуатації зварної конструкції, контроль якості виконання складально-зварювальних операцій

може здійснюватися різними методами. Доцільно розглянути найбільш ефективні та практично обґрунтовані способи їх реалізації [17].

Візуально-оптичний контроль. Первинне оцінювання якості зварних швів здійснюється візуальним методом — без застосування спеціалізованого обладнання або за допомогою збільшувальних приладів (лупа з кратністю до $\times 7$). При цьому перевіряють наявність таких дефектів, як тріщини, підрізи, напливи, а також аналізують рівномірність і геометричні розміри шва. Попри простоту, цей метод є одним із найбільш ефективних на початковому етапі контролю.

Механічні випробування. Механічні методи контролю передбачають тестування зварених зразків на основні характеристики міцності — зокрема розрив, згин, ударну в'язкість, а також визначення відносного подовження та поведінки матеріалу при статичному розтягуванні. Ці випробування дозволяють кількісно оцінити фізико-механічні властивості з'єднання та його відповідність нормативним вимогам.

Пневматичний контроль герметичності. Оцінювання щільності зварного з'єднання проводиться шляхом наповнення контрольованої ємності стисненим повітрям (рис. 2.5). Як приклад можна навести випробування зварних балонів для зберігання пропану. Після нагнітання повітря виріб занурюють у водяну ванну. Утворення повітряних бульбашок на поверхні свідчить про наявність протікання, що дозволяє ефективно перевірити герметичність та механічну міцність з'єднань. Метод характеризується простотою, оперативністю та надійністю отриманих результатів..

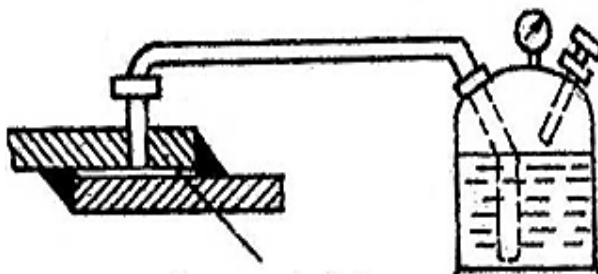


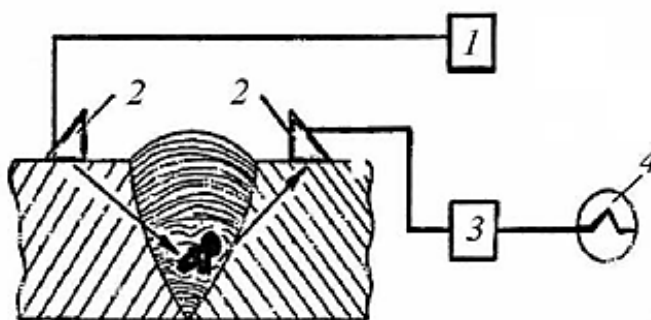
Рис. 2.5 - Схема випробувань пневматичним методом [17]

Контроль за допомогою газової проби. Суть методу полягає у змочуванні поверхні зварного шва газом із подальшою витримкою. Із протилежного боку на зону зварювання попередньо наноситься шар крейдяного покриття. У разі наявності нещільностей у металі шва газ просочується через дефекти і проявляється на поверхні у вигляді характерних жовтих плям. Метод простий у реалізації, надійний за результатами і за своєю чутливістю відповідає гідравлічному тиску приблизно 4 кгс/мм^2 .

Аміачне випробування. Зовнішню сторону контрольованої ділянки зварного з'єднання покривають паперовою або марлевою стрічкою, змоченою 5% водним розчином азотнокислої ртуті або фенолфталеїну. Усередину виробу подається повітря, збагачене аміаком, під надлишковим тиском. У разі витоку аміак проникає крізь дефекти і вступає у хімічну реакцію з реагентом, залишаючи на індикаторі плями: чорні — у разі використання азотнокислої ртуті або червоні — при застосуванні фенолфталеїну. Цей метод є високочутливим та придатним для виявлення мікротріщин і пор.

Контроль із застосуванням гелієвих витоковиявлювачів. Під час цього високоточного способу внутрішню порожнину контрольованої ємності вакуумують, після чого зварні шви зовнішньої поверхні обдувають сумішшю повітря з гелієм. У разі порушення герметичності гелій проникає всередину і виявляється за допомогою спеціалізованої апаратури витокошукача. Цей метод має надвисоку чутливість, однак потребує складного обладнання та ретельної підготовки.

Ультразвукова дефектоскопія. Метод базується на здатності ультразвукових хвиль відбиватися від меж розділу двох середовищ із різними акустичними властивостями (рис. 2.6). Випромінений сигнал, проходячи через матеріал, відбивається від внутрішніх структурних неоднорідностей (наприклад, тріщин, пор, включень). Відбиті хвилі сприймаються приймальним датчиком, перетворюються на електричний сигнал і виводяться на екран, де аналізується їх форма та інтенсивність. За цими параметрами визначають тип і розмір дефекту. Метод дозволяє виявляти приховані дефекти без руйнування виробу.



1 — генератор ультразвукових коливань; 2 — п'єзоелектричний щуп;
3 — підсилювач; 4 — екран дефектоскопа

Рис. 2.6. — Метод ультразвукової дефектоскопії [17]

Після відбиття від задньої поверхні контрольованого виробу ультразвуковий сигнал повертається до приймального перетворювача, де перетворюється на електричний імпульс і відображається на екрані приладу, зокрема осцилографа або електронно-променевого індикатора. У разі наявності внутрішніх дефектів структура хвиль зазнає змін, що проявляється у вигляді характерних сплесків або викривлень сигналу на екрані. За формою, амплітудою та розташуванням таких відхилень здійснюється ідентифікація дефектів, а також оцінка їх розмірів і типу.

У гомогенному матеріалі ультразвукові хвилі поширюються переважно прямолінійно. Однак на межах з неоднорідними включеннями, як-от пори, тріщини чи сторонні включення, відбувається часткове або повне відбиття сигналу.

Серед основних обмежень ультразвукового контролю варто відзначити складність інтерпретації отриманих даних, особливо в разі дрібних або нехарактерних дефектів. Крім того, метод має обмежене застосування для матеріалів із великою зернистістю, таких як чавун або аустенітні сталі, а також для тонкостінних виробів із товщиною менш ніж 4 мм, де точність діагностики знижується через розсіювання хвиль.

На підставі проведеного аналізу ефективності методів контролю якості зварних з'єднань доцільно виділити наступні найбільш раціональні способи

неруйнівного контролю: пневматичне випробування, ультразвукову дефектоскопію та візуально-оптичний метод.

Упровадження ультразвукового контролю передбачається здійснювати з використанням універсального дефектоскопа типу ЕРОСН 650 (рис. 2.7).



Рис. 2.7 Дефектоскопа типу ЕРОСН 650 [18]

2.4 Опис запропонованого технологічного процесу

Процес виготовлення виробу передбачає послідовне виконання взаємопов'язаних технологічних етапів, які включають заготівельні, складально-зварювальні та контрольні операції.

Під час формування технологічного маршруту доцільно орієнтуватися на впровадження сучасних, високопродуктивних методів обробки матеріалів, які забезпечують підвищення продуктивності та сприяють динамічному розвитку галузей машинобудування.

На етапі заготівельного циклу здійснюється низка підготовчих технологічних операцій, зокрема: розкрій, очищення, виправлення, газополуменеве різання, механічна обробка та контроль вхідного матеріалу.

Приймання металопрокату. Уся металева продукція, що надходить на підприємство, підлягає перевірці на наявність сертифіката виробника. У документі мають бути зазначені основні параметри: номер плавки, марка сталі, розміри, хімічний склад, механічні властивості, а також кількість отриманого матеріалу. У разі відсутності сертифіката метал ізолується на окремій ділянці складу й не допускається до виробничого процесу до проведення відповідних досліджень: перевірки зварюваності, хімічного аналізу, механічних випробувань та оформлення акту контролю. Лише після цього може бути надано дозвіл на його використання у виробництві.

У разі наявності сертифіката, приймання металу супроводжується складанням акта у чотирьох примірниках: один передається в бухгалтерію, другий — у конструкторський відділ, третій — у відділ технічного контролю, четвертий залишається на складі.

Складування металопрокату. Правильна організація складських площ має вирішальне значення для збереження якості металу. Зберігання повинно виключати контакт із вологою, забрудненнями та механічними пошкодженнями. Склади, як правило, розміщуються поблизу складально-зварювальних ділянок та мають бути критими. У складському приміщенні передбачене використання вантажопідіймального обладнання.

Листовий метал укладається в штабелі з використанням металевих або дерев'яних прокладок товщиною не менше 12 мм, розміщених через кожні 0,3–0,5 м. Прокладки повинні бути довшими за ширину листа. Висота штабеля становить 2–2,5 м, а відстань між штабелями — в межах 1,5–2,5 м. Штабелі формують з урахуванням зручності навантаження/розвантаження та транспортування металу до заготівельної ділянки за допомогою мостових або козлових кранів, оснащених електромагнітними або вакуумними захватами.

Операція виправлення листового прокату. У випадках, коли металопрокат постачається в деформованому стані, або деформації виникають під час транспортування, необхідне попереднє вирівнювання листів. Найчастіше

спостерігаються такі типи викривлень: хвилястість (уздовж або впоперек), серповидність, опуклість або залом країв.

Для усунення зазначених дефектів застосовують метод холодного пластичного вирівнювання за допомогою листопрямильної машини. Принцип її дії полягає у багаторазовому згинанні листа в шаховому порядку між верхніми та нижніми валками. Кількість правильних роликів у машині становить від 5 до 21 (обов'язково непарна кількість). Відстань між валками регулюється залежно від товщини листа, а ефект вирівнювання досягається за рахунок чергування вигинів у протилежних напрямках. У разі суттєвої деформації лист може проходити обробку кілька разів.

Чим товстіший лист, тим меншою є кількість необхідних валків — через зменшення кількості вигинів, необхідних для досягнення ефекту вирівнювання. Машина також обладнується двома механізованими столами з рольгангами: один — для подачі матеріалу, другий — для його прийому.

У межах цього технологічного процесу використовується листопрямильна машина MGSP2565 (рис. 2.8).



Рис. 2.8 – Машини MGSP2565 [19]

Операція очищення. Перед подачею металу на заготівельну діляницю він обов'язково проходить операцію очищення. Метою цього етапу є усунення консервувальних речовин, оксидів, бруду, пилу та інших забруднень, які можуть негативно вплинути на якість зварних з'єднань. Наявність залишкових домішок на

поверхні металу суттєво ускладнює формування якісного шва й підвищує ризик виникнення дефектів. Для очищення поверхонь деталей, що входять до складу виробу, у даному випадку використовується дробоструминеву лінію SK-1 фірми ÇETİNGİL (рис. 2.9), який забезпечує ефективну обробку без утворення шкідливих викидів у навколишнє середовище.



Рис. 2.9 – Установка типу SK-1 виробництва ÇETİNGİL [19]

Операції розкрою та різання. Розкрій виконується з метою формування необхідного зовнішнього контуру деталей згідно з технічною документацією. У процесі розкрою також задаються координати отворів, центрувальні осі, розміри фасок, зони подальшої механічної обробки, гнуття та, за потреби, базові площини елементів.

У нашому випадку розкрій здійснюється з використанням систем числового програмного керування (ЧПК). На основі вибраного листа формується карта розкрою у відповідному програмному забезпеченні, що дає змогу раціонально розміщувати заготовки, мінімізуючи залишки та відходи металу.

Операція різання виконується механічним методом, який є доцільним при обробці листового прокату невеликої товщини. Найчастіше за такого способу отримують прямолінійні заготовки з високою точністю. У цьому технологічному

процесі застосовуються гільйотинні ножиці Yawei HGS(K)-6 (рис. 2.10), що забезпечують високу продуктивність та повторювану якість різання.



Рис. 2.10 – Гільйотинні ножиці моделі Yawei HGS(K)-6 [20]

Операція штампування.

У процесі виготовлення зварних конструкцій холодне штампування виступає одним із найбільш ефективних технологічних методів, що забезпечує високу точність формоутворення, підвищену продуктивність і зниження собівартості виготовлення деталей. Завдяки мінімальному використанню енергоресурсів та відсутності необхідності в додатковій механічній обробці, штампування є доцільним для серійного та масового виробництва.

Реалізація операції здійснюється за допомогою однокривошипного преса прямої дії Yangli J21S-10 (рис. 2.11), який забезпечує стабільність параметрів деформування та високу повторюваність результатів.



Рис. 2.11 –Прес штампувально-пробивний Yangli J21S-10 [20]

Операція вальцювання. Гнуття металу — це процес пластичної деформації заготовки, за якого відбувається згинання листа з утворенням криволінійної форми (рис. 2.12). У зоні згину внутрішні шари металу зазнають стиску, а зовнішні — розтягування. Для виконання цієї операції зазвичай застосовують трьох- або чотирьох-валкові листогибочні машини, що забезпечують точне формування заготовок із необхідним радіусом кривини.



Рис. 2.12. — Хема вальцювання основної частини ресивера [19]

У рамках даного технологічного процесу використовується трьох-валкова вальцювальна машина UZMA UHSS-4 20380 (рис. 2.13), яка забезпечує ефективну обробку листового прокату відповідної товщини та ширини.

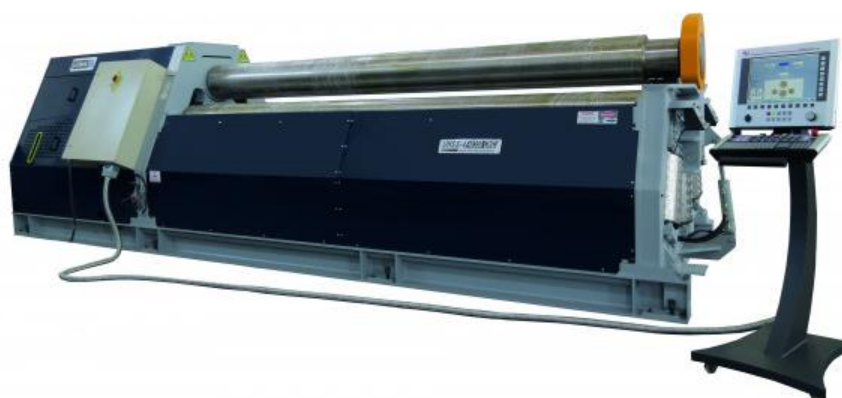


Рис. 2.13 — Чотиривалковий листозгинальний верстат UZMA UHSS-4 20380 [21]

Процес виготовлення заготовок для складальних елементів ресивера реалізується шляхом паралельного виконання технологічних операцій із використанням вищезазначеного обладнання. Послідовність дій організована таким чином:

➤ На першій технологічній лінії виготовляють днища. Вихідні металеві листи подаються на ділянку розкрою, де за допомогою гільйотинних ножиць здійснюється нарізання заготовок необхідних розмірів. Сформовані заготовки пакуються й передаються на пресову дільницю, де на однокривошипному пресі виконується штампування днищ із одночасним вирубуванням по зовнішньому контуру. Після формування деталі піддаються термічній обробці — відпалу в печі, з метою зняття внутрішніх напружень.

➤ На другій технологічній лінії формується обичайка. Заготівельний етап аналогічний до того, що використовується для днищ, однак передбачає специфіку геометричних параметрів. Перед вальцюванням на листі пробиваються отвори під монтаж фланців та штуцерів. Після цього листова заготовка передається на вальцювальний верстат, де формується циліндр.

Завершальним етапом заготівельної дільниці є проведення вхідного контролю якості заготовок фахівцями відділу технічного контролю (ВТК). Після підтвердження відповідності геометричних та технічних параметрів деталі передаються на складальну дільницю для подальшого зварювання.

На етапі складання ресивера обичайка, попередньо сформована на вальцювальному обладнанні, встановлюється у спеціалізоване затискне пристосування, яке забезпечує фіксацію заготовки у процесі зварювання. Зварювання поздовжнього з'єднання виконується під шаром флюсу за один прохід, із використанням установки Р-879, що призначена для зварювання циліндричних елементів із високим рівнем точності.

Перед початком основного процесу зварювання з метою забезпечення якісного формування шва до країв заготовки приварюють вхідні та вихідні технологічні планки. Вони слугують для стабілізації дуги на початку та завершенні проходу й видаляються після завершення зварювання.

На наступному етапі здійснюється встановлення підкладних кілець. Для цього проводять запресування підкладного кільця у відповідний отвір днища з подальшим виконанням прихваток. Далі здійснюється збирання всіх основних складальних елементів ресивера — обичайки та двох днищ із вмонтованими

кільцями. Основна увага приділяється правильному розташуванню елементів відносно один одного, а також дотриманню необхідного зазору між стиковими кромками.

Зварювання стикових з'єднань днищ з обичайкою проводиться кільцевими швами на тієї ж установці, що забезпечує повну автоматизацію процесу та високу якість швів.

Після завершення основного зварювання до корпусу ресивера приварюються додаткові елементи конструкції механізованим способом. Після виконання всіх зварювальних операцій проводиться шліфування швів та очищення біляшовної зони від шлаків і залишків флюсу.

Якість зварних з'єднань перевіряється за допомогою ультразвукового та візуально-оптичного контролю. Заключним етапом контролю є випробування зварного ресивера на герметичність і міцність шляхом подачі гідравлічного тиску. Першочергово тиск піднімають до 2,5 МПа, при цьому балон не повинен виявляти ознак деформації. Після фіксації результатів перевірки діаметра в поперечному перерізі (не менше ніж за 50 мм від зварного шва), тиск підвищують до 10 МПа. Умовою придатності є збереження цілісності виробу — жодне руйнування або тріщиноутворення не допускається при навантаженні до 5 МПа.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Спеціалізоване обладнання для зварювання ресивера

Установки для зварювання прямолінійних швів застосовуються переважно в умовах масового або крупносерійного виробництва, зокрема при зварюванні довгих швів та однотипних виробів із кількома паралельними з'єднаннями. Такі установки забезпечують високу якість зварного шва, стабільність процесу й суттєве скорочення виробничого часу.

Для зварювання елементів ресивера передбачається використання спеціалізованої зварювальної установки Р-879 (рис. 3.1), конструкція якої адаптована під виконання зварювання кільцевих і поздовжніх швів в автоматичному режимі [1].

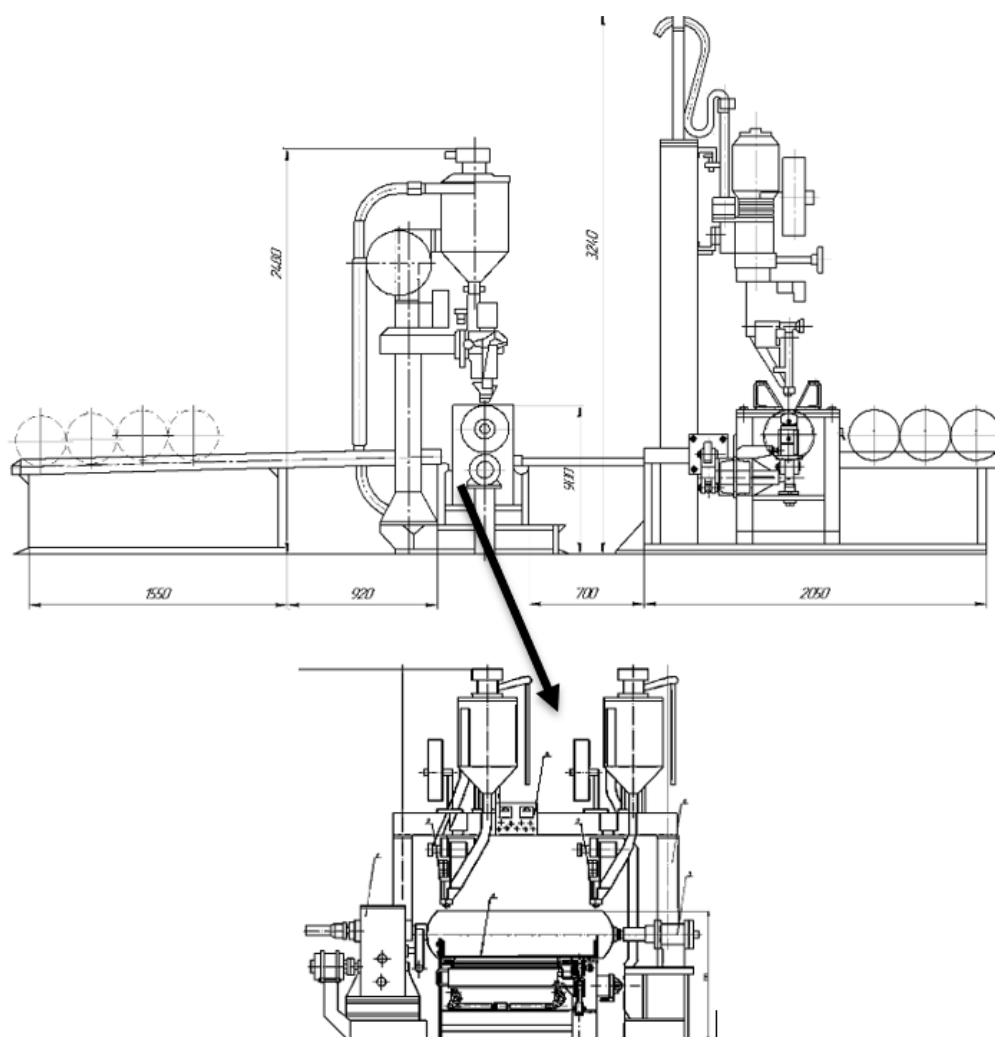


Рис. 3.1 Зварювальний комплекс Р-879

Зварювальний комплекс Р-879 включає наступні основні вузли:

- Обертач (позиція 1) — забезпечує обертання циліндричного виробу зі швидкістю, необхідною для автоматичного зварювання кільцевих швів у діапазоні 14–32 м/год. Привід обертача синхронізований із роботою зварювальної головки.
- Зварювальні головки (позиція 2).
- Затискний пристрій (позиція 4) — використовується для фіксації обичайки в процесі зварювання поздовжнього шва.
- Металоконструкція станини (позиція 6).

Для закріплення обичайки при зварюванні поздовжнього шва використовується затискний пристрій, що має складну конструкцію, яка забезпечує надійне позиціонування та фіксацію заготовки.

Пневмосистема установки забезпечує підготовку стисненого повітря, очищення його від вологи та регулювання тиску, необхідного для керування пневмоциліндрами, які приводять у дію притискачі. Система включає крановий пневморозподільувач, вологоочишувач, редуктор тиску, з'єднувальні елементи та гумові шланги. Верхню балку можна додатково обладнати технологічною підкладкою — мідною або комбінованою з міддю та флюсом.

Попередньо сформована обичайка укладається на мідну підкладку поворотної консолі, яка вирівнюється паралельно напрямним зварювального автомата. Притискачі, керовані пневмоциліндрами, забезпечують надійне обтискання обичайки. Зусилля стискання регулюється шляхом зміни тиску повітря у пневмосистемі. Для фіксації вхідних і вихідних технологічних планок використовуються швидкознімні ексцентрикові затискачі. Ці планки необхідні для заварювання кратера на початку та в кінці шва, після чого демонтуються.

У процесі зварювання прямолінійних швів зазвичай забезпечується нерухомість самого виробу, тоді як переміщення здійснює зварювальний автомат, який виконує основний рух уздовж осі шва. Такий підхід обумовлений конструктивною доцільністю: пересування обладнання є менш трудомістким, ніж маніпуляції з переміщенням об'ємної заготовки разом із затискним пристроєм.

Окрім основного руху, зварювальний автомат здатен здійснювати додаткові та коригуючі переміщення для компенсації похибок при веденні шва.

Після завершення зварювання поздовжнього шва обичайка звільняється від пневматичних та механічних затискачів, після чого передається на наступний технологічний етап — видалення вхідних і вихідних технологічних планок, які були використані для стабілізації процесу зварювання.

У результаті термічного впливу, зокрема при зварюванні тонкостінних обичайок, можливе утворення зварювальних деформацій, які зазвичай усуваються за допомогою прокатування коригувальними роликами. Якщо деформації суттєві або потребують точнішого коригування геометрії, проводиться калібрувальне прокатування на листозгинальних вальцях, що дозволяє відновити циліндричність і геометричну правильність обичайки.

Фінальна операція зварювання полягає у з'єднанні днищ із корпусом обичайки. Зварювання виконується двома кільцевими швами під флюсом із використанням спеціалізованої установки Р-879, що забезпечує високу якість та повторюваність зварних з'єднань при серійному виробництві.

Після попереднього складання ресивер встановлюється торцевою частиною у передню бабку установки. З боку задньої бабки здійснюється притискання з метою фіксації деталі у стабільному положенні. Наступним кроком виконується орієнтування зварювальної головки таким чином, щоб її положення точно відповідало центру стикового з'єднання.

Перед початком зварювання обов'язково проводиться перевірка точності положення стику відносно кінця електродного дроту. Відхилення електрода від центру стику по довжині шва не повинно перевищувати $\pm 1,0$ мм. У разі перевищення допустимого допуску виконують регулювання — шляхом коригування положення зварювальної головки або вручну змінюють положення обичайки.

Після виставлення параметрів зварювальний автомат переміщується у вихідну (стартову) позицію. Далі подається зварювальний дріт — за допомогою

функції «електрод вниз», до моменту його повного контакту з поверхнею шва. При цьому має бути дотриманий виліт електрода в межах 20–25 мм.

Кільцеве з'єднання засипається флюсом, товщина шару якого повинна становити 25–30 мм, що забезпечує належний захист зварювальної ванни. Після цього натисканням кнопки «Пуск» активується зварювальний струм і запускається переміщення зварювального автомата.

Зварювання стику проводиться у два шари:

- перший шар формує основне з'єднання,
- другий шар використовується для зняття залишкових внутрішніх напружень у зоні шва.

Передня бабка обертається за допомогою редуктора, а обертання ресивера під час зварювання забезпечується силами тертя між заготовкою та опорними елементами.

Після завершення процесу зварювання ресивер звільняється від пневматичних затискачів та передається на подальшу технологічну операцію. Зусилля обтискання обичайки регулюється шляхом зміни тиску у пневмоциліндрі за допомогою спеціального регулятора. Переміщення зварювального автомата у вертикальній та горизонтальній площинах здійснюється за допомогою електродвигунів, які забезпечують точне позиціонування та плавність ходу.

3.2 Розрахунок силових параметрів для усунення геометричних відхилень обичайки після формоутворення

У процесі вальцювання обичайок можуть виникати відхилення від заданої геометрії, що зумовлює потребу в подальшому коригуванні заготовки перед зварюванням. До основних типових неточностей (рис. 3.2) належать:

- I. Недовальцьованість по куту – відхилення кромки, що формує кут відкриття ϕ_1 ;
- II. Зсув крайок – зміщення кромки в радіальному напрямку на величину Δ_2 ;
- III. Зсув торців – поздовжнє зміщення торців обичайки на величину Δ_3 .

Для усунення зазначених дефектів виконується попереднє стягування торців, що дозволяє забезпечити необхідну якість стикування перед зварюванням. Відповідно до рекомендацій [22], для широковальцьованих обичайок діють такі допустимі межі відхилень:

- $\varphi_1 \leq 3^\circ$
- $\Delta_2 \leq 4 \text{ мм}$
- $\Delta_3 \leq 3 \text{ мм}$

У разі перевищення наведених нормативів проводиться коригування за допомогою зовнішнього зусилля, розрахунок якого виконується для забезпечення достатнього обтискання торців. [22]

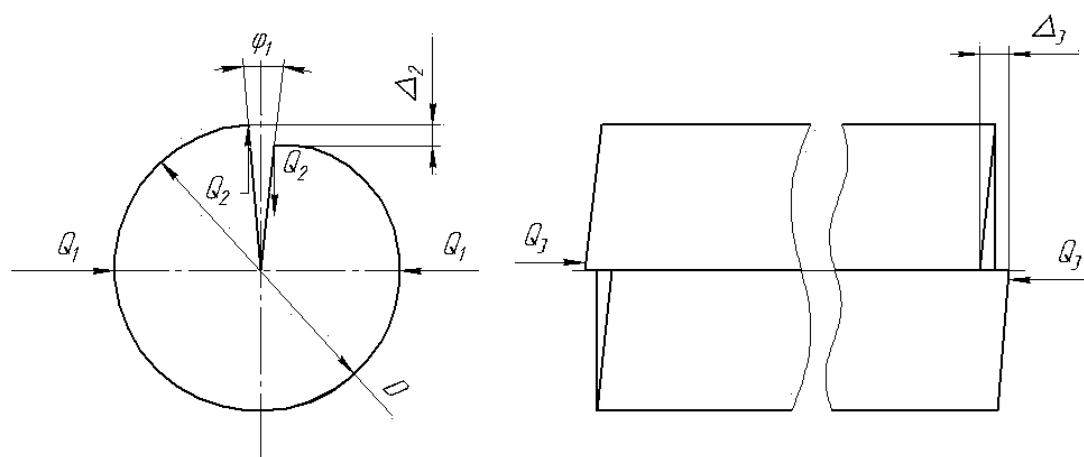


Рис. 3.2 – Розрахункова схема довальцювання обичайки [22]

Необхідне зусилля P , що прикладається до торців недовальцьованої обичайки з метою їх стягування до необхідного рівня прилягання, визначається залежно від геометричних параметрів обичайки, модуля пружності матеріалу та величини початкового розкриття (φ_1). Формула для розрахунку подається відповідно до джерела [22].

$$Q_1 = \frac{\varphi_1 E B \delta^3}{1080 D^2} \quad (3.1)$$

де E – модуль пружності сталі, Н/мм^2 , приймаємо $E = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$;

δ – товщина стінки, $\delta = 6 \text{ мм}$;

B — довжина обичайки, $B = 1172$ мм;

D — діаметр обичайки, $D = 610$ мм.

$$Q_1 = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1172 \cdot 6^3}{1080 \cdot 610^2} = 5200 \text{ Н.}$$

Зусилля, необхідне для сполучення крайок:

$$Q_2 = \frac{\Delta_2 E B \delta^3}{1,5 \pi D^3}; \quad (3.2)$$

$$Q_2 = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1172 \cdot 6^3}{1,5 \cdot 3,14 \cdot 610^2} = 115 \text{ Н.}$$

Зусилля, необхідне для сполучення торців обичайки:

$$Q_3 = \frac{0,35 \Delta_3 G B^3 \delta^3}{D^3 (B^2 + \delta^2)}, \quad (3.3)$$

де G — модуль зрушення; $G = 8 \cdot 10^4$ Н/мм².

$$Q_3 = \frac{0,35 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot 1172^3 \cdot 6^3}{610^3 (1172^2 + 6^2)} = 62 \text{ Н.}$$

Розрахунок пневмоциліндрів.

1) Для забезпечення вирівнювання крайок у вертикальній площині (вздовж утворюючої обичайки)

Визначимо зусилля на штоку з урахуванням коефіцієнта запасу:

$$Q = Q_{\text{тр}} \cdot K; \quad (3.4)$$

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 1,5,$$

де K_0 — гарантований коефіцієнт запасу;

K_1 — коефіцієнт, що враховує стан поверхні (для обробленої поверхні);

K_2 — коефіцієнт, що враховує сталість зусилля затискача.

$$Q_{\text{тр}} = m \cdot g \cdot f = 314 \cdot 9,81 \cdot 0,2 = 628 \text{ Н};$$

$$Q = 628 \cdot 1,5 = 942 \text{ Н.}$$

Визначаємо зусилля привода P на штоку пневмоциліндра.

$$P = \frac{Q}{\frac{1}{b} \left(a - \frac{a+b}{b} \cdot f \cdot r \right)} \quad (3.5)$$

де a, b — плечі важеля: $a = b = 137 \text{ мм}$;

$f = 0,1$ — коефіцієнт тертя в осях шарнірів;

$r = 10 \text{ мм}$ — радіус осі шарніра.

$$P = \frac{942}{\frac{1}{13,7} \left(13,7 - \frac{13,7 + 13,7}{13,7} \cdot 0,1 \cdot 1 \right)} = 942 \text{ Н.}$$

Визначаємо діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \rho \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 961}{3,14 \cdot 0,63 \cdot 0,8}} = 49 \text{ мм}, \quad (3.7)$$

де $\rho = 0,63 \text{ МПа}$ — тиск стисненого повітря в пневматичній системі.

З конструктивних міркувань приймаємо $D = 50 \text{ мм}$.

Зі стандартного ряду вибираємо пневмоциліндр 2111 — 50x200 .

2) Для забезпечення стабільного зазору між крайками заготовки використовуються два пневмоциліндри фіксації. Додатковий пневмоциліндр призначений для функції упору, що забезпечує точне позиціонування деталі під час зварювання.

Визначимо зусилля на штоку з урахуванням коефіцієнта запасу:

$$Q_{\text{тр}} = m \cdot g \cdot f = 314 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 4710 \text{ Н};$$

Визначаємо діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4710}{3,14 \cdot 0,63 \cdot 0,95}} = 100 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $D = 100$ мм.

Зі стандартного ряду вибираємо пневмоциліндр 2311 – 100x300 .

3) Для корекції дефекту недовальцьованості крайок із боків обичайки застосовують пневматичні циліндри, які здійснюють рівномірне підтиснення з обох сторін, забезпечуючи необхідну геометричну відповідність кромки.

Визначимо зусилля на штоку з урахуванням коефіцієнта запасу:

$$Q_{\text{тр}} = m \cdot g \cdot f = 314 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 4710 \text{ Н;}$$

Визначаємо діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4710}{3,14 \cdot 0,63 \cdot 0,95}} = 100 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $D = 100$ мм.

Зі стандартного ряду вибираємо пневмоциліндр 2111 – 100x300.

Приміняємо 4 таких пневмоцилиндра, установлених на стійках.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги безпеки, що ставляться до виробничого процесу

Основні вимоги безпеки до конструкцій машин та механізмів передбачають: охорону життя та здоров'я людини, надійність функціонування, а також зручність експлуатації [23–24].

Безпечність виробничого обладнання досягається шляхом реалізації комплексу технічних та організаційних заходів, зокрема:

- раціонального вибору принципу дії та конструктивної схеми обладнання;
- впровадження автоматизації, механізації та дистанційного управління;
- застосування вбудованих захисних елементів;
- дотримання ергономічних параметрів при проєктуванні;
- включення положень щодо безпеки у нормативно-технічну документацію (монтаж, експлуатація, ремонт, зберігання та транспортування);
- використання відповідних матеріалів конструкції.

Повноцінне виконання вимог безпеки можливе лише на етапі проєктування, тому в усіх розділах конструкторської документації передбачаються положення щодо захисту персоналу від виробничих ризиків. При виборі принципу дії обладнання слід враховувати потенційні небезпечні та шкідливі виробничі чинники.

До загальних вимог безпеки виробничих процесів належать:

- мінімізація контакту персоналу з небезпечними речовинами та відходами;
- заміна шкідливих технологічних процесів менш небезпечними;
- дистанційне керування за наявності шкідливих умов;
- герметизація технологічного обладнання;
- впровадження колективних засобів захисту;
- організація праці, що знижує втому та запобігає монотонності;
- забезпечення своєчасного виявлення небезпечних чинників;

- застосування автоматизованих систем аварійного відключення;
- безпечне зберігання та утилізація відходів;
- дотримання вимог пожежної та вибухобезпеки.

Під час виконання зварювальних робіт, зокрема при використанні напівавтоматичного зварювання у середовищі вуглекислого газу, особливу увагу приділяють:

- запобіганню ураження електричним струмом;
- захисту від опіків, викликаних розплавленим металом та іскрами;
- обмеженню контакту з рухомими елементами обладнання;
- очищенню повітря від токсичних газів і аерозолів.

Ураження електричним струмом є можливим при відсутності заземлення, пробії живлення чи при неправильному перемиканні напруги. Тому конструкції обладнання мають бути оснащені блокувальними пристроями, які відключають напругу при відкритті доступу до струмоведучих частин.

Захист від небажаного контакту із струмоведучими елементами забезпечується їх ізоляцією. Важливими характеристиками ізоляційного матеріалу є висока електрична міцність, низькі діелектричні втрати та високий питомий опір. Контроль стану ізоляції здійснюється як періодично (раз на 3 роки або після виявлення дефектів), так і безперервно.

Захисне заземлення — це навмисне підключення до землі металевих частин обладнання, які у разі пошкодження ізоляції можуть опинитися під напругою. Метою є унеможливлення електротравм персоналу.

Для обмеження доступу до небезпечних зон та зменшення ризиків пошкодження механізмів застосовують огорожувальні пристрої, що:

- створюють фізичну бар'єрну перешкоду;
- запобігають потраплянню частин тіла у небезпечну зону;
- оберігають від викиду розплавлених металів, іскор, уламків.

Огородження мають бути міцними, забарвленими у жовтий колір та містити відповідні попереджувальні знаки.

Для запобігання опікам оператор зварювального обладнання має бути забезпечений вогнетривким спецодягом (бавовняним або брезентовим), захисними окулярами та рукавицями.

В умовах зварювального виробництва обов'язковою є місцева витяжна вентиляція, зокрема використання витяжних зонтів, які забезпечують локалізацію шкідливих викидів при мінімальному повітрообміні.

Згідно з правилами пожежної безпеки, для зниження ризику займання передбачаються спеціальні заходи: контроль джерел займання, засоби пожежогасіння та оперативний доступ до них.

4.2 Забезпечення безпеки технологічних процесів, монтажу та експлуатації обладнання

Для забезпечення безпеки монтажу та експлуатації основного зварювального та допоміжного механічного обладнання, на складально-зварювальній дільниці з виготовлення корпусів теплообмінника передбачено ряд заходів [23]:

- встановлення та монтаж установок виконують згідно з робочими кресленнями та монтажними планами;
- від ураження електричним струмом використовується захисні заземлення, захисні кожухи струмопідвідних частин обладнання;
- для захисту від світлового випромінювання ділянка зварювання обладнується огорожею, працюючим видається захисний одяг, маски, взуття та рукавиці;
- при експлуатації зварювального обладнання і електроустановок необхідно дотримуватися «Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок промислових підприємств».

Для забезпечення безаварійної, продуктивної і безпечної роботи зварювального обладнання необхідно дотримувати правила його введення в експлуатацію і технічне обслуговування при його роботі. Заходи, що проводяться з устаткуванням мають бути зафіксовані в паспорті - атестаті на цей тип устаткування. Введення зварювального устаткування в експлуатацію проводиться

відповідно до рекомендацій заводу-виготівника, які додаються до технічного паспорта.

Перевірку, монтаж і введення в експлуатацію проводять в спеціальних підрозділах, а не на робочих місцях. Допускається монтаж і введення в експлуатацію зварювального устаткування на робочих місцях, якщо воно є частиною автоматичної лінії або має великі габаритні розміри і масу. При цьому заздалегідь проводять підготовку до монтажу кожного вузла устаткування.

Перед введенням в експлуатацію нового зварювального обладнання необхідно провести ряд заходів. А саме, зняти консервуюче мастило з усіх вузлів комплексу, провести огляд кожного вузла і перевірити: усі кріпильні з'єднання і при необхідності їх підтягнути; опір ізоляції обмоток трансформатора джерела живлення і електроприводів, що входять до складу ходових візків, подаючих механізмів і т. д.; систему подачі флюсу.

Після закінчення огляду і проведення необхідних випробувань провести збірку або монтаж зварювального обладнання і перевірити його роботу в режимах холостого ходу і при роботі під навантаженням, а також при необхідності - в режимі короткого замикання; отримані дані зіставити з вказаними в технічному паспорті, оформити документацію на проведені випробування і здати по акту це устаткування в підрозділ, де воно експлуатуватиметься.

Технічне обслуговування діючого зварювального устаткування спрямоване на попередження його несвоєчасного виходу з ладу. У технічне обслуговування входять профілактичні огляди і плановий ремонт устаткування. Профілактичні огляди проводять відповідно до інструкції з експлуатації обладнання, затвердженою головним зварювальником, а за відсутності його - головним інженером підприємства. При проведенні профілактичних оглядів необхідно звертати увагу на стан джерела живлення, а також на стан заземлення устаткування, надійності ізоляції зварювального кабелю і приєднувальних дротів. При виявленні різного роду забруднень, порушення ізоляції зварювального кабелю або опору контура заземлення необхідно зафіксувати виявлені дефекти в спеціальному

журналі для профілактичних оглядів і повідомити адміністративне обличчя цього підрозділу.

Плановий ремонт обладнання полягає в огляді і заміні певних вузлів згідно інструкції по технічному обслуговуванню, що додається до паспорта підприємством-виготівником. Ремонт проводять спеціальні ремонтні підрозділи, що входять в підпорядкування головного енергетика, головного механіка або в окремих випадках головного зварювальника. Випробування після ремонту повинні проводитися такими, що налагоджують. Допуск операторів-зварювальників до наладки і ремонту категорично забороняється. Періодичність планового ремонту повинна відповідати рекомендаціям заводу-виготівника зварювального трактора і виконуватися строго по затвердженому плану. У таблиці 7.8 наведені міри захисту від виявлених потенційних небезпек виробничих факторів.

Таблиця 4.1 - Технічні міри захисту від виявлених потенційних небезпек

Небезпечний фактор виробничого середовища	Проектний або вибраний захисний засіб	Технічна характеристика пристрою або захисту	Місце розміщення на плані або на обладнанні, час використання
Електротравматизм від струмопідвідних частин обладнання	Заземлення, подвійна ізоляція	Недоступність струмопідвідних частин. Відсутність небезпеки заземлення на корпус.	Постітне використання. При пошкодженій ізоляції дії заземлення
Пошкодження шкіри рук та очей стружкою металу	Захисне огороження, захисні окуляри тип 0,6;06-72; спецодяг, спец.рукавиці	Огороження повинно забезпечувати максимальний захист працюючих. Окуляри захисні з прямою вентиляцією	По всій довжині виробу. Постітне використання
Травми органів зору через випромінювання	Захисне огороження, використання засобів індивідуального захисту, світлофільтри	Огороження повинно забезпечувати максимальний захист працюючих	Навколо місця зварювання. Постітне використання
Отруєння шкідливими речовинами	Вентиляційні установки	Зниження рівня концентрації шкідливих речовин у робочій зоні до гранично допустимого	Біля джерела виділення шкідливих речовин. Використання під час проведення технологічних операцій

Також при виготовленні корпусу теплообмінника на складально-зварювальній ділянці механічного цеху необхідно дотримуватися наступних вимог техніки безпеки :

- забороняється заземлювати окремі частини обладнання паралельно;
- кожний пристрій, який відноситься до заземлення повинен безпосередньо бути заземлений;
- робота на зварювальному обладнанні дозволяється при наявності надійного заземлення зварювального джерела, шафи живлення та самого автомата;
- місце зварювання необхідно обгороджувати щитами;
- забороняється наявність біля місця зварювання легкозаймистих речовин;
- зварювальники можуть бути допущені до роботи після детального інструктажу з техніки безпеки;
- зварювальники повинні мати рукавиці, спецодяг та взуття;
- підключення, відключення та ремонт зварювального обладнання повинен проводити тільки наладчик;
- відповідальність за техніку безпеки на ділянці несе начальник ділянки або майстер.

ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи було проаналізовано та розроблено технологічний процес виготовлення зварної конструкції головного повітряного ресивера типу РСЗ, що функціонує під тиском у складі гальмівної системи рухомого складу. Проєктування цього процесу базувалося на сучасних принципах інженерної оптимізації, включаючи вибір матеріалів, обґрунтування послідовності операцій, підбір технологічного обладнання та системи технічного контролю якості.

На підставі структурно-технологічного аналізу було сформовано раціональний технологічний маршрут. Особлива увага приділена автоматизації процесів. Для зварювання обрано високопродуктивне та сучасне зварювальне обладнання та пристосування.

З урахуванням специфіки виробу проведено інженерні розрахунки зусиль, необхідних для усунення дефектів вальцювання, що дозволяє забезпечити точність під час складання обичайки. Запропоновані заходи гарантують зменшення внутрішніх напружень і зниження ризику виникнення зварювальних деформацій.

Контроль якості виробу передбачає застосування комплексу неруйнівних методів, що дозволяє виявити як поверхневі, так і внутрішні дефекти зварних з'єднань та гарантувати безпечну експлуатацію виробу.

Питання охорони праці та техніки безпеки розглянуто з урахуванням усіх потенційних ризиків: ураження електричним струмом, вплив шкідливих аерозолів, опіки та травмування від рухомих елементів. Запропоновано комплекс технічних і організаційних заходів, включаючи використання захисного заземлення, блокувальних пристроїв, засобів індивідуального захисту та локальної витяжної вентиляції.

Загалом, результати роботи підтверджують, що запропонований технологічний процес є ефективним, безпечним, технологічно обґрунтованим і придатним для впровадження у виробничих умовах з метою виготовлення надійних зварних ємностей, що відповідають чинним вимогам.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г.О Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов, К.О. Зворикін. – К.: КВІЦ, 2012. – 896 с.
2. <https://www.kvsz.com/index.php/ua/>
3. ДСТУ 7772:2015 Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Гальма. Загальні технічні вимоги.
4. https://dpzl.dp.ua/files/CT-CV-CL-0015_Instrukciya_po_ekspluatacii_tormozov-ukr-2004.pdf
5. Дьомін Ю.В. Залізнична техніка міжнародних транспортних систем (вантажні перевезення) / Ю.В. Дьомін. – К.: «Юнікон-Прес», 2001. – 342 с.
6. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів.: Навчальний посібник. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2003. - 263 с.
7. http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=993
8. ДСТУ EN 286-1:2016 «Посудини, що працюють під тиском для повітря чи азоту. Частина 1. Посудини загального призначення»
9. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.
10. Спеціальні способи зварювання : підручник / І. В. Кривцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б. Є. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017.– 346 с.
11. Биковський, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
12. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
13. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.

14. Александров О.Г. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення [Текст]: навчальний посібник / О.Г. Александров, Д.А. Антонюк, Капустян О.Є. – Львів: Новий світ – 2013. – 224 с.
15. <https://kzes.com/en/>
16. <https://www.fronius.com/uk-ua/>
17. Камель Г. І. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 241 с
18. <https://intron-set.com.ua/product/>
19. <https://svartech.com.ua/>
20. <https://mast-group.com.ua/>
21. <https://abplanalp.ua/verstat-4-h-valkovyj-lystozgynalnyj-uzma-uhss-4-20380>
22. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
23. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.
24. Жидецький В. Ц., Джиги рей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці. Підручник.- Видавництво 5-те, доповнене. – Л.: Афіша, 2000. -350 с.

ДОДАТКИ