

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та будівництва "ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Буряник Павло Дмитрович

(підпис)

Група ЗТ-23-1-К

**Розроблення технологічного процесу складально-зварювальних робіт при
виготовленні формувальної колони**

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

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

Керівник: <i><u>к.т.н., доц.</u></i> <i><u>Панчук М.В.</u></i> _____ <i>підпис</i>	Завідувач кафедри будівництва: <i><u>к.т.н., доц.</u></i> <i><u>Андрусяк А.В.</u></i> _____ <i>підпис</i>
--	---

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

Інститут архітектури та будівництва Кафедра будівництва
"ІФНТУНГ-ДонНАБА"

ОПП "Інжиніринг зварювальних технологій"

Спеціальність 131 "Прикладна механіка"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри БУД
А.В. Андрусак
(ініціали, прізвище)

(підпис)

" ____ " _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на випускні кваліфікаційну роботу бакалавра
студента Буряника Павла Дмитровича

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу складально-зварювальних робіт при виготовленні формувальної колони.

Затверджена наказом по університету № 219/7 від "15" 05. 2026 р.

2. Термін здачі закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи

Технічні умови на виготовлення формувальної колони, креслення виробу, умови експлуатації формувальної колони.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити 1 Загальний розділ. 1.1 Загальна характеристика зварного виробу та оцінка його технологічності. 1.2 Характеристика матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності. 1.3 Аналіз чинного технологічного процесу. 2 Технологічний розділ. 2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування. 2.1.1 Обґрунтування способу зварювання. 2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів. 2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання. 2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування. 2.2 Розроблення технологічного процесу виготовлення зварної конструкції. 2.2.1 Заготівельні операції. 2.2.2 Розроблення складально-зварювальних операцій. 2.3 Вибір заходів боротьби із зварювальними напруженнями 2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку. 3. Конструкторський розділ. 3.1 Компонування складальних та зварювальних установок. 3.2 Розробка плану цеху. 4. Безпека праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Креслення формувальної колони. 2. Схема технологічного процесу виготовлення формувальної колони. 3. Стенд для збирання зварювання поздовжніх та поперечних швів.

4. Приварювання вставок. 5. План ділянки цеху. 6. Приварювання патрубків

6. Дата видачі завдання _____

Керівник _____ Панчук М.В.

Завдання прийняв до виконання _____ Буряник П.Д.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент _____ Буряник П.Д.

Керівник _____ Панчук М.В.

РЕФЕРАТ

Робота бакалавра складається з 6 креслень А 1, та 71 сторінок пояснюючої записки, 15 рисунків, 14 таблиць, посилань 15 на використану літературу.

Об'єктом роботи є: технологічний процес складально-зварювальних робіт при виготовленні формувальної колони.

Мета роботи: удосконалення технології складальних та зварювальних робіт при виготовленні формувальної колони.

Розроблено вдосконалений технологічний процес виконання складально-зварювальних робіт при виготовленні формувальної колони, в основу якого поставлено мікроплазмовий спосіб зварювання. Для виконання технологічного процесу було вибрано технологічне та механічне обладнання, яке дозволяє механізувати та атоматизувати виробничі операції. Впровадження розробленої технології дасть можливість забезпечити високий рівень якості та надійності виконання складально-зварювальних робіт, отримувати готову продукцію з високими технічними характеристиками та економічними показниками.

Ключові слова: Формувальна колона, нержавіюча сталь, процес мікроплазмового зварювання, технологічний процес.

ABSTRACT

The bachelor's work consists of 6 presentation slides, an explanatory note of 71 sheets, 15 figures, 14 tables and 15 references to the literature used.

The subject of this study is: the manufacturing process for assembly and welding work in the production of a moulding column.

The aim of this study is: to improve the technology of assembly and welding work in the production of a moulding column.

An improved process has been developed for carrying out assembly and welding work in the manufacture of a moulding column, based on the micro-plasma welding method. To implement the technological process, technological and mechanical equipment was selected that allows for the mechanisation and automation of production operations. The implementation of the developed technology will ensure a high level of quality and reliability in assembly and welding operations, resulting in finished products with high technical specifications and economic performance.

Key words: Moulding column, stainless steel, micro-plasma welding process, technological process.

ЗМІСТ

Зміст	5
Вступ	7
1 Загальний розділ.....	9
1.1 Характеристика зварного виробу і оцінка його технологічності. . .	9
1.2 Характеристика матеріалу конструкції та його зварюваність	11
1.3 Аналіз чинного технологічного процесу	15
2. Технологічний розділ	18
2.1 Вибір способу зварювання і зварювального обладнання	18
2.1.1 Обґрунтування вибору способу зварювання	18
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів	22
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання	26
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального обладнання	29
2.2 Розроблення технологічного процесу	41
2.2.1 Основні етапи виготовлення формувальної колони	41
2.2.2 Заготівельні операції.	42
2.2.3 Розроблення складально-зварювальних операцій	48
2.2.5 Вибір заходів боротьби із зварювальними напруженнями	51
2.3 Технічний контроль та виправлення браку	54
2.3.1 Організація технічного контролю	54
2.3.1 Дефекти, що виникають при зварюванні конструкції	55
2.3.2 Візуальний метод контролю.	58
2.3.3 Ультразвуковий метод контролю	61
3 Конструкторський розділ	63

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення технологічного процесу складально-зварювальних робіт при виготовленні формувальної колони			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив	Буряник П.Д									5	71
Перевірив	Панчук М.В.										
Рецензент	Матвієнків О										
Н.к. контроль	Матвієнків О							ІФНТУНГ ЗТ- 23-1-К			
Затверд.	Андрусак А.В										

3.1 Проектування зварювальної дільниці	63
3.2 Конструювання формувальної колони за допомогою програми Solidworks	65
4. Охорона праці	67
4.1 Аналіз небезпек та шкідливих чинників виробничого середовища	67
Висновки	69
Перелік використаної літератури	70

					КБР. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Виробництво обладнання для харчової промисловості має критичне значення для забезпечення продовольчої безпеки нашої держави, оптимізації витрат та сталого розвитку бізнесу.

Необхідність в модернізації технологічних ліній зумовлена потребою у підвищенні енергоефективності, автоматизації виробничих процесів та високими вимогами до безпеки харчової продукції.

Особливо актуальною є ця проблема для молочної галузі, де доля ручної праці досягає 50%. За цього одною із найскладніших технологічних операцій є процес формування сирного зерна при виробництві тверлого сиру. Від належного виконання цього процесу у великій мірі залежить якість готової продукції та економічні показники промислового виробництва. Тому розроблення конструкцій сучасного обладнання для механізації та автоматизації процесу формування сирної маси є актуальним питанням.

Одним із ключових процесів для виробництва формувальних опаратів є зваювання елементів формувальних колон, оскільки стінки обладнання контактують з молочними продуктами та разом з тим працюють у складних агресивних середовищах. Тому розроблення складально-зварювальних операцій для виготовлення формувальних колон є досить складним завданням.

Значний прогрес у матеріалознавстві, електротехніці та системах керування вимагає постійного розвитку зварювальних процесів для задоволення все нових і складніших вимог, що ставляться різними галузями промисловості.

Зварювальні процеси дозволяють отримувати з'єднання як у мініатюрних електричних ланцюгах, так і у великогабаритних конструкціях. Наразі зварювальні процеси можуть бути дуже точними та тісно пов'язаними з автоматизацією або роботизацією, знижуючи виробничі витрати та покращуючи якість і повторюваність з'єднань.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Останніми роками спостерігається збільшення кількості застосувань з'єднання з використанням тепла плазмової дуги, енергії електронів або лазерного випромінювання.

Одним із методів, який зарекомендував себе серед зварювальних технологій, є плазмове зварювання.

Плазмове зварювання дозволяє з'єднувати майже всі метали і сплави та використовується в автомобільній, авіаційній аерокосмічній та харчовій промисловості, а також у зварюванні трубопроводів, посудин під тиском, точному машинобудуванні, медичній техніці, електроніці тощо. Товщина плазмових (мікроплазмових) елементів обмежена діапазоном від 0,01 мм до десяти-двадцяти міліметрів.

Метод полягає в отриманні нерозривного з'єднання шляхом високотемпературного плавлення країв листів за допомогою концентрованої плазмової дуги. Процес може виконуватися як з подаванням присадного металу до зони впливу дуги, так і без нього.

У бакалаврській роботі розглянуто використання мікроплазмового зварювання для виготовлення колони для формування сирної маси.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика зварного виробу і оцінка його технологічності

Моя бакалаврська робота присвячена розробленню технологічного процесу виконання складальних і зварювальних робіт при виготовленні формувальної колони. Формувальна колона входить до складу формувальної установки при виробництві сиру і представлена на рисунку 1.1.

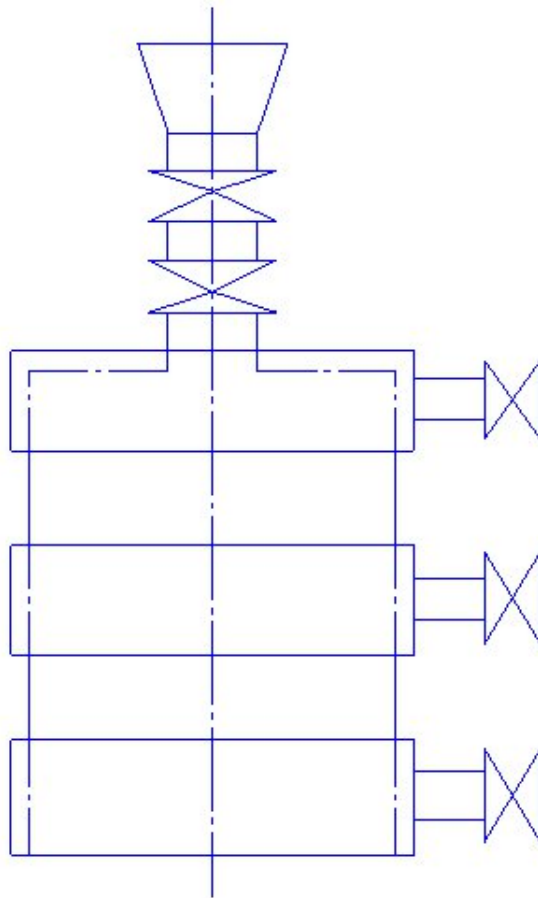


Рисунок 1.1 – Колона для формування сиру

Таке технологічне обладнання є необхідним для автоматизації процесів формування та пресування сирного зерна у промисловому виробництві сиру. Використання формувального апарату дозволяє отримати сирні блоки із

					КРБ. 3Т - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

заданою структурою перед його подальшим дозріванням. Формувальна колона технологічно складається з трьох вузлів.

Попередньо підготовлена суміш, яка складається з сирних зерен та сиворотки подається у верхній вузол. Цей вузол включає пристрій для завантаження сирного зерна і відведення основної частини сиворотки.

Дальше частково обезвожена сирна маса подається у середній блок, укомплектований перфорованими вставками. У цьому відділенні проходить формування сирного пласта під власною вагою зерен, а також під цією вагою випресовується надлишкова сиворотка. Описаний процес так само ще має назву самопресування.

Сформований пласт сирної маси подається у нижній калібрувальний блок де за допомогою ножів відбувається нарізаються стандартні блоки сиру необхідних розмірів та ваги.

Виготовлення формувальної колони є високотехнологічним процесом виготовлення спеціального обладнання для самопресування, формування та пресування сирного зерна з відділенням сироватки. Це технологічне обладнання широко застосовується на сироварних заводах різної потужності.

Спочатку створюється 3Д модель колони, для оптимізації її констукції. Формувальна колона складається з трьох модулів – верхнього, середнього та нижнього.

Верхній модуль включає пристрої подавання сирного зерната та відділення основної частини сиворотки.

Середній блок має в своєму складі перфоровані вставки для зменшення вологості продукту та утворення пласта сирної маси під дією її власної ваги.

Нижній модуль включає калібрувальну систему та спеціальні ножі для утворення блоків заданих геометричних розмірів та ваги та їхнього вивантаження у спеціальні форми.

Вимоги для виготовлення є наступними. Усі матеріали, які контактують з продуктом повинні виготовлятися з високоякісної нержавіючої сталі.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Перфоровані отвори на стінках повинні забезпечувати вільне відділення сиворотки та за цього не випускати сирне зерно.

Поверхні колони потрібно полірувати для запобігання утворення бактеріальних ділянок. Кострукція також повинна легко очищуватись за допомогою безрозбірного миття.

Технологічністю конструкції можна вважати її здатність до виготовлення, експлуатації та ремонту з найменшою трудоемністю, матеріалоемністю та затратами часу з найвищою за даних умов якістю. Іншими словами це компроміс між ідеєю та процесом виробництва.

Основними критеріями технологічності виробу є – економічність матеріалу, уніфікація, простота форм та зручність збирання.

Економічність матеріалу передбачає мінімальну вагу конструкції, використання недорогих складників, мінімальна кількість відходів. Уніфікація та стандартизація це використання вже готових деталей, що виробляються серійно. Такий підхід суттєво зменшує собівартість продукції. Важливим для ефективної експлуатації колони та проведення ремонтів є уникнення складних та важкодоступних ділянок.

При розробленні проектної моделі потрібно передбачити швидке збирання конструкції. Бажано без використання складного механічного обладнання.

1.3 Характеристика матеріалу зварної конструкції та його зварюваність

Важливим чинником проектування нової конструкції є вибір відповідного матеріалу. Формувальна колона призначена для переробки молочних напівфабрикатів. Враховуючи умови роботи конструкції – для її виготовлення можна рекомендувати нержавіючу сталь.

На харчових підприємствах, де вологість, агресивні миючі засоби або вплив солоності є частиною щоденного середовища, вибір матеріалу – це не

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

просто технічна деталь, а вирішальний фактор для підтримки цілісності процесу, безпеки продукції та довговічності обладнання.

Продукти на основі молока є одним із найстабільніших та фундаментальних ринків для нержавіючої сталі. Донедавна при виробництві більшості конструкцій молочного обладнання використовувалися низькоаустенітні марки сталі, але останнім часом, коли наше розуміння корозійного розтріскування під напругою покращилося, для вказаних цілей велике поширення отримали дуплексні та супераустенітні сталі.

Том для виробництва обладнання та пристроїв, що використовуються для переробки молока рекомендуються до застосування спеціальні марки аустенітних нержавіючих сталей, які мають низький вміст вуглецю.

Такі сталі забезпечують стійкість до дії мийних розчинів, лугів та органічних кислот. В умовах найбільш агресивних середовищ рекомендується використовувати сталь марки AISI 316L / EN 1.4435.

Сталь AISI 316L має надзвичайно низький вміст кремнію і набагато вищий вміст молібдену. Малий вміст вуглецю разом з позитивним хімічним балансом створює повністю аустенітний сплав без виділення інтерметалічних фаз.

На відміну від більш поширеної нержавіючої сталі AISI 304L, нержавіюча сталь AISI 316L містить молібден у своєму складі, що забезпечує більшу стійкість до корозії, особливо до хлоридів, кислот та сольових розчинів. Це призводить до тривалішого терміну служби, меншої деградації поверхні та меншого ризику забруднення, спричиненого псуванням матеріалу.

Молібден відіграє вирішальну роль у підвищенні стійкості матеріалу до різних форм корозії, зокрема точкової та щілинної корозії, спричинених розчинами, що містять хлориди.

Іони хлориду повсюдно присутні в середовищах харчової промисловості – вони присутні у воді, сировині (наприклад, солі) та багатьох засобах для чищення та дезінфекції. За відсутності достатньої кількості молібдену ці іони хлориду можуть атакувати пасивний шар нержавіючої сталі, що призводить до

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

локалізованої корозії у вигляді ямок, які є невеликими, глибокими порожнинами, які важко виявити та очистити.

Молібден значно покращує стабільність та міцність пасивного шару оксиду хрому, який захищає нержавіючу сталь від корозії. Він сприяє репасивації, тобто якщо пасивний шар пошкоджений, він може швидше та ефективніше відновлюватися в присутності молібдену. Це особливо важливо для запобігання точковій корозії.

Згідно зі звітом Інституту нікелю, нержавіючі сталі з 2% або більше молібдену (наприклад, 316L) демонструють значно кращу стійкість до хлоридної точкової корозії порівняно з безмолібденовими марками, такими як 304.

Наприклад, еквівалентне число стійкості до точкової корозії (PREN), поширений показник стійкості нержавіючої сталі до локалізованої точкової корозії, розраховується як

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 16 \times \%N. \quad 1.1$$

Для типової 316L (наприклад, 17% Cr, 2,1% Mo, 0,05% N), $\text{PREN} \approx 24,8$, тоді як для типової 304 (наприклад, 18% Cr, 0% Mo, 0,05% N), $\text{PREN} \approx 18,8$. Це вище значення PREN для 316L вказує на значно кращу стійкість до точкової корозії.

Її висока продуктивність при частому митті, використанні агресивних дезінфікуючих засобів та термічних циклів робить її надійним рішенням для підтримки безпеки харчових продуктів без шкоди для довговічності обладнання навіть у дуже складних умовах.

Ще одним важливим фактором, поряд з вибором сталі, є обробка поверхні, яка безпосередньо впливає на гігієнічні характеристики обладнання. Менша шорсткість поверхні полегшує очищення та зменшує ймовірність накопичення залишків або забруднюючих речовин.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

У сферах застосування, що потребують більш суворого гігієнічного контролю, особливо важливо вибрати найбільш підходящу обробку поверхні в поєднанні з нержавіючою сталлю AISI 316L, особливо для поверхонь, що піддаються частому очищенню або безпосередньому контакту з продуктом.

Гладка, непориста поверхня сталі 316L, особливо за умови належної обробки (наприклад, електрополірування), також полегшує її ефективне очищення та дезінфекцію, зменшуючи ризик адгезії мікробів та утворення біоплівки. Ця здатність до очищення є основоположною для систем очищення на місці (CIP) та стерилізації на місці (SIP), які є стандартними на сучасних підприємствах з перероблення молока. Хімічний склад сталі AISI 316L,% наведено в таблиці 1.1. ||||утримувати|

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталі AISI 316L,%

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo
≤ 0,030	≤1,0	≤2.00	12,5...15,0	≤0.015	≤0.045	17.00-19.00	2,5...3,0

«L» у назві нержавіючої сталі 316L означає «низьковуглецева», що зазвичай означає вміст вуглецю 0,03% або менше. Ця, здавалося б, невелика різниця у складі має значні наслідки, особливо щодо поведінки матеріалу під час та після зварювання.

Коли стандартні нержавіючі сталі (з вищим вмістом вуглецю) нагрівають до діапазону температур сенсibiliзації (приблизно від 425°C до 870°C), як це відбувається під час зварювання, карбіди хрому можуть осідати на межах зерен. Цей процес виснажує хром з ділянок, що прилягають до меж зерен, знижуючи їхню корозійну стійкість і роблячи їх схильними до міжкристалічної корозії. Це є критичною проблемою в молочній промисловості, де корозія може призвести до забруднення.

Низький вміст вуглецю в нержавіючій сталі 316L значно зменшує цей ризик. Мінімізуючи кількість вуглецю, доступного для утворення карбідів хрому, сталь 316L зберігає свою корозійну стійкість навіть після зварювання, не вимагаючи термічного оброблення після зварювання у більшості випадків.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Це суттєва перевага для підприємств молочної промисловості де обладнання має складні конструкції з численними зварними з'єднаннями.

Аналізуючи дані виробничого досвіду та наукових досліджень можна зробити висновок, що міжкристалічна корозія в зварних компонентах з нержавіючої сталі може створювати мікротріщини в яких можуть розмножуватися мікроорганізми, що призводить до утворення біоплівки.

Використання сталі 316L значно зменшує цей ризик та підвищує довгострокову гігієнічну цілісність конструкцій.

Механічні властивості сталі AISI 316L,% наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталі AISI 316L,%

Марка сталі	Механічні властивості		
	Тимчасовий опір розриву σ_b , МПа	Межа текучості σ_T , МПа	Відносне видовження δ_B , % (не менше)
AISI 316L,%	500...700	200	40/30

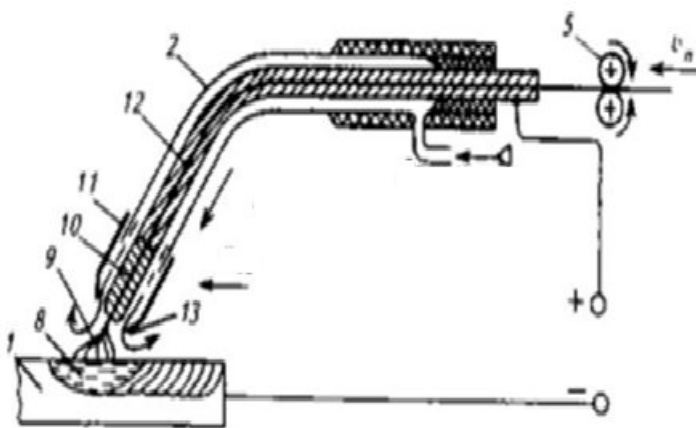
1.4 Аналіз чинного технологічного процесу

В даний час для виготовлення технологічної ємності використовується напівавтоматичне зварювання в захисних газах MAG (рис 1.2).

Зварювання елементів формувальної колони за допомогою процесу MAG має свої особливості. Даний спосіб передбачає глибоке проплавлення, високі швидкості переміщення зварювальної головки та задовільні механічні властивості конструкційної сталі.

Використання напівавтоматичного зварювання MAG для виготовлення формовочної колони дозволяє досить швидко та з малими витратами з'єднувати деталі, створюючи міцну конструкцію.

Проте для обладнання, що експлуатується у харчовій промисловості головною вимогою є висока гігієнічність та стійкість до дії агресивних середовищ, що даного спосіб не може задовільнити у повній мірі.



1 - виріб; 2 – зварювальний пальник; 3 – шланг металопроводу; 4 – балон з газом; 5 – механізм подачі газу; 6 - котушка; 7 - джерело живлення; 8 – зварювальна ванна; 9 – електрична дуга; 10 – електродотримачі; 11 - сопло; 12- зварювальний дріт; 13 – захисний газ.

Рисунок 1.2 – Схема зварювання деталей в захисних газах

Крім того формувальна колона повинна відповідати жорстким геометричним допускам, а надмірне підведення тепла, характерне для даного способу, може призвести до утворення деформацій, що ускладнює дотримання встановлення чітких геометричних розмірів конструкції.

Використання напівавтоматичного MAG зварювання для з'єднання елементів колон з нержавіючої сталі на сироварному виробництві створює значні ризики, насамперед бризки, низьку стійкість до корозії та дефекти санітарії. За цього маленькі краплі розплавленого металу можуть прилипати як до внутрішньої та і зовнішньої частини сирної колони.

Активні захисні гази можуть спричинити сильне окислення, руйнуючи гладке, стерильне покриття, необхідне для обладнання для молочної

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

промисловості харчового класу. Щілини та незахищені пори, що утворюються через погане газове покриття, служать розсадником різноманітних бактерій, що безпосередньо порушує суворі стандарти безпеки харчових продуктів.

Оскільки активні гази окислюють хром то ділянки конструкції зі збідненим хромом в умовах постійної дії агресивних дезінфікуючих хімікатів, вологи та кислої сироватки можуть піддаватися значній дії корозії

Крім того МАG-зварювання нержавіючих колон вимагатиме значного механічного оброблення: шліфування, травлення та пасивації після зварювання.

Напівавтоматичне МАG-зварювання передбачає високе тепловкладення в заготовку, що призводить до появи значних деформації та порушення суворої прямолінійності, необхідної для формувальних колон. Варто також врахувати, що якщо зона зварювання не екранована повністю то протяги з навколишнього середовища або вентиляційні системи на заводі можуть здувати захисний газ, що призводить до пористості та крихкості зварних швів.

На цілісність гігієнічної формувальної колони суттєво впливає якість її конструкції, зокрема зварних швів. Традиційне ручне та напівавтоматичне зварювання, навіть виконане кваліфікованими зварювальниками, може призвести до утворення нерівномірних виступів або тріщин та пористості внутрішніх зварних швів.

Ці дефекти можуть стати пастками для залишків продукту та мікроорганізмів, що ускладнює їх ефективне очищення та служить осередками початку корозії. Щоб подолати перераховані проблеми та той факт, що для виробництва формувальної колони передбачається промислове виробництво - на мою думку варто застосувати спосіб автоматичного плазмового зварювання.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способу зварювання та зварювального обладнання

2.1.1 Обґрунтування вибору способу зварювання

Хоча нержавіючу сталь на даний час можна з'єднувати майже всіма методами зварювання, розроблення технологічного процесу виробництва конструкції завжди є складним завданням. Для визначення конкретного процесу, необхідно враховувати тип деталі, а також вимоги до виконання зварного шва.

Враховуючи складні умови роботи колони, особливо наявність постійного кислого середовища спричиненого наявністю сиворотки, що може впливати на стійкість з'єднань, варто розглянути наступні способи зварювання.

Використання зварювання TIG (Tungsten Inert Gas) для виготовлення формувальної колони є вдалим рішенням. Спосіб TIG зварювання це ручний дуговий спосіб зварювання за допомогою неплавкого вольфрамового електроду у середовищі інертного газу.

Вказаний метод передбачає високу гігієнічність, відсутність шлаку та якісне формування швів, що запобігає створенню бактеріальних зон. З точки зору виконання процесу можна точно регулювати подавання присадного дроту та термічний вплив, що важливо для збереження геометричних розмірів колони за мінімальних деформацій.

Проте спосіб зварювання TIG має малу швидкість виконання процесу, потребує зварників високої кваліфікації та передбачає більші витрати у порівняно з напівавтоматичним (MIG/MAG) зварюванням.

Автоматичне плазмове зварювання тонких обичайок товщиною (0,5...2,0мм), виготовлених з нержавіючої сталі є ідеальним

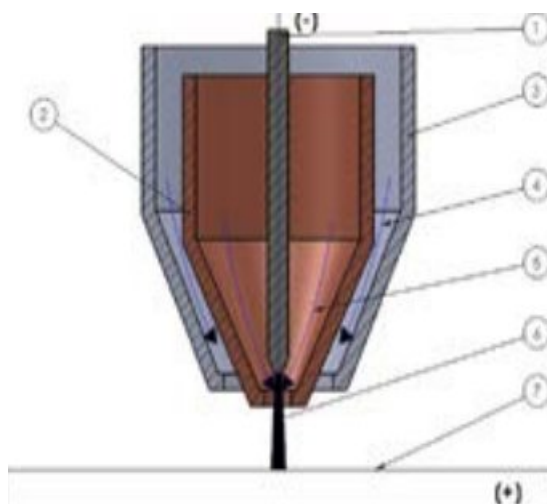
					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

високотехнологічним процесом для отримання якісних та надійних зварних швів, заданих геометричних розмірів та високого естетичного зовнішнього вигляду.

Подібно до інших методів зварювання, плазмове зварювання полягає в нерозривному з'єднанні металів та їх сплавів шляхом плавлення країв елементів та, за потреби, присадного металу за допомогою тепла плазмової дуги. Плазмова дуга - це потік сильно іонізованого газу, механічно звужений плазмовим соплом.

Запуск процесу включає ініціювання пілотної дуги між вольфрамовим неплавким електродом (катодом) та звужувальним соплом (анодом) системою, що генерує високовольтний та високочастотний імпульс.

Пілотна дуга частково іонізує плазмовий газ (аргон), що витікає з сопла, і сприяє ініціюванню первинної плазмової дуги. Після цього струм плазмової дуги вимикається. Звужена електрична дуга горить між електродом (катодом) та матеріалом, що зварюється (анодом) (рис. 1).



1 – вольфрамовий електрод; 2 – плазмове сопло; 3 – сопло захисного газу; 4 – захисний газ; 5 – плазмовий газ; 6 – плазмова дуга; 7 – зварювальна дуга.

Рисунок 2.1– Схема плазмового способу зварювання

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Плазмові пристрої, що генерують низькотемпературну плазмову дугу як джерело теплової енергії, використовуються при зварюванні, наплавленні та термічному різанні металів. Застосування даної машини в першу чергу визначається конструкцією окремих вузлів, головним чином пальника та джерела живлення дуги.

Мікроплазмове зварювання, що включає використання неплавкого електрода, називається плазмовим зварюванням TIG, тоді як процес, що включає використання плавкого електрода, класифікується як плазмове зварювання MIG.

Зварювальна дуга, що горить в атмосфері захисного газу між неплавким електродом та зварюваним матеріалом, має форму конуса, розміри якого залежать від параметрів живлення та відстані між електродами. В результаті зменшення поперечних розмірів дуги (тобто звуження дуги) температура дуги зростає до десятків тисяч градусів.

На рисунку 2.2 – представлено поперечний переріз мікроплазмового зварювального пальника MP-10, включаючи сопло з виходом плазмового газу та керамічне сопло, що утворює газовий покриття.

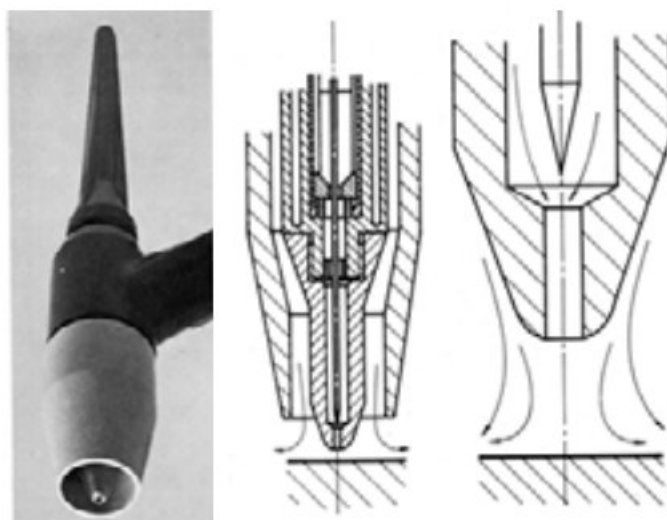


Рисунок 2.2 – Мікроплазмовий пальник у поперечному розрізі.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Праворуч на рисунку показано поперечний переріз довгого циліндричного отвору в мідному сопло. Запалювання дуги між вольфрамовим електродом і соплом супроводжується запалюванням пілотної дуги (струмом високої частоти).

Завдяки своїм властивостям, тобто оборотній дисоціації та асоціації атомів у молекули (H_2), що відбуваються не лише в зоні дуги, але й у безпосередній близькості від матеріалу, що зварюється, водень, присутній у газовому захисному середовищі, вигідно впливає на зварювання тонких елементів.

В результаті вищезазначеного тепло, що надходить у зварювальну ванну, є надзвичайно концентрованим. Крім того, водень знижує поверхневий натяг, що має суттєве значення при зварюванні тонких елементів.

Оскільки товщина обичайки є малою, висока концентрація енергії у плазмовій дузі запобігає можливому коробленню деталей і ризикам пропалу, що є суттєвою перевагою у порівнянні з іншими способами зварювання.

При використанні плазмового зварювання процес відбувається на високих швидкостях з незначним утворенням окалини. За цього шви виходять гладкими та рівними і не потребують подальшого механічного оброблення. Для плазмового зварювання характерним є висока стабільність електричної дуги. У порівнянні з TIG-зварюванням, плазмова дуга є стиснутою, вона функціонує стабільно навіть при струмах менших за один ампер, а глибоке проплавлення завдяки великій концентрації енергії дозволяє проводити зварювання без розроблення кромки.

Завдяки високим швидкостям переміщення та вузькій смужці подачі тепла зварювальні деформації є мінімальними. За цього захисне газове середовище надійно захищає зону зварювання від навколишнього середовища.

З точки зору інвестиційних та експлуатаційних витрат, а також якості з'єднань та ефективності процесу, плазмове зварювання є проміжним методом між TIG та лазерним зварюванням. Порівняно з процесом TIG, плазмове

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

зварювання характеризується вищою точністю, стабільнішою та концентрованою дугою, вузьким та чистим швом, меншою зоною термічного впливу та довшим терміном служби електрода.

Плазмове зварювання вимагає ретельної підготовки поверхні та, в механізованих процесах, рівномірного та точного керування зварювальним пальником. У випадку плазмового зварювання вимоги до підготовки поверхні приблизно на 50% суворіші, ніж вимоги до підготовки поверхні при TIG зварюванні. Однак вищезазначені вимоги повністю компенсуються отриманням значно вищих швидкостей зварювання (у кілька разів) та вищої ефективності

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів.

Для успішного проведення процесу зварювання особливу увагу потрібно приділяти вибору зварювальних матеріалів. У випадку неправильного підходу до визначення електродного дроту та захисного середовища існують реальні ризики отримати зварний шов незадовільної якості, різноманітними дефектами.

Організація зварювального процесу вимагає використання неплавкого вольфрамового електроду, присадкового дроту плазмоутворюючого та захисного газів.

Правильний вибір вольфрамового електроду має ключове значення, тому, що саме між ним і виробом горить дуга. Виходячи з того, що у відповідності до завдання на роботу матеріалом конструкції є нержавіюча сталь вибираємо електрод WT-20 (рис.2.3).

Електроди WT-20 у своєму складі мають оксид торію і позначаються червоним кольором. Торійовані електроди використовують для зварювання конструкцій на постійному струмі.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



Рисунок 2.3 - Електроди WT-20.

Вміст в складі неплавкого електроду оксиду торію забезпечує легке збудження дуги, високу допустиму густину струму та тривалий виробничий ресурс. Позитивним є те, що при застосуванні названих електродів можна встановлювати кут заточення під відповідне завдання.

Хімічний склад електроду WT-20 наступний наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Масова частка елементів електроду WT-20, %.

Марка	W	Th
WT-20	97.3	1.80

У якості присадного матеріалу вибираємо електродний дріт марки ER316L (рис.2.4). Електродний дріт марки ER316L (найближчий за складом Св-04Х19Н11М3) це високолегований, корозійностійкий матеріал для зварювання нержавіючих сталей.



Рисунок 2.4 – Електродний дріт ER316L

Завдяки малому вмісту вуглецю і легуванню молібденом, цей електрод забезпечує стійкість до проходження міжкристалітної корозії. Низький вміст вуглецю запобігає процесу випадання карбідів під час сильного локального нагрівання. Хімічний склад електродного матеріалу представлено в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Масова доля елементів зварювального дроту ER316L (%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P / S
<0.06	0,60	1,0...2,0	18...20	10...12	2.0...3,0	<0.025/0.01

Механічні властивості наплавленого матеріалу представлено в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Механічні властивості металу шва

Технічні параметри	Одиниці	Значення
Границя міцності	МПа	630
Границя текучості	МПа	480
Відносне видовження A5, %	%	33
Границя текучості, МПа	МПа	390
Ударна в'язкість KCV +20 ° C	Дж	120

Електродний дріт ER316L є стандартом для зварювання нержавіючих аустенітних сталей для сфер з підвищеними хімічними та санітарними вимогами.

Гази, що використовуються при плазмовому зварюванні розділяються за функціями – плазмоутворювальна та захисна. При виконанні плазмоутворювальної функції чистий аргон або у вигляді суміші, проходячи через сопло, іонізується і формує дугу. Захисна функція полягає у захисті зони зварювання за допомогою чистого аргону або ж його сумішей, що подаються з

зовні.

Склад газової суміші відрізняється від плазми стовпа дуги (що містить чистий аргон) і може містити, наприклад, 95% аргону та 5% водню. Теплові властивості водню, тобто висока ентальпія, висока теплопровідність та відносно низька температура дисоціації, використовуються для запобігання надмірному розширенню дуги.

При температурі 5000 К висока кінетична енергія більшості молекул водню в поєднанні з постійними зіткненнями призводить до розкладу молекул на атоми. Додавання водню (обмежене діапазоном від 1% до 5%) до захисного газу (аргону) дозволяє забезпечити дугу тонкою газовою ковдрою, що характеризується високою теплопровідністю та є простором інтенсивних процесів дисоціації та асоціації.

Хімічна формула аргону – Ar, а молекулярна маса - 39,948. Він повинен бути вироблений у відповідності до затверджених технологічних регламентів та нормативних документів. Технічними показниками аргону наведені в таблиці 2.4.

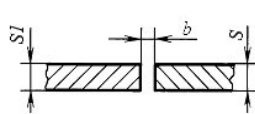
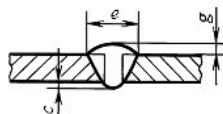
Таблиця 2.4 – Фізико- хімічні параметри аргону

№	Показники	Одиниці	Перший сорт	Вищий сорт
1	Об'ємна доля аргону	%	Не менше 99,987	Не менше 99,993
2	Об'ємна доля кисню	%	Не більше 0,002	Не більше 0,0007
3	Об'ємна доля азоту	%	Не більше 0,01	Не більше 0,005
4	Об'ємна доля водяних парів	%	Не більше 0,001	Не більше 0,0009

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Режим зварювання вибирають за експериментальними таблицями або розрахунковим шляхом. Розміри зварного шва та конструктивні елементи представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розміри зварного шва та конструктивні елементи

Умовне познач. зварн. з'єднання	Конструктивні елементи і розміри		$S=S_1$ мм	Розміри, мм						
	підготовлених кромки зварюваних деталей	зварного шва		<i>b</i>		<i>e</i>	<i>g</i>		<i>c</i>	
				Номінал.	Гран. відх	Не більше	Номінал.	Гран. відх	Номінал.	Гран. відх
C2			2,0	0	+1,5	8	1,5	±0,5	1,5	+1,0

Для виробництва формувальної колони вибираємо зварне з'єднання C2. Розміри зварного шва та його конструктивних елементів представлено в таблиці

Для зварювання тонкого металу товщиною 2 мм використовуємо наступні режими мікроплазмового зварювання:

- зварювання виконується на постійному струмі прямої полярності (мінус на електроді);
- у якості захисного газу використовується чистий аргон (Ar), що забезпечує надійний захист зварювальної ванни та не окислює вольфрамовий електрод;
- плазмоутворюючий газ - чистий аргон;

- електрод: вольфрамовий (ітріюваний).

Для виробництва формувальної колони вибираємо зварне з'єднання С2.

Глибину проплавлення знаходимо за формулою – 2.1 :

$$h_p = S - 0,5 b = 2 \quad (2.1)$$

Для встановлення діаметру суцільного електродного дроту використовуємо дані довідкових матеріалів. Відповідно до отриманих значень діаметр електродного складає – 0,8 міліметрів.

Силу струму визначаємо, використавши залежність 2.2.

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_{ел}^2}{4} \cdot j = \frac{3,14 \cdot 0,64}{4} \cdot 110 = 55A \quad (2.2)$$

J- густина струму і знаходиться в межах 110...130 А/мм².

В подальшому для розрахунків значення сили струму приймаємо величину сили струму рівною – 50 А.

Для встановленого діаметра електродного дроту та знайденої величини сили струму визначаємо напругу:

$$U = 20 + I_{зв} 0,05/d_{ел}^2 = 24 В \quad (2.3)$$

Коефіцієнт наплавлення розраховуємо за формулою 2.4:

$$a_n = a_p (1 - y) \quad (2.4)$$

де: a_p - коефіцієнт розплавлення; y - коефіцієнт втрат.

Коефіцієнт втрат матеріалу на вигорання і розбризування знаходиться в межах - $y = 8...12\%$. Значення коефіцієнта a_p знаходимо за формулою 2.5:

$$a_p = 3,0 + 0,08 I_{зв}/d_{ел} = 8,0 \text{ г/Агод} \quad (2.5)$$

Коефіцієнт наплавлення, згідно залежності 2.4 буде мати значення:

$$a_n = 8,0 (1 - 0,08) = 7,9 \text{ г/Агод}$$

Визначаємо швидкість зварювання:

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$V_{зв} = \frac{\alpha_H \cdot I_{зв}}{F_H \cdot \gamma \cdot 100} = \frac{7,9 \cdot 50}{0,06 \cdot 7,8 \cdot 100} = 8,4 \text{ м/год} \quad (2.6)$$

Де:

F_H - площа поперечного перерізу валика;

Рорахункове значення F_H становить: 0,06см².

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{под} = \frac{4\alpha_H \cdot I_{зв}}{\pi \cdot \gamma \cdot d_{ел}^2} = \frac{4 \cdot 7,9 \cdot 50}{3,14 \cdot 0,64 \cdot 7,8} = 100 \text{ м/год} \quad (2.7)$$

Основні технологічні параметри наведені в таблиці 2.6

Таблиця 2.6 - Технологічні параметри процесу зварювання

№	Показники	Одиниці	Значення
1	Сила струму	В	30 ...60
2	Тиск плазмоутворюючого газу	МПа	0,15 ...0,25
3	Плазмоутворюючий газ	вид	аргон
4	Витрати плазмоутворюючого газу	л/хв	0,1...0,5
5	Захисний газ	вид	аргон
6	Витрати захисного газу	л/хв	5...10
7	електрод	матеріал	Вольфрамовий
8	Діаметр вольфрамового електроду	мм	1,0 ...1.6
9	Діаметр присадкового дроту	мм	0,8 ...1,0
10	Полярність	вид	пряма
11	Струм	вид	постійний

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального обладнання

Важливим аспектом промислового виробництва формовочних колон є механізація та автоматизація процесу зварювання. Для впровадження автоматизації процесу зварювання потрібно застосовувати комплексний підхід.

Під час використання зварювальних колон чи маніпуляторів плазмотрон надійно фіксується у затискному пристрої.

Обичайка надійно затискається притискними лапами роликового обертача та виконує обертальні рухи з синхронною швидкістю по колу для забезпечення заданої геометрії шва.

Для виконання міроплазмового зварювання обичайки з нержавіючої сталі товщиною 2 міліметри можуть бути використані мікроплазмові установки лінійки Micro-Plasma з наявністю опції подавання електродного дроту та можливістю охолодження пальника за допомогою води.

У комплект обладнання для виконання поставлених завдань входять – зварювальний апарат з вмонтованим джерелом живлення, механізм подачі присадного дроту - Cold Wire Feeder, плазмотрон, та система контролю напруги, що підтримує однакову відстань між плазмотроном і деталлю.

У якості зварювального апарату вибрано конструкцію Microplasma 105-2 (рис. 2.1). Апарат оснащений високоточним плазмотроном з соплами малого діаметру. Конструкція сопла передбачає наявність системи подавання захисного та плазмоутворюючого газів та через високі температури у плазмовій дузі вона повинна бути підключена до рідинного охолодження.

Основними перевагами апарату Microplasma 105-2 є:

- висока точність електричного струму, що регулюється починаючи з 0,1 А;
- Зварювання на режимах, характерних для плазмового, імпульсного плазмового та комбінованого TIG-зварювання;

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

- Наявність опції струму чергової дуги, що окремо налаштовується для процесу зварювання, заварювання кратеру та паузи, а також режимів spotArc і spotmatic для прихоплювання та точкового зварювання виробів;
- налагоджено систему захисту і постійного моніторингу тиску, витрат і температури охолоджувальної рідини.



Рисунок 2.1 - Апарат для зварювання плазмою Microplasma 105-2

Технічні характеристики установки Microplasma 105-2 наведено в таблиці 2.7.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 2.7 Технічні характеристики установки Microplasma 105-2

Технічні параметри	Одиниці	Значення
Діапазон регулювання зварювального струму	А	0,3 ...100
Тривалість включення 40 ⁰ С	А	100/60% 70/100
Напруга холостого ходу	В	95
Напруга мережі	В	230
Частота мережі	Гц	50/60
Потужність генератора	кВа	7,8
Клас захисту		IP23
Витрати для плазмоутворювального газу	л/хв	0,1...1,1
Витрати захисного газу	л/хв	3,5 ...20
Ширина	мм	377
Довжина	мм	625
Висота	мм	531

Зварювальні апарати мікроплазмового зварювання марки Microplasma 105-2 зазвичай не комплектуються механізмом подавання дроту. Однак конструкцією апарату передбачено технічну можливість для підключення механізму подачі присадкового дроту для механізованого або автоматичного зварювання.

Подача дроту є невід'ємною частиною сучасних зварювальних технологій, які дозволяють точне та безперервне додавання присадного матеріалу до зварювальної ванни. Сучасні методи подачі дроту значно підвищили якість, ефективність та економію енергії в різних секторах, таких як аерокосмічна, автомобільна, суднобудівна та важке машинобудування.

Серед різних методів поширеними є подача холодного та гарячого дроту. Розуміння різниці між подачею холодного та гарячого дроту дозволить

інженерам-зварювальникам та виробникам вибрати відповідний метод для міцності, ефективності та економії.

Подача холодного дроту - це техніка зварювання, при якій присадний дріт подається механічно у зварювальну ванну без будь-якого попереднього електричного нагрівання дроту.

Присадний дріт вводиться в розплавлену зварювальну ванну безпосередньо та плавиться виключно завдяки теплу від зварювальної дуги. Електричний струм не протікає через сам присадний дріт

Цей метод зазвичай використовується в способі TIG, лазерному та плазмовому зварюванні, де точність є критично важливою. Подавання холодного дроту забезпечує якісний контроль над додаванням присадкового матеріалу, що робить цей процес високоефективним для тонких матеріалів та високоякісних зварних швів.

Для подачі холодного дроту використовується;

- механічний подавач дроту;
- направляючі трубки або сопла для дроту;
- основне джерело живлення для зварювання;
- блок керування процесом.

Згідно з довідником AWS Welding Handbook, подача холодного дроту забезпечує чудовий контроль над додаванням наповнювача, що робить її ідеальною для тонких матеріалів та високоякісних зварних швів.

Для виконання розроблюваного процесу вибираємо подавач холодного дроту - Jetline® Cold Wire Feeder CWF-50B (рис.2.2).

Пристрій призначений для додавання присадного металу до зварювальної ванни. Його функції є наступними:

- подавання дроту з заданою швидкістю;
- зупинку/пуск дроту, подача дроту;
- відведення дроту та імпульсні можливості.

Система подачі холодного дроту включає: мікропроцесорний контролер 9700 Вт, 4-роликівий вузол подачі, вузол позиціонера для направлення дроту.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Головка подачі дроту та тримач котушки встановлені на спільній основі, щоб забезпечити плавну передачу дроту з котушки через подавальні ролики до каналу подачі дроту. Головку подачі слід встановлювати якомога ближче до зварювального пальника. За потреби для цього передбачено два кронштейни.



Рисунок 2.2 - Подавач холодного дроту - Jetline® Cold Wire Feeder

Пристрій оснащений тримачем котушки для стандартних котушок з отвором 50 мм. Прозора пластикова кришка доступна додатково для захисту котушки від пилу в робочій атмосфері.

Позиціонер напрямної дроту WGP-1 постачається стандартно з усіма конструкції подавачами холодного дроту Jetline. Пристрій легко встановлюється майже на будь-який пальник плазмового дугового зварювання та має три осі регулювання. Горизонтальна та вертикальна осі регулюються вручну під час зварювання для оптимізації положення входу дроту у зварювальну ванну.

Автоматичне керування напругою дуги (AVC) та керування висотою пальника (THC) є по суті синонімами в плазмовому різанні та зварюванні. Вони вимірюють напругу електричної дуги та використовують цей зворотний

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

зв'язок у режимі реального часу для підтримки ідеально рівного зазору між пальником та матеріалом. Пристрій для автоматичного регулювання висоти пальника зазвичай є частиною плазмового з ЧПК, є одним з найважливіших елементів механізованого фігурного різачка. Варто зазначити, що ручне регулювання зазору є неефективним та не може забезпечити весь потенціал процесу.

Відстань між пальником та поверхнею деталі, або відстань, під час процесу зварювання регулюється шляхом контролю напруги дуги. Напруга дуги – є аналогічною до вихідної напруги джерела живлення.

Плазмові джерела живлення є джерелом струму – вони генерують дуже стабільний робочий струм під час процесу зварювання. Напруга, з іншого боку, змінюється залежно від відстані між катодом (електродом у пальнику) та анодом (матеріалом, що різеться).

Напруга за законом Ома прямо пропорційна опорі. Опір дуги є функцією відстані. Коли відстань між пальником та робочим місцем збільшується, напруга зростає; коли відстань між пальником та робочим місцем зменшується, напруга зменшується.

Система керування висотою пальника використовує напругу дуги для підтримки постійної відстані від пластини під час зварювання. Це дозволяє системі підтримувати належну висоту пальника незалежно від варіацій матеріалу або площинності ріжучої платформи.

Таким чином при використанні системи контролю AVC і TNC дозволяє підтримувати однакову відстань між торцем плазмотрону та поверхнею виробу, що є важливим при мікровідхиленнях тонкої обичайки.

Для виконання зварювання формувальної колони комплектуємо високоточний автоматизований комплекс, який включає зварювальну колону-маніпулятор, обертач для обичайки, обладнання для зварювання та систему захисту зворотного боку шва.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Цей комплекс забезпечує надійне позиціонування плазмотрона, відповідне обертання виробу, якісне формування поздовжнього та кільцевого швів, а також надійний захист зварювальної ванни.

Зварювальна колона (рис. 2.3) фіксує та утримує плазмовий пальник під заданим кутом. Дає можливість встановлювати вертикальне положення і горизонтальне переміщення консолі. За допомогою моторизованої каретки встановлює сенсорне стеження за підтриманням постійної відстані до зварювальної поверхні.

Роликовий обертач виконує плавне обертання колони. За цього швидкість обертання синхронізується з швидкістю зварювання. Для переміщення тонкостінних деталей, до яких відноситься колона, на ролики обертача наноситься гумове або поліуретанове покриття. Таке покриття запобігає утворенню подряпин і вм'ятин на поверхні деталі.

Для процесу зварювання, як описано вище, ми підібрали зварювальний апарат Microplasma 105-2. Під час виконання процесу, для запобігання окислення металу, використовується система захисту зворотного боку шва. Особливості проектування технологічного процесу в тому, що формувальна колона це виріб оболонкового типу, який складається з циліндричної обичайки та приварних деталей і до нього, як і до всієї конструкції, що працюють у харчовій промисловості, висуваються найвищі вимоги до якості зварних швів. Тому в якості механічного зварювального устаткування доцільно застосувати роликові стенди та зварювальні колони.

Для встановлення і переміщення зварювальної установки Microplasma 105-2 в процесі виконання прямолінійних та кільцевих швів при виготовлення технологічної ємності вибираємо зварювальну колону Automa SMB 2x2 (рис.2.3).

Зварювальна колона AUTOMA SMB 2x2 (також відома як зварювальний маніпулятор або колона зі стрілою) – це автоматизована система, яка закріплює та переміщує плазмовий зварювальний пальник вздовж горизонтальної та вертикальної осей.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Вона забезпечує високостабільне, точне та повторюване позиціонування пальника для послідовного поздовжнього або кільцевого зварювання резервуарів, труб та великих конструкцій.

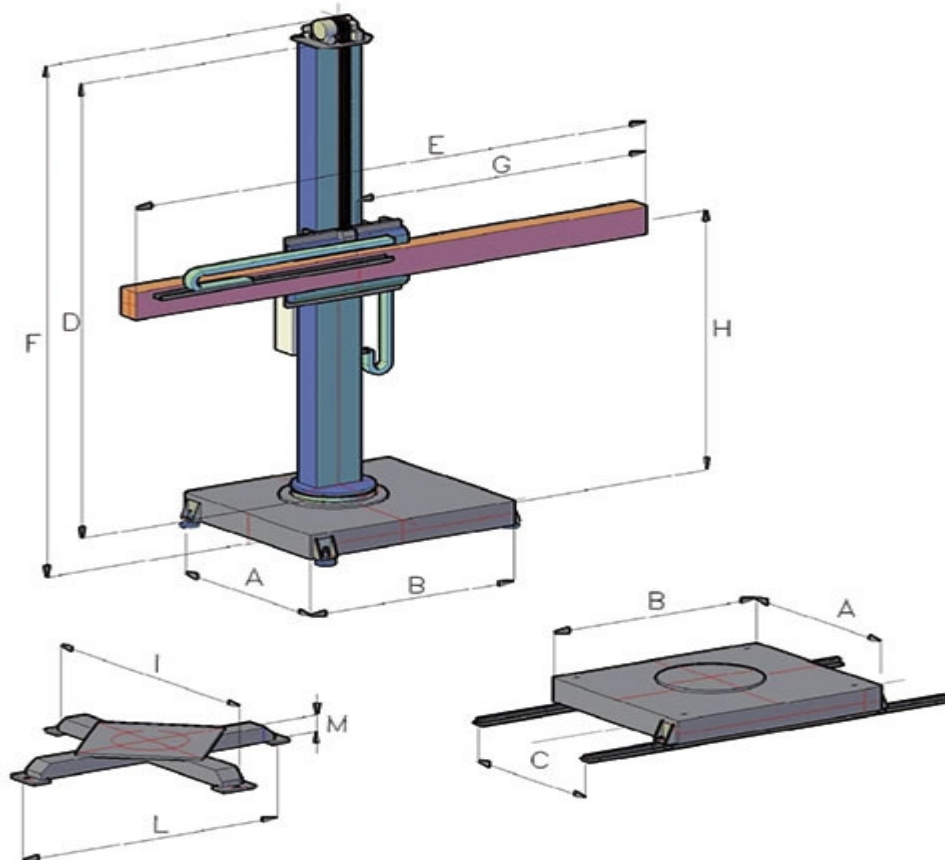


Рисунок 2.3 - Зварювальна колона AUTOMA

Механізовані осі колони забезпечують плавний рух без вібрацій як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках. Конструкція колони передбачає керування напругою дуги (AVC) та використання осциляторів.

Ці пристрої, є необхідними для проведення плазмового зварювання. Вони регулюють висоту пальника, щоб компенсувати будь-які коливання поверхні деталі, забезпечуючи постійне проникнення та ширину шва.

Інтерфейс дистанційного керування дозволяє операторам точно позиціонувати пальник та його переміщення в процесі зварювання.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Зварювальна колона легко підключається до обертових маніпуляторів, зварювальних установок машин та автоматичних подавачів дроту для реалізації заданого циклу зварювання.

Вибираючи зварювальну колону з маніпулятором та стрілою виліт налаштовується у відповідності до розміру ваших з'єднаних деталей. Вертикальний хід по осі У складає від 3000 мм. Горизонтальний хід стріли за віссю Х знаходиться досягає 3000мм.

Вантажопідйомність колони передбачена для легкого та середнього режимів роботи до 500 кілограмів. Цей варіант виконання досить добре підходить для розміщення установок та акцесуарів, що виконують плазмове зварювання. Технічні характеристики колони представлені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики колони Automa SMB 2x2.

Найменування параметра	Одиниці	Значення
Робочий хід по вертикалі	мм	6000
Робочий хід по горизонталі	мм	3000
Швидкість переміщення консолі по горизонталі	м/хв	0,12 ...2,2
Швидкість підйому консолі	м/хв	1,0
Стандартне живлення	В	380
Частота струму	Гц	50
Висота колони	мм	3350
Ширина колони	мм	1500
Довжина колони	мм	1600

Для виконання поздовжніх та поперечних швів при виготовленні формувальної колони вибираємо роликові обертачі HGK-1000S (рис.2.4). Пристрої HGK-1000S це компактні і точні роликові обертачі, призначені для механізації зварювальних процесів, наплавлення, а також різання круглих

виробів. Основною функцією цих одиниць обладнання є обертання заготовок з заданою швидкістю, що сприяє утворенню рівномірного та якісний зварювального шва. Обертачі складаються зприводної та неприводної секцій та пульта управління

Вантажопідйомність агрегатів досягає 1000 кілограмів, потужність двигуна - 0.12 кВт з плавною можливістю плавної зміни швидкості обертання. За цього швидкість обертання роликів знаходиться в діапазоні 80 ... мм/хв.



Рисунок 2.4 – Обертачі HGK-1000S

Важливим є те, що для кращого маневрування, обертачі можуть бути поміщені у рейкові візки, а також всі вони оснащені пультами дистанційного керування. Технічні параметри обертачів HGK-1000S представлені в таблиці 2.9

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.9 - Технічні параметри обертачів 1000S

№ п/п	Найменування параметра	Одиниці	Значення
1	Найбільше навантаження	кг	1000
2	Радіус поліуретанового ролика	мм	125
3	Ширина поліуретанового ролика	мм	50
4	Діаметр заготовок	мм	80...700
5	Швидкість обертання	мм/хв	80 ...1600
6	Потужність	W	250
7	Розміри привідної секції	мм	660x320x390mm
8	Розміри непривідної секції	мм	500x160x390mm

Для приварювання фланців до стінок формувальної колони та патрубків, а також виконання прихвачень виберемо зварювальний позиціонер ВУ-600 (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Зварювальний позиціонер ВУ-600

Зварювання обслуговує численні галузі промисловості, включаючи будівництво, виробництво, аерокосмічну та автомобільну промисловість. Якісні зварні шви вимагають від зварювальників точності, безпеки, ефективності та управління часом, і саме тут стають у пригоді зварювальні позиціонери. Технічні характеристики позиціонера ВУ-600 наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9– Технічні характеристики маніпулятора ВУ-600

№ п/п	Найменування параметра	Одиниці	Значення
1	Максимальне навантаження у горизонтальному положенні	кг	600
2	Максимальне навантаження у вертикальному положенні	кг	300
3	Швидкість обертання	об/хв	0,1 ...1
4	Кут нахилу планшайби	град	0 ...90
5	Напруга живлення	В	230
6	Частота мережі	Гц	50
7	Робочий діаметр планшайби	мм	650
8	Довжина	мм	740
9	Ширина	мм	705
10	Висота	мм	700
11	Маса, кг	кг	200

Позиціонери з поворотом та нахилом — вони дозволяють як нахил, так і обертання, що дозволяє зварювальнику розташувати заготовку в потрібному положенні для складних зварних швів. Позиціонер обертає та утримує заготовки, щоб зварювальники могли легко дістатися до всіх ділянок деталі. Ці пристрої стають дедалі ціннішими для всіх галузей промисловості.

У більшості операцій зварювальники повинні одночасно контролювати численні змінні, що збільшує ймовірність людської помилки. Завдяки

оптимальному контролю положення ймовірність дефектів, таких як пористість або неповне сплавлення, значно знижується, тим самим підвищуючи ефективність операції.

Завдяки передовим обчислювальним технологіям, що впроваджуються у зварювальні апарати, певні параметри, такі як обертання, коливання, швидкість позиціонування та виконання керування, забезпечують точність і стабільність зварних швів, підвищуючи точність навіть для найскладніших циліндричних деталей. Технічні характеристики позиціонера ВУ-600 наведено в таблиці 2.9.

2.2 Розроблення технологічного процесу виробництва зварної конструкції

2.1.1 Основні етапи виготовлення формувальної колони

Першим етапом технологічного процесу є створення 3D-моделі з урахуванням необхідної продуктивності, висоти блоку та об'єму сирної маси.

Важливим етапом є вибір матеріалу для виробництва формувальної колони. Виходячи з призначення виробу та умов його експлуатації вибираємо нержавіючу сталь AISI 316L, яка містить у своєму складі молібден, що забезпечує більшу стійкість до корозії, особливо до хлоридів, кислот та сольових розчинів.

Дальше проводимо заготівельні операції, що передбачають оброблення металу та його різання. Отримавши відповідні заготовки виконуємо складальні та підготовчі роботи. За цього потрібно забезпечити належне прилягання стиків з мінімальним зазором. Виконання цих технологічних операцій багато в чому визначає якість та надійність готової продукції.

Наступною технологічною операцією є процес зварювання. Під час виконання процесу зварювання потрібний постійний контроль за

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

тепловкладенням в зону зварювання для запобігання утворення характерних для нержавіючих сталей дефектів, а також використання првтурюваних виробничих циклів.

Після виконання зварних швів за необхідності виконується їхня механічна обробка і завершальний контроль якості.

Дотримання загального алгоритму виконання технологічного процесу дозволяє отримувати продукцію високої якості та надійності з найменшими виробничими затратами.

2.2.2 Заготівельні операції

При поступленні на машинобудівне підприємство – всі листи металу, труби, комплектуючі до формувальної колони, а також зварювальні матеріали повинні мати супровідні матеріали у вигляді сертифікатів та пройти вхідний контроль. За відсутності необхідних документів, чи невідповідній якості деталей, що поступають, створюється комісія для встановлення їхніх технічних параметрів, або при неможливості це зробити на місці – деталі відправляють у спеціальні ліцензовані лабораторії, або повертають поставщику.

Заготівельні операції включають: вирівнювання, правлення, різання та механічне оброблення.

Для вирівнювання листів з нержавіючої сталі, що мають товщину два міліметри найкращим вибором є багатовальцева листопрямильна машина. Цей станок використовує метод холодного багаторазового перегину через систему встановлених валків. Така конструкція допомагає повністю усунути внутрішні напруження в металі та хвилястість, а також забезпечити ідеальну площинність поверхні.

Для виконання підготовчих робіт - вирівнювання листів вибираємо застосуємо багатовалкову листопрямильну машину Tok Makina TOD-2000 (рис. 2.6).

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Рисунок 2.6 - Листопрямильна машина Tok Makina TOD-2000

Установка розроблена для вирівнювання металевого листового металу для використання у виробничих процесах. Може використовуватись для оброблення звичайних та нержавіючих сталей, а також алюмінію. Має здатність обробляти листовий метал до ідеальної площини завдяки точному керуванню блоком циліндрів. Проявляє швидку адаптацію до листів різної товщини завдяки наявності спеціальних циліндрів.

Оптимальні результати вирівнювання отримуються завдяки точному регулюванню тиску з обох боків заготовки. Оснащена ефективною системою подачі матеріалу завдяки наявності потужних приводних циліндрів.

Технічні параметри установки Tok Makina TOD-2000 наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Технічні характеристики листопрямильної машини Tok Makina TOD-2000

Найменування параметра	Одиниці	Значення
Товщина матеріалу	мм	1...3
Ширина металопрокату	мм	До 2000
Кількість валків	шт	13
Діаметр правильних валків	мм	90
Потужність двигуна	кВт	7,5

Довжина	мм	2300
Ширина	мм	2500
Висота	мм	1800
Вага	кг	4500

Особливістю технологічного процесу виготовлення формувальної колони є те, що перед зварюванням потрібно за допомогою різання отримати заготовки заданих розмірів. Заготовки можна отримати за допомогою механічних або термічних методів. Враховуючи вимоги до конструкції перевагу надамо термічному способу різання за допомогою плазми.

Плазмове різання як метод обробки металу має кілька переваг порівняно з іншими. Ці переваги включають економічну ефективність, ширший діапазон різання металу, високу точність та повторюваність.

Плазмове різання – це процес обробки металу, в якому використовуються іонізовані гази, нагріті до температури понад 20 000 °С, для плавлення металевих матеріалів. Цей газ, що викидається під високим тиском, плавить матеріал і видаляє його з розрізу.

Важливо зазначити, що цей процес працює лише з електропровідними матеріалами, такими як нержавіюча сталь, мідь, алюміній та інші метали. Іншими словами, плазмове різання не може різати камінь, папір, скло та інші погані провідники електрики.

Процес плазмового різання існує з 1957 року. Він розпочався як розширення процесу GTAW (газового вольфрамового дугового зварювання). Спочатку його основним використанням було різання сталевих та алюмінієвих пластин товщиною від півдюйма до шести дюймів.

Процес плазмового різання передбачає використання тепла для плавлення металу замість механічного різання. Плазмові різачки працюють, пропускаючи електричну дугу через газ. Потім цей газ проходить через звужений отвір (сопло). Звужений отвір змушує гази проштовхуватися крізь

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

нього з високою швидкістю, утворюючи плазму. Різання заготовки передбачає контакт ріжучого кінчика плазмового різачка з заготовкою.

Тип газу, що використовується під час процесу, залежить від методу різання, матеріалу, що ріжеться, та товщини. Окрім забезпечення утворення плазмового струменя, використовуваний газ також повинен сприяти витісненню розплавленого матеріалу та оксиду з розрізу.

Для різання тонких стінок від 0,5 до 8 мм у вигляді плазмового газу використовується кисень, а у вигляді вторинного газу азот. Процес проходить з великою інтенсивністю краї заготовок отримують без задирок, такі що витримують прямокутність, з гладкістю, подібною до лазерного різання.

Для виконання технологічного процесу використаємо установку ACCURL CPL- 1530 (рис.2.7). Високоякісний плазмовий різальний верстат марки ACCURL® забезпечує високу продуктивність. Завдяки найкращому в своєму класі руху, уніфікованій конструкції та компактним розмірам CPL забезпечує швидкість та продуктивність у цехах будь-якого розміру.



Рисунок 2.7 - Плазмова установка для різання ACCURL CPL- 1530

Технічні параметри установки для різання ACCURL CPL- 1530 наведені в таблиці 2.11

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 2.11 Технічні параметри установки для різання ACCURL CPL-1530

Найменування параметра	Одиниці	Значення
Розміри робочого стола	мм	1500 x 3000
Швидкість різу	мм/хв	0...5000
Номінальна потужність	кВт	4
Швидкість пересування, мм/хв	мм/хв	12000
Точність різу	мм/м.	+0,5
Вертикальний хід переміщення плазмотрона	мм	130
Програма керування		SheetCam
Електронна система слідування за висотою різачка	(ТНС)	За напругою дуги
Живлення джерела плазми, В	В	380
Робочий тиск	Бар	3,0 ...5
Габаритні характеристики, мм		2400 x 3500
Вага, кг		500

Заготовки встановлених розмірів для виготовлення обичайок подаються для вальцювання (рис.2.8). Ці заготовки не повинні включати жодних дефектів. Особливістю проведення процесу вальцювання є те, що краї заготовок на відстані 100...150 мм від краю залишаються прямими, тому перед початком вальцюванням заготовок потрібно провести операцію – підгинання кромки.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



Рисунок 2.8 – процес вальцювання

Для реалізації процесу вальцювання обичайок застосуємо вальці тривалкові марки PRMX1050M (рис.2.9).



Рисунок 2.9 – Вальці листозгинальні асиметричні тривалкові PRMX1050M

Вальці PRM використовуються для виготовлення циліндричної заготовки, а також корекції плоских заготовок. Установка відрізняється

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

простою та надійною конструкцією, що дозволяє її ефективно використовувати у виробничому процесі. Верстат виготовлений з високоякісної сталі.

Серія установок PRM, запроектована за схемою трьох валків і оснащена електромеханічним приводом. Ці машини використовуються для оброблення листових виробів, що мають довжину 1050-2050 міліметрів і товщину 1,5-3 мм.

Технічні параметри вальців листозгинальних тривалкових PRMX1050M представлено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Технічні параметри вальців листозгинальних тривалкових PRMX1050M

Технічні параметри	Одиниці	Значення
Товщина металу	мм	0,8 ...3,0
Мінімальний внутрішній діаметр	мм	135
Діаметр верхнього та нижнього валів	мм	90
Швидкість обертання	м/хв	6
Потужність приводу	кВт	1,1
Електроживлення	В/Гц	3x380/50
Споживана потужність	кВт	2,2
Довжина	мм	1630
Ширина	мм	700
Висота	мм	1170
Вага	кг	455

2.2.3 Розроблення складально-зварювальні операцій

Зазвичай складально-зварювальні операції при виготовленні продукції складають єдиний цілісний виробничий комплекс.

Особливістю конструкції формувальної колони є те, що вона складається з окремих блоків. Висота колони узгоджується з замовником та встановлюється шляхом нарощування кількості блоків один на одного. Після завершення вальцювання заготовок, направляємо їх для проведення наступних операцій.

Поздовжні шви для отримання обичайок виконуємо на спеціально зібраному стенді, що включає зварювальну колону AUTOMA SMB 2x2, на якій розміщено зварювальний апарат Microplasma 105-2, оснащений подавачем холодного дроту - Jetline® Cold Wire Feeder та роликівими обертачами HGK-1000S.

Особливістю виконання зварних швів є те, що нержавіюча сталь, яка використовується для виробництва формувальної колони на відміну від вуглецевих сталей має у два рази меншу теплопровідність.

Завдяки цій властивості вона швидко накопичує тепло та схильна для прогорання. Тому під час зварювання потрібно чітко дотримуватись встановлених технологічних параметрів, представлених в таблиці 2.5 та при можливості встановлювати технологічні паузи для охолодження металу шва.

Значну увагу потрібно приділити виконанню складальних та підготовчих робіт, при встановленні кромки металу у проектне положення. За цього необхідно акуратно перевірити відповідність геометричних розмірів та зазорів.

Перед виконанням плазмового зварювання кромки стиків повинні бути ретельно зачищені та знежирені за допомогою відповідних розчинників. В інакшому випадку метал заготовки може окислитись та втратити антикорозійні властивості.

Для отримання зварних швів високої якості потрібно проводити зворотний захист їх тильної сторони за допомогою піддування аргону в зону зварювання.

В процесі зварювання обичайка закріплюється нерухомо, а стріла колони рухається з заданою швидкістю, виконуючи односторонній

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

однопрохідний шов. Всі процеси добре скоординуються та виконуються в автоматичному режимі.

Після зварювання вирішальне значення має очищення та механічна обробка поверхонь. Навіть при плазмовому зварюванні на зварному шві та навколо нього утворюється певний термічний відтінок (оксидний шар).

Цей термічний відтінок має нижчий вміст хрому, ніж основний матеріал, і є менше стійкішим до корозії. Тому його необхідно видалити, зазвичай за допомогою механічного полірування (якщо воно доступне та виконується обережно, щоб уникнути утворення нових подряпин), хімічного травлення (використанням кислотних розчинів, таких як суміш азотно-плавикової кислоти, з подальшим ретельним промиванням) або електрополірування.

Пасивація – ще один важливий етап після виготовлення. Це хімічна обробка, зазвичай за допомогою азотної або лимонної кислоти, яка видаляє вільне залізо та інші забруднення з поверхні нержавіючої сталі та допомагає відновити та потовщити захисний пасивний шар оксиду хрому, підвищуючи його корозійну стійкість.

Для застосувань, що вимагають найвищого рівня гігієни та корозійної стійкості, електрополірування часто призначається для внутрішніх поверхонь виробів, іноді після виготовлення та зварювання.

Електрополірування – це електрохімічний процес, який видаляє мікроскопічний шар матеріалу з поверхні, що призводить до надзвичайно гладкої, блискучої та чистої обробки. Він переважно видаляє піки та заокруглює гострі краї, значно зменшуючи площу поверхні, доступну для прикріплення мікробів, та покращуючи очищення.

Дані досліджень у галузі поверхневої науки показують, що електрополіровані поверхні можуть мати значення Ra (середня шорсткість поверхні) значно нижчі, ніж механічно поліровані поверхні, часто нижче 0,4 мкм (15 мкдюймів), що є загальною вимогою для застосувань високої чистоти.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

2.2.4 Вибір заходів боротьби із зварювальними напруженнями

Під час виконання зварних швів уникнути повністю утворення залишкових деформацій та напружень практично неможливо. Цей процес можна тільки суттєво зменшити.

316L – це різновид аустенітної нержавіючої сталі, що містить невелику кількість фериту. Завдяки добрій зварюваності та корозійній стійкості цю сталь використовують для виготовлення відповідальних конструкцій.

Стандарт EN 1011-1 надає рекомендації щодо зварювання металевих матеріалів, включаючи аустенітні нержавіючі сталі, забезпечуючи належні процедури зварювання для досягнення високоякісних, бездефектних зварних швів.

Згідно з цим стандартом, усі поширені процеси зварювання, підходять для аустенітних нержавіючих сталей за умови використання відповідних параметрів та методів зварювання.

Щоб мінімізувати пошкодження нержавіючих сталей, такі як деформація, гарячі тріщини, сенсibilізація, та інтерметалідні осадження, вкрай важливо підтримувати низьке підведення тепла.

Надмірне нагрівання може призвести до росту зерен у зоні термічного впливу (HAZ), знижуючи механічну міцність та збільшуючи схильність до корозії та розтріскування.

Крім того, використання попереднього нагрівання не рекомендується, оскільки воно ще більше сприяє небажаним тепловим ефектам, збільшуючи ймовірність деформації, гарячих тріщин та сенсibilізації.

Підготовка кромки відбувається за аналогічними принципами, як і для вуглецевої сталі, але можуть знадобитися незначні зміни кутів скосу та зазорів у корені, щоб врахувати вище теплове розширення матеріалу та нижчу теплопровідність.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Для тонких труб і пластин зварювання часто можна виконувати без присадного металу, просто сплавляючи краї з'єднання, що допомагає зберегти цілісність матеріалу та знизити ризики забруднення.

Хоча аустенітні нержавіючі сталі загалом відомі своєю доброю зварюваністю, вони все ще можуть зіткнутися з цими проблемами, якщо не вжити належних запобіжних заходів. Розтріскування при затвердінні та ліквідації є поширеним дефектом повністю аустенітних нержавіючих сталей, включаючи ті, що не містять фериту.

Крім того, можуть виникати розтріскування у твердому стані, включаючи пластичне розтріскування зануренням, розтріскування при повторному нагріванні (розтріскування при знятті напруги) та проблеми, пов'язані з забрудненням, такі як розтріскування, викликане міддю.

Незважаючи на свою чудову корозійну стійкість, аустенітні нержавіючі сталі та марка 316L все ще вразливі до локалізованої корозії в зоні термічного впливу (ЗТВ), такої як міжкристалічна атака (IGA) та міжкристалічна корозійна тріщина під напругою (IGSCC), особливо поблизу зон зварювання, де існують концентрації напруг.

Багато зварних металів аустенітних нержавіючих сталей містять ферит, що може призвести до окрихчення при проміжних температурах через утворення сигма-фази та карбїду.

Хоча осадження сигма-фази є повільним процесом і зазвичай відбувається під час експлуатації, а не виготовлення, воно все ж може розвиватися у великих зварних конструкціях або секціях, де швидкість охолодження після зварювання надзвичайно повільна.

Зварювальна металургія досліджує, як зварювання впливає на фізичні, механічні та хімічні властивості металів. Процес плавлення та повторного затвердіння змінює початкову мікроструктуру, часто знищуючи ретельно розроблені властивості матеріалу. Ці зміни можуть впливати як на механічну міцність, так і на корозійну стійкість, що вимагає ретельного контролю параметрів зварювання для підтримки характеристик матеріалу.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Процес зварювання створює залишкові напруження в нержавіючих сталях через їх високе теплове розширення та низьку теплопровідність. Ці напруження можуть призвести до деформації, корозійного розтріскування під напругою (SCC) та зниження механічних характеристик, якщо їх не керувати належним чином.

Контроль підведення тепла, вибір відповідних присадних матеріалів та використання методів зняття напруги є життєво важливими для мінімізації цих проблем.

Запобігання утворенню зварювальних напружень у бакалаврській роботі закладено перш за все у виборі способу зварювання. Рекомендовано – мікроплазмовий спосіб зварювання.

Під час зварювання концентрована енергія плазми дозволяє утворювати глибокі та одночасно вузькі зварні шви, з мінімальною зоною термічного впливу не спричиняючи значних деформацій. За цього процес відбувається на високих швидкостях. Для плазмового зварювання характерною є висока стабільність електричної дуги.

У порівнянні з TIG-зварюванням, плазмова дуга є стиснутою, вона функціонує стабільно навіть при струмах менших за один ампер, а глибоке проплавлення завдяки великій концентрації енергії дозволяє проводити зварювання без розроблення кромки.

При використанні плазмового зварювання процес відбувається на високих швидкостях. Завдяки високим швидкостям переміщення та вузькій смужці подачі тепла зварювальні деформації є мінімальними.

Під час зварювання тонкостінних виробів зі сталі 316L можуть утворюватись гарячі тріщини, тому використання присадкового матеріалу стає необхідністю.

У якості присадного матеріалу підбрано електродний дріт марки ER316L. Завдяки малому вмісту вуглецю і легуванню молібденом, цей електродний матеріал забезпечує стійкість до проходження міжкристалітної

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

корозії. Низький вміст вуглецю запобігає процесу випадання карбідів під час сильного локального нагрівання.

Так само заходи попередження утворення зварювальних напружень передбачають встановлення оптимальних технологічних параметрів процесу, де передбачено мінімальне тепловкладення в процес зварювання.

Таким чином при розробленні технологічного процесу виконання складальних і зварювальних робіт для попередження утворення напружень і деформацій вжито достатньо заходів.

2.3 Технічний контроль та виправлення браку

2.3.1 Організація технічного контролю

Після завершення виконання складальних і зварювальних робіт формувальна колона відправляється для проведення завершального контролю якості.

Технологічний процес виробництва формувальної колони побудований на системі управління якістю продукції. Спочатку для сировини, що використовується для виробництва колони проводиться вхідний контроль. Всі матеріали задіяні у виробництві перевіряються на наявність відповідних сертифікатів та дозволів.

Працівники, що виконують виробничі операції повинні мати, відповідні дипломи та атестати, а технологічне та механічне обладнання повинно пройти повку, про що робляться необхідні відмітки у паспортах машин.

Під час виробництва продукції застосовується поопераційний контроль та приймальний контроль. Під час проведення поопераційного контролю виявляються можливі відхилення технологічних параметрів від нормативних значень, та зразу ж вносяться корективи, що дає можливість виправляти помилки, ще на на ранніх стадіях.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Для виконання складальних операцій використовуються спеціальні пристрої для контролю встановлення зазорів та геометричних розмірів деталей після завершення підготовчих операцій. Історично необхідно слідкувати за відповідністю геометричних розмірів деталей та зазорів між ними.

Приймальний контроль зварних швів формувальної колони це є завершальна технологічна операція. На даній стадії технологічного процесу для визначення якості використовуємо ультразвуковий спосіб.

2.3.1 Дефекти, що виникають в процесі зварювання конструкції

Головним завданням процесу зварювання є виконання бездоганного зварного шва. Разом з тим з різних причин у зварному шві можуть появлятися ряд дефектів, які впливають на якість та надійність зварного з'єднання в цілому. Серед цих дефектів основними є:

- Пористість;
- Не повне сплавлення;
- Не повне проплавлення;
- Не відповідні профілі зварних швів;
- Поява тріщин;

Важливим кроком до розуміння природи дефектів зварного шва є визначення основних термінів при встановленні дефектів.

Порушення цілісності металу – несучільність, визначається як невідповідність типової структури матеріалу до нормативних значень. Наприклад, відсутність однорідності його механічних, металургійних або фізичних характеристик. Несучільність може бути результатом дефекту, але не обов'язково є дефектом.

З іншої сторони дефект - це несучільність, яка за своєю природою або накопиченим ефектом (наприклад, загальна довжина тріщини) робить деталь або виріб нездатним відповідати мінімальним застосовним стандартам або

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

специфікаціям приймання. Дефект призводить до бракування деталі або виробу.

Поширеним дефектом при зварюванні елементів формувальної колони є утворення пор. Пористість визначається як розрив порожнини матеріалу, що утворюється внаслідок захоплення газу під час затвердіння. Гази, що утримуються в розплавленому металі, можуть утворювати бульбашки або кишені під час затвердіння шва.

Можна назвати основні причини появи пор у зварному шві. Зварювання неочищених поверхонь, коли матеріал виробу, забруднений вуглеводнями, такими як олія, мастило або фарба.

Присутність вологи на поверхні з'єднання або електрода у вигляді води або гідратованих оксидів, або витік води з погано обслуговуваних систем охолодження, які можуть вносити водень у процес зварювання.

Недостатній або неналежний захист, спричинений недостатньою швидкістю потоку захисного газу. Газ може бути забруднений у джерелі або системі подачі або ж вітер чи протяг, що можуть перешкоджати газу належним чином захищати розплавлений метал зварного шва. Причиною утворення пор також можуть бути неправильні умови або методи зварювання.

Пористість класифікується за її формою та розподілом у зварному шві. Наприклад, як рівномірно або випадково розсіяна, кластерна або лінійна. Кожен з цих розподілів пористості може мати різні рівні прийнятності в рамках зварювальних стандартів.

Найбільш практичними методами контролю або усунення пористості є використання чистих основних матеріалів, належне зберігання незабруднених зварювальних витратних матеріалів, належне обслуговування зварювального обладнання, використання перевірених процедур зварювання та зварювання в прийнятних умовах навколишнього середовища.

Неповне сплавлення – це несучільність зварного шва, при якій між металом шва та поверхнями сплавлення або суміжними зварними швами не відбувається сплавлення. Відсутність сплавлення може виникати в будь-якому

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

місці зварного з'єднання та бути присутньою в кутових або пазових зварних швах.

Неповне сплавлення виникає, коли температура основного матеріалу або попередньо наплавленого металу шва не підвищується до точки плавлення під час процесу зварювання. Неповне сплавлення часто зустрічається на одній гілці кутового зварного шва і спричинене неправильним кутом зварювання, який нерівномірно розподіляє тепло між обома сторонами з'єднання.

Неповне проплавлення з'єднання (непровар) – це несучільність у зварному шві, при якій метал шва не поширюється на всю товщину з'єднання (рис. 2.10) Це нездатність присадного металу або основного металу повністю заповнити корінь шва.

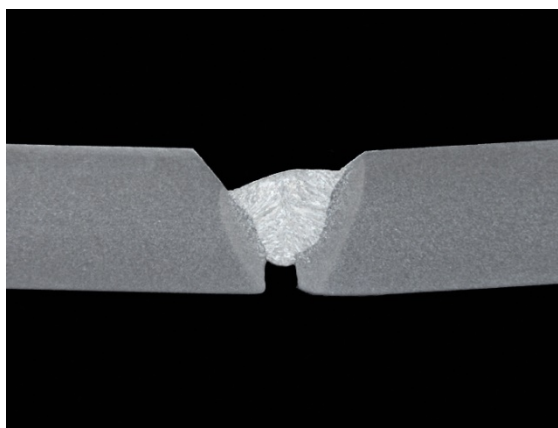


Рисунок 2.10 – Непровар зварного шва

Поширеними причинами неповного проплавлення з'єднання є погана конструкція зварного шва або пристосувань, які не відповідають умовам зварювання даної конструкції. Неповне проплавлення з'єднання може виникнути, якщо розміри поверхні кореня занадто великі, отвір кореня занадто малий або кут V-подібного зварного шва занадто вузький. Всі ці проблеми з конструкцією з'єднання обмежують здатність зварного шва проникати крізь товщину з'єднання.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Неповного проплавлення з'єднання можна запобігти за допомогою правильної конструкції з'єднання та припасування відповідно до вимог процедури зварювання.

Тріщини у зварному шві, ймовірно, є найскладнішим із всіх несучільностей зварного шва. Оскільки у зварюванні використовується багато матеріалів та застосувань, утворення тріщин є складною проблемою.

Чутливість основного матеріалу до утворення тріщин може бути пов'язана з його хімічним складом та схильністю до утворення елементів, що знижують його пластичність. Надмірні напруження у зварному з'єднанні, особливо якщо матеріал знаходиться у стані, чутливому до розтріскування, можуть спричинити виникнення розтріскування.

Сама зварювальна операція може створювати напруження у зварному шві та навколо нього, спричиняючи надмірне локалізоване нагрівання, розширення та стиснення.

Утворення тріщин часто спричиняється концентрацією напружень поблизу розривів у зварних швах та основному металі, а також поблизу механічних надрізів у конструкції зварного шва. Водне окрихчення, стан, що спричиняє втрату пластичності та існує в металі шва через поглинання водню, може сприяти утворенню тріщин у деяких матеріалах.

Таким чином аналіз причин утворення основних дефектів у зварному шві показав, що для запобігання їхній появі, потрібне раціональне проектування зварних з'єднань, вибір правильної технології зварювання, дотримання технологічних параметрів процесу та належна організація контролю якості готової продукції.

2.3.2 Візуальний метод контролю

Після виконання процесу зварювання зварні шви можуть містити такі дефекти, як тріщини, пористість, подрізи та поверхневий шлак. Міжнародні

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

стандарти, такі як AWS D1.6 та ISO 9606-1, вимагають проведення візуального огляду кваліфікованими фахівцями.

Ці стандарти зосереджені на пошуку поверхневих дефектів, які можуть послабити зварний шов. Візуальний огляд є обов'язковим перед використанням більш складних тестів.

Перш за все оцінюється профіль зварного шва. Профіль завершеного зварного шва може мати значний вплив на його експлуатаційні характеристики. Оцінка зовнішнього вигляду та геометричних розмірів відбувається у відповідності до діючих нормативних документів.

Неприйнятні профілі зварних швів можуть призвести до зменшення товщини основного матеріалу, зменшення розміру шва або збільшення концентрації напружень на поверхні шва або пластини. Ці типи несучільностей зварних швів часто серйозно погіршують загальну експлуатаційну характеристику зварного компонента в експлуатації.

За допомогою візуального методу так само визначаються подрізи та надмірна опуклість. Подрізи визначається як незаповнена зварним металом канавка, вплавлена в основний метал поруч із кінцем шва або його коренем.

Термін "подріз" описує два конкретні стани. Перший - це плавлення основного матеріалу на бічній стінці канавки зварного шва, що створює гостре заглиблення в бічній стінці в області, де має бути нанесений наступний шов. Цей тип подрізання може захоплювати включення всередині поглиблення, яке потім може бути покрите наступним зварним швом.

Такий стан зазвичай можна виправити, шліфуючи поглиблення перед нанесенням наступного шва. Однак, якщо подрізання незначне, досвідченому зварювальнику, який знає, наскільки глибоко проникне дуга, може не знадобитися його видалити. Подрізання бічної стінки канавкового зварного шва не вплине на завершений зварний шов, якщо стан виправити до нанесення наступного шва.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Другий стан – зменшення товщини основного металу на лінії, де зварний шов на останньому шарі зварного металу з'єднується з поверхнею основного металу. Цей стан може виникати на кутовому зварному шві або при виконанні стикового з'єднання.

Величина підрізу, дозволена на поверхні завершеного зварного шва, зазвичай вказується у зварювальних нормах або стандартах, що використовуються. Максимальних допустимих вимог до підрізання для завершених зварних швів слід суворо дотримуватися, оскільки надмірне підрізання може серйозно вплинути на характеристики зварного шва, особливо якщо він піддається навантаженню на втому під час експлуатації.

Обидва типи підрізання зазвичай спричинені неправильною технікою зварювання, неправильним розташуванням електрода або неправильною швидкістю руху. Високі струми та довга дуга збільшують ймовірність підрізання. Розуміння цих несучільностей зварювання допоможе операторам зварювання виявити їх і, запобігти їх виникненню у виробництві.

При виконанні візуального та вимірювального методів важливим є стан прекриття. Прекриття визначається як виступання металу шва за межі “носка” шва або кореня шва. Цей стан виникає в кутових та стикових з'єднаннях і призводить до появи надрізів, які є небажаними через концентрацію напружень під навантаженням. Ця несучільність може бути спричинена неправильною технікою зварювання або недостатнім значенням сили струму.

Недостатній вигин зазвичай виникає в увігнутих профілях кутових та стикових з'єднань. Надмірна увігнутість зменшує товщину вигину, що значно знижує міцність зварного шва. Цей стан зазвичай спричинений надмірною величиною зварювального струму або довжиною дуги.

Надмірна опуклість може призвести до ефекту надрізу в зварній зоні та, як наслідок, до концентрації напружень під навантаженням. З цієї причини деякі норми та стандарти визначають максимально допустиму опуклість

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

профілю шва. Цей стан зазвичай викликають недостатня величина сили струму або неправильна техніка зварювання зазвичай викликають цей стан.

2.3.3 Ультразвуковий метод контролю

Європейський стандарт EN 1714 визначає метод ультразвукового контролю (УК), ефективним для контролю якості зварних швів. Цей метод є досить ефективним для забезпечення відповідності зварювальних процесів суворим вимогам якості та безпеки, які є критично важливими в різних промислових секторах.

Ультразвуковий контроль використовує високочастотні звукові хвилі для виявлення дефектів у зварному з'єднанні. Метод базується на принципі імпульсно-луно-ультразвукового дослідження, коли зонд випромінює ультразвукову хвилю в матеріал, і будь-яке відбиття або зміна луни свідчить про дефект. Цей метод забезпечує можливість неруйнівного контролю (НДК), які є важливими для оцінки цілісності зварних з'єднань без порушення структури.

Стандарт EN 1714 окреслює кілька ключових аспектів, включаючи вибір зондів, застосування зв'язуючих агентів та інтерпретацію результатів випробувань на основі заданих критеріїв прийнятності.

Стандарт охоплює як стикові, так і напускових зварні шви, забезпечуючи ефективну перевірку широкого спектру конфігурацій з'єднань. Він також включає положення для різних матеріалів, таких як сталь, алюміній та нержавіюча сталь, що робить його універсальним у різних промислових застосуваннях.

Для точного ультразвукового контролю важлива належна підготовка зразка. Це включає очищення поверхні для видалення бруду, олії або інших забруднень, які можуть вплинути на результати випробувань. Зварний з'єднання повинно бути вільним від будь-яких зовнішніх впливів, таких як задирки або нерівні поверхні. Кут і фокус зонда є критичними параметрами; їх

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідно встановити відповідно до товщини матеріалу та типу підозрілого дефекту.

Процес випробування починається з нанесення сполучних агентів між зондом і поверхнею, що перевіряється. Це забезпечує ефективну передачу звукових хвиль через матеріал. Після встановлення зонда він випромінює ультразвуковий імпульс у зварний з'єднання. Відбиті ехо-сигнали фіксуються приймачем і відображаються на екрані для аналізу. Будь-які виявлені аномалії можна класифікувати на основі їх розташування, розміру, форми та орієнтації.

Інтерпретація результатів відповідає суворим рекомендаціям, викладеним у стандарті EN 1714. Дефекти, що перевищують задані межі, класифікуються як невідповідні та потребують коригувальних заходів, таких як переробка або ремонт. Стандарт надає детальні критерії прийнятності для різних типів з'єднань та матеріалів, забезпечуючи узгодженість та надійність у різних галузях промисловості.

Ультразвуковий контроль особливо корисний у середовищах, де необхідно гарантувати структурну цілісність, наприклад, в аерокосмічних компонентах або посудинах під тиском. Використовуючи цей метод, виробники можуть гарантувати, що їхня продукція відповідає найвищим стандартам якості без шкоди для ефективності виробництва.

Підсумовуючи, ультразвуковий контроль зварних з'єднань за стандартом EN 1714 відіграє життєво важливу роль у забезпеченні безпеки та надійності в різних промислових секторах. Його здатність забезпечувати точні, неруйнівні оцінки робить його незамінним інструментом для команд з контролю якості та інженерів, відповідальних за забезпечення цілісності продукції.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проектування зварювальної дільниці

Дільниця для зварювання це відособлений підрозділ підприємства де відбувається комплекс робіт з виконання комплексу робіт пов'язаних з виробництвом зварних конструкцій, обладнаний для цього необхідним устаткуванням.

Ефективність функціонування цієї дільниці напряму залежить від планування та розміщення обладнання, допоміжних пристроїв та напрямку виробничих потоків.

Планування дільниці повинно забезпечити найкращі умови для повноцінного функціонування зварювального виробництва - високий рівень автоматизації зварювальних процесів, їхню ефективність, а також максимальні економічні показники зварювального виробництва.

Зварювальне виробництво побудовано таким чином, що найбільш трудомісткі операції припадають на заготівельні, підготовчі та складальні. Цим операціям в роботі приділено багато уваги.

Так для вирівнювання поверхонь листів та заготовок ми використовуємо листопрямильну машину Tok Makina TOD-2000 (рис. 2.6). Установка розроблена для вирівнювання листового металу. Вона має здатність обробляти листові заготовки до ідеальної площини, а також проявляє швидку адаптацію до листів різної товщини.

Для різання листів та отримання заготовок необхідних розмірів, в роботі застосовано верстат для різання ACCURL CPL- 1530 (рис.2.7). Високоякісний плазмовий різальний верстат марки ACCURL® забезпечує високу продуктивність. Завдяки найкращому в своєму класі руху, уніфікованій

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

конструкції та компактним розмірам CPL- 1530 забезпечує швидкість та продуктивність у цехах будь-якого розміру.

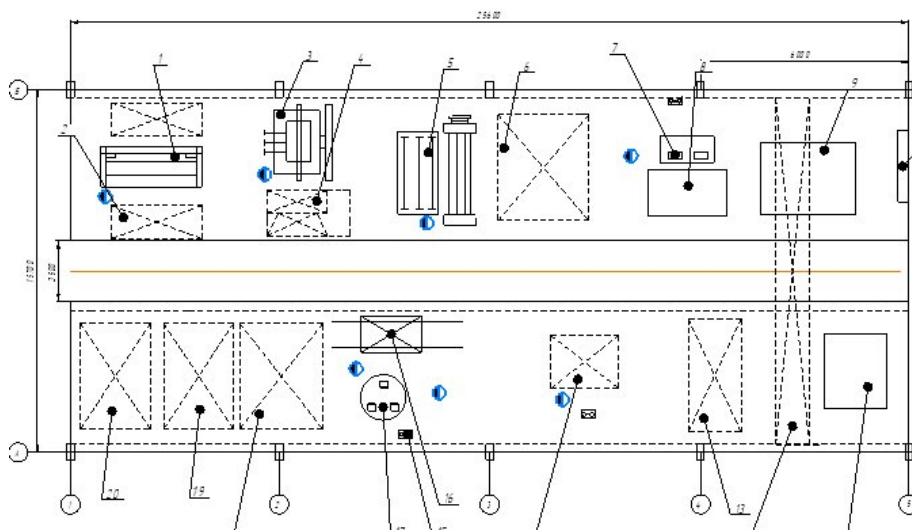
Для вальцювання заготовок під обичайки, що використовуються для виробництва формувальної колони використали вальці тривалкові марки PRMX1050M (рис.2.9). Верстат відрізняється простою та надійною конструкцією, що дозволяє його ефективно використовувати у виробничому процесі.

Виходячи з наведеного матеріалу можна зробити висновок, що прийняті рішення дозволяють вирішити проблему використання ручної праці при виконанні підготовчих операцій та в повній мірі провести їхню механізацію та автоматизацію.

Для проведення складально- зварювальних робіт , які є єдиним комплексом, розроблено зварювальний стенд, який включає зварювальну колону Automa SMB 2x2 (рис.2.3), роликові обертачі HGK-1000S (рис.2.4) та зварювальний позиціонер ВУ-600 (рис. 2.5).

Підібраний комплект обладнання дозволяє виконувати поздовжні та кільцеві шви при виготовленні блоків формувальної колони, а також приварювати необхідні патрубки. Всі складально-зварювальні роботи механізовано та автоматизовано.

Схема планування складально-зварювальної дільниці для виготовлення формувальної колони показана на рисунку 3.1.



					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Рисунок 3.1 – Схема планування збирально-зварювальної дільниці

Розміщення агрегатів, зварювальних установок та металооброблювального обладнання проведено у відповідності до розроблювального технологічного процесу.

3.3 Конструювання формувальної колоди за допомогою програми Solidworks

Для збільшення рівня технологічності ми виконали проектування конструкції формувальної колоди у програмі Solidworks. Модель формувальної колоди представлена на рисунку 3.2.

Формувочна колода складається з окремих блоків, розміщених послідовно. Продуктивність колоди в умовах підприємства визначається кількістю встановлених блоків у залежності від виробничих умов. Функціонально формувальна колода призначена для отримання заданої зв'язаної форми сирної маси виконати та одночасно за цього відведення надлишкової вологи.

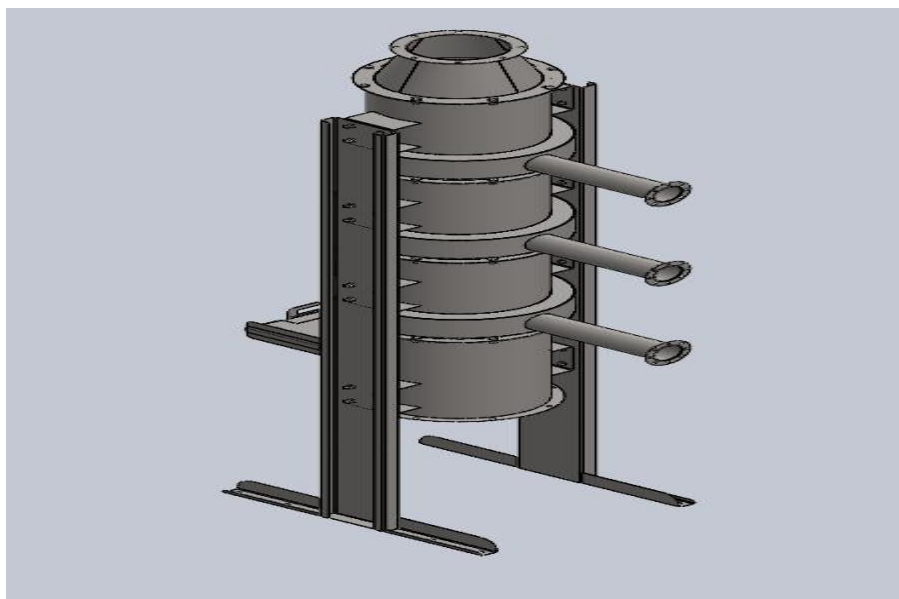
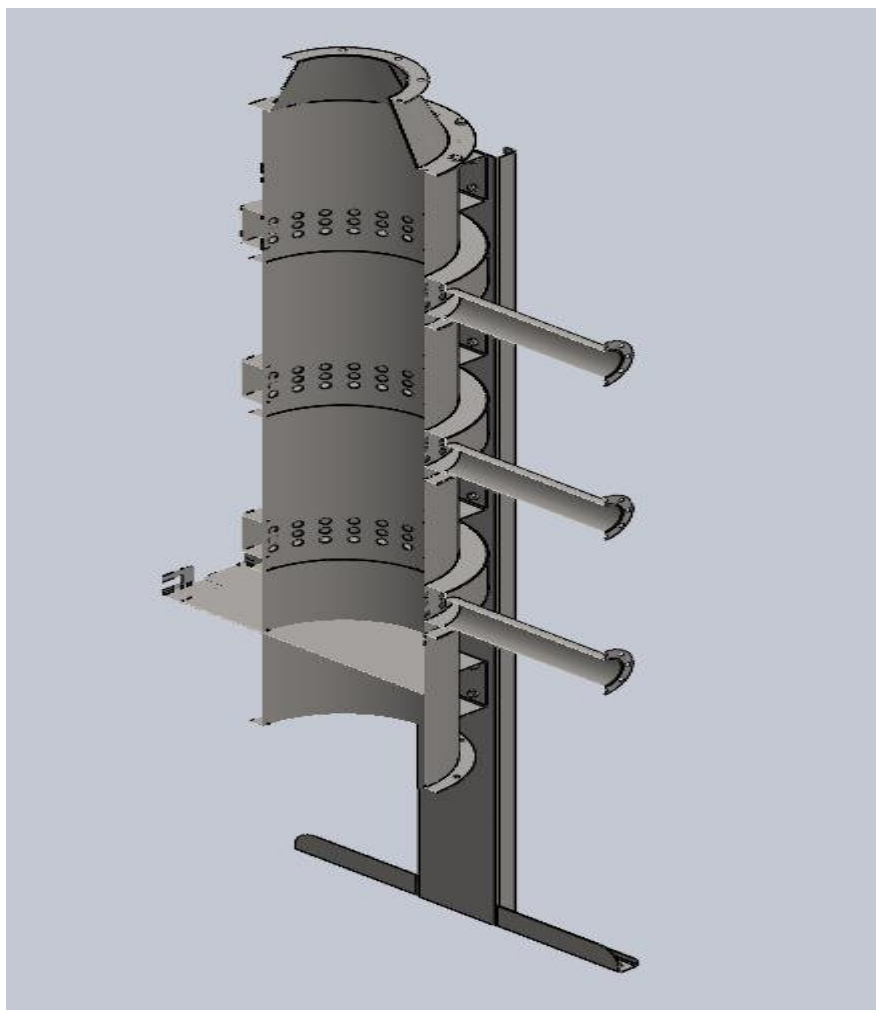


Рисунок 3.2 – Модель формувальної колони

Розроблена модель колони дозволяє повністю вирішити поставлені завдання і повністю механізувати і автоматизувати виробничий процес формування сирної маси. За допомогою програми Solidworks нам вдалося поєднати у конструкції формувальної колони багатофункціональність, оптимальні геометричні розміри, а також максимальну продуктивність.

Прийняті під час виконання проектних робіт та розроблення технологічного процесу рішення дозволяють виготовити промисловий варіант установки, на основі повної механізації та автоматизації виконання складальних і зварювальних робіт.

Оксанометрія формувальної колони показана на рисунку 3.3



					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпек та шкідливих чинників виробничого середовища

Зварювальна галузь, безсумнівно, може створювати ризики для безпеки працівників. Зварювальні процеси необхідні для сучасного суспільства, але робота, що виконується, може бути небезпечною, коли справа доходить до критичного моменту. Тому ефективна основа режиму безпеки є ключовою, особливо під час роботи з нержавіючою сталлю. Нержавіюча сталь є популярним металом серед зварювальників завдяки своїй універсальності та високій міцності, але при використанні цього матеріалу виникає багато небезпек.

Контроль ризиків у зварювальному середовищі передбачає пріоритет безпеки, щоб уникнути захворювань або травм. Навіть найдосвідченіші зварювальники можуть не вжити належних заходів проти небезпек роботи.

Носіння засобів індивідуального захисту посідає перше місце щодо безпеки під час зварювання нержавіючої сталі. Зварювальна дуга, безперечно, гаряча, і під час роботи можуть вилітати іскри.

Зварювання для своєї функціональності у більшості випадків потребує високої величини сили струму. Цей підвищений струм створює різні довжини хвиль ультрафіолетового випромінювання, що може призвести до пошкодження незахищеної шкіри, очей або інших частин тіла під час роботи. Завжди потрібно одягати відповідний одяг та засоби захисту очей і голови.

Окрім захисту від летючих частинок або невидимих ультрафіолетових променів, захист від ураження електричним струмом є ключовим для будь-якого зварювального процесу.

Ураження електричним струмом – один із найсерйозніших та найбезпосередніших ризиків, з якими стикається зварювальник. Ураження

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

електричним струмом може призвести до серйозних травм або смерті, або від самого удару, або від падіння, спричиненого реакцією на удар.

Ураження електричним струмом відбувається, коли зварювальники торкаються двох металевих предметів, між якими є напруга, тим самим потрапляючи в електричне коло.

Наприклад, якщо працівник тримає оголений дріт в одній руці, а другий – в іншій, електричний струм проходить через цей дріт і через зварювальника, спричиняючи ураження електричним струмом. Чим вища напруга, тим вища сила струму i , отже, тим вищий ризик того, що ураження електричним струмом призведе до травми або смерті.

Ризик виникає через електричні кола під напругою, які створюють розплавлену металеву ванну. Щоб захиститися від ураження електричним струмом під час роботи зі сталлю, потрібно уникати роботи у вологих умовах та потрібно одягати ізольоване захисне спорядження навколо металевих конструкцій у робочій зоні.

Різні умови зварювання пов'язані з різними ризиками. Як правило, під час зварювання рівень шуму може бути високим і тривалим. Без засобів індивідуального захисту зварювальники можуть зазнати ушкоджень. Для довгострокового захисту слуху потрібно використовувати вогнестійкі затички для вух або навушники.

Під час роботи з нержавіючою сталлю вкрай важливо використовувати ефективні витяжні системи в робочому середовищі. Потрібно уникати будь-яких замкнутих просторів без належної вентиляції та бути обізнаному з методами зменшення впливу парів.

Випари, що утворюються під час зварювання нержавіючої сталі, особливо небезпечні, оскільки вони містять сполуки хрому та нікелю. Крім того, зварювальні випари можуть довго залишатися в повітрі та легко потрапляти до зварювальника та впливати на нього. Необхідно зберігати витяжки, вакуумні насадки та пістолети для витяжки поблизу заготовки, щоб змогти швидко розсіювати пари.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

ВИСНОВКИ

Розроблено вдосконалений технологічний процес виконання складально-зварювальних робіт при виготовленні формувальної колони, в основу якого поставлено мікроплазмовий спосіб зварювання. Для виконання технологічного процесу було вибрано технологічне та механічне обладнання, яке дозволяє механізувати та атоматизувати виробничі операції. Впровадження розробленої технології дасть можливість забезпечити високий рівень якості та надійності виконання складально-зварювальних робіт, отримувати готову продукцію з високими технічними характеристиками та економічними показниками.

					КРБ. 3Т - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шлапак Л. С., Панчук М. В., Матвієнків О.М., Біщак Р.Т., Сем'яник І. М. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра за професійним спрямуванням «Зварювання». – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021– 60с.
2. Dariusz Golański, Tomasz Chmielewski, Beata Skowrońska, Damian Rochalski Advanced Applications of Microplasma Welding (2018) Biuletyn instytutu spawalnictwa. No. 5. pp 53-63/
3. Regev, M. (2026). Metallurgical and mechanical properties of friction stir-welded AISI 316L stainless steel. European Journal of Materials, 6(1). <https://doi.org/10.1080/26889277.2026.2657066>
4. Optimize 316L Stainless Steel Piping for Food Safety" . <https://chnmfy.com/optimize-316l-stainless-steel-piping-food-safety/>
5. Mokhtari, M.; Pommier, P.; Balcaen, Y.; Alexis, J. Laser Welding of AISI 316L Stainless Steel Produced by Additive Manufacturing or by Conventional Processes. J. Manuf. Mater. Process. 2021, 5, 136. <https://doi.org/10.3390/jmmp5040136>
6. Shevchenko, V.; Korzhyk, V.; Gao, S.; Khaskin, V.; Cai, D.; Luo, Z.; Illiashenko, Y.; Kvasnytskyi, V.; Perepichay, A. Formation of Stainless Steel Welded Joints Produced with the Application of Laser and Plasma Energy Sources. Metals 2024, 14, 706.
7. Stelling, K.; Schobbert, H.; Kannengiesser, T.; Boellinghaus, T. Vertical-up and -down Laser Plasma Powder Hybrid Welding of a High Nitrogen Austenitic Stainless Steel. Weld. World 2013, 49, 45–49

					КРБ. 3Т - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

8. Panchuk M., Matviienkiv O., Shlapak, L., Szkodo M., Kiełczynski W., Panchuk A. Quality increase for single-welded joints of thin-walled structures by means of simulation modelling. *Rev. Metal.* 2019. Vol. 55(4): P.158.
9. Автоматизація зварювальних процесів : конспект лекцій / М. В. Панчук, І. М. Сем'яник. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. - 118 с
10. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов, К.О. Зворикін. – К. КВІЦ, 2012. – 896с.
11. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч.Посібник. – К.: Арістей, 2005. –268с
12. Панчук М.В. Зварювання плавленням : конспект лекцій / М. В. Панчук. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. - 67 с.
13. ДСТУ ISO 4063:2014. Зварювання та споріднені процеси. Перелік і умовні позначення процесів.
14. Стандарт ISO DIS 9001:2015.
15. Emmelmann, C.; Kirchhoff, M.; Petri, N. Development of Plasma-Laser-Hybrid Welding Process. *Phys. Procedia* 2011, 12, 194–200.

					КРБ. ЗТ - 13. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		