

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та будівництва "ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Стефанишин Роман Ігорович

(підпис)

Група ЗТ-22-1

**Розроблення технології виконання складальних та зварювальних робіт
при виготовленні установки для газифікації**

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

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

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

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. Андрусяк
(ініціали, прізвище)

(підпис)

" ____ " _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню кваліфікаційну роботу бакалавра
студента Стефанишина Романа Ігоровича

1. Тема роботи Розроблення технології виконання складальних і зварювальних робіт при виготовленні установки для газифікації.

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 установки для газифікації, креслення виробу, умови експлуатації установки для газифікації.

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. 2.2.3 Процес нанесення захисного покриття. 2.2.4 Виконання зварних швів після з нанесенням захисним покриттям 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 установки для газифікації. 2. Схема технологічного процесу виготовлення корпусу установки для газифікації. 3. Стенд для збирання для зварювання корпусу установки. 4. Збирання тазварювання кришки. 5. План дільниці цеху. 6. Приварювання патрубків

6. Дата видачі завдання _____

Керівник _____ Панчук М.В.
Завдання прийняв до виконання _____ Стефанишин Р.І.

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 _____ Стефанишин Р.І.

Керівник _____ Панчук М.В.

РЕФЕРАТ

Робота бакалавра складається з 6 креслень А 1, та 67 сторінок пояснювальної записки, 16 рисунків, 14 таблиць, посилань 15 на використану літературу.

Об'єктом роботи є: технологія виконання складально-зварювальних робіт при виготовленні корпусу установки для газифікації.

Мета роботи: удосконалення технології складальних та зварювальних робіт при виготовленні корпусу установки для газифікації .

Для виготовлення конструкції, що працює в умовах високих температур та агресивного середовища замість дороговартісної жароміцної нержавіючої сталі застосовано звичайну вуглецеву сталь з нанесеним на її поверхню термобар'єрним покриттям. Розроблено вдосконалену технологію виконання складальних та зварювальних робіт при виготовленні корпусу установки для газифікації в основу якого поставлено роботизований спосіб зварювання в захисних газах. Для автоматизації та роботизації виробничих процесів підібрано відповідне обладнання, скомплектоване на базі промислового робота Cybertech KR 12 R1810-2 від KUKA.

Впровадження розробленої технології забезпечить високий рівень якості та надійності виконання складально-зварювальних робіт, та дозволить отримувати готову продукцію високої якості та надійності.

Ключові слова: Промисловий робот, процес зварювання, технологічний процес, захисні покриття

ABSTRACT

The bachelor's work consists of 6 presentation slides, an explanatory note of 67 sheets, 16 figures, 14 tables and 15 references to the literature used.

The subject of this thesis is: the technology for carrying out assembly and welding work in the manufacture of the housing for a gasification unit.

To manufacture a structure designed to operate in high-temperature and corrosive environments, standard carbon steel with a thermal barrier coating applied to its surface has been used instead of expensive heat-resistant stainless steel. An improved technology for assembly and welding operations has been developed for the manufacture of the gasification plant housing, based on a robotic gas-shielded welding process. Appropriate equipment has been selected for the automation and robotisation of production processes, based on the Cybertech KR 12 R1810-2 industrial robot from KUKA.

The implementation of the developed technology will ensure a high level of quality and reliability in the execution of assembly and welding works, and will enable the production of finished products of high quality and reliability

Keywords: Industrial robot, welding process, technological process, protective coatings

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	13
2. Технологічний розділ	17
2.1 Вибір способу зварювання і зварювального обладнання	17
2.1.1 Обґрунтування вибору способу зварювання	17
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів	20
2.1.3 Обґрунтування способу нанесення захисного покриття	23
2.1.4 Визначення та розрахунок режимів зварювання	26
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального обладнання	28
2.2 Розроблення технологічного процесу	40
2.2.1 Основні операції технологічного процесу	40
2.2.2 Вхідний контроль	41
2.2.3 Заготівельні операції.	42
2.2.4 Розроблення складальних операцій	46
2.2.5 Процес нанесення захисного покриття	47
2.2.6 Виконання зварних робіт.	48
2.2.7 Вибір заходів боротьби із зварювальними напруженнями	49
2.3 Технічний контроль та виправлення браку	51
2.3.1 Дефекти, що виникають при зварюванні конструкції	51

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Стефанишин Р				Розроблення технології виконання складальних та зварювальних робіт при виготовленні установки для газифікації	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Панчук М.В.						5	67
Рецензент	Матвієнків О					ІФНТУНГ ЗТ- 22-1		
Н.к. контроль	Матвієнків О							
Затверд.	Андрусак А.В							

2.3.2 Візуальний метод контролю	53
2.3.3 Магнітографічний метод контролю	55
3. Конструкторський розділ	58
3.1 Конструювання корпусу установки для газифікації у програмі Solidworks	58
4. Охорона праці	63
4.1 Аналіз небезпек та шкідливих чинників виробничого середовища	63
Висновки	65
Перелік використаної літератури	66

					КБР. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Кожен виробничий сектор залежить від поєднання різних матеріалів для виробництва більших компонентів, необхідних для надання різноманітних послуг.

З'єднання металів є важливою вимогою в сучасних виробничих галузях. Тому процес з'єднання має бути безпечним, високоякісним та економічно ефективним відповідно до потреб виробничої галузі.

Методи, що використовуються для з'єднання матеріалів, включають паяння, клепок, кріплення, зварювання та інші методи. Найпоширенішим методом для цієї мети є зварювання.

Процес зварювання відомий як процес з'єднання металів або сплавів за допомогою тепла або тиску, або обох цих методів. Результатом є нероз'ємне з'єднання, яке неможливо розібрати без пошкодження двох з'єднаних деталей.

На відміну від інших методів з'єднання, спрямованих на створення єдиного компонента, процеси зварювання використовуються спеціально для об'єднання різних компонентів для досягнення бажаної складної конфігурації.

Зварювання, зокрема, відрізняється своєю здатністю утворювати міцні, довговічні та безшовні з'єднання, які можуть витримувати інтенсивний тиск та умови навколишнього середовища.

Це робить зварювання важливим у таких секторах, як будівництво, автомобільна, аерокосмічна та суднобудівна промисловість, де міцність та надійність з'єднань мають вирішальне значення.

Процес зварювання відомий як процес з'єднання металів або сплавів за допомогою тепла або тиску, або обох цих методів.

Методи зварювання можна класифікувати як: твердотільне зварювання, зварювання плавленням. Дві металеві деталі плавляться для створення зварного з'єднання при зварюванні плавленням з додаванням або без

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

додавання присадного металу. Деякі приклади зварювання плавленням: електродугове зварювання, зварювання оловом, газове зварювання тощо.

При твердотільному зварюванні з'єднання здійснюється в результаті використання лише тиску або разом тепла та тиску. Температура в цьому випадку нижча за температуру плавлення зварних металів. Деякі приклади твердотільного зварювання: електроконтактне зварювання, зварювання тертям, зварювання тертям з перемішуванням, вибухове зварювання тощо.

Технологічні установки для проведення процесу газифікації на даний час в промислових обсягах в Україні не виготовляються. У більшості випадків для газифікації біомаси та іншої сировини використовується пристосоване для цього обладнання, що не приносить бажаного виробничого результату. Тому розроблення спеціальної установки для переробки відновлювальної сировини на синтез-газ є досить актуальним завданням.

Варто також зазначити, що агрегати такого типу працюють в умовах дії агресивних середовищ, а також великих механічних і теплових навантажень, що викликає досить швидкий знос робочих поверхонь. Тому для попередження наведених негативних явищ необхідно застосовувати зносостійкі покриття.

За певних умов структурного навантаження збільшення міцності та жорсткості матеріалів сприяє зменшенню розмірів конструкції, а отже, і маси. Так само такі матеріали у вигляді різноманітних покриттів виконують захисні функції.

Основним питаннями при виготовленні апаратів для газифікації є якісне виконання з'єднань окремих елементів, зважаючи на складні умови їхньої роботи. Найкращим та найнадійнішим видом з'єднання деталей на даний час є зварювання.

Для виконання поставлених цілей, необхідно підібрати необхідні матеріали для виготовлення установки, ефективні способи зварювання, технологічне та механічне обладнання, а також розробити технологію виконання складальних та зварювальних робіт.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика зварного виробу і оцінка його технологічності

У бакалаврській роботі розробляється технологічний процес виконання складально-зварювальних робіт при виробництві корпусу газифікатора. Корпус є важливим складовим елементом установки для газифікації (рис 1.1.)

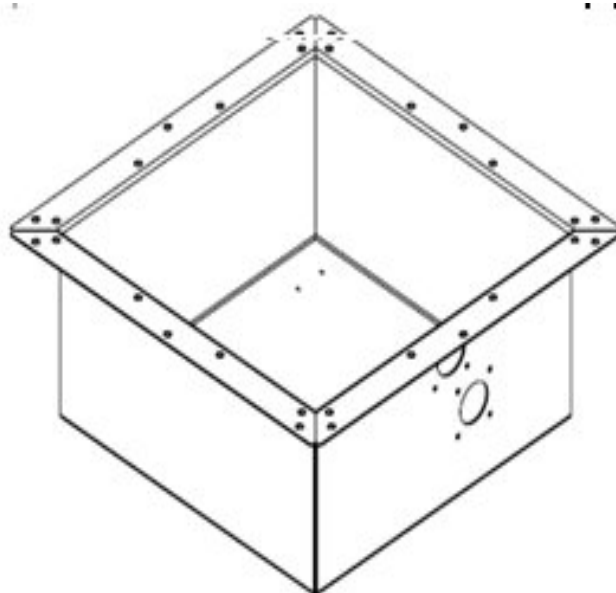


Рисунок 1.1– Установка для газифікації

Установка представлена на рисунку 1.1 використовується для проведення процесу газифікації біомаси та з неї отримання синтез-газу.

Спочатку сиру біомасу нагрівають до температури “м’якого піролізу” - 300°C та отримують піролізний газ і деревне вугілля. Деревне вугілля використовується у якості палив для різноманітних використань, а піролізний газ піддається подальшій переробці до продуктів вищої енергетичної цінності.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Одним із напрямків переробки, як піролізного газу так і деревного вугілля є їхня газифікація. Газифікація передбачає хімічні перетворення біомаси при високих температурах та отримання за цього синтез-газу.

Синтез-газ являє собою суміш до якої входять – оксид вуглецю, двоокис вуглецю та водень. Теплотворна здатність синтез-газу в основному визначається вмістом водню, оскільки водень має найвищу енергетичну цінність. Тому технології, що використовуються для газифікації відновлювальної сировини націлені на максимальний вихід водню у готовому продукті, відсутність в ньому вуглекислого газу, оскільки цей газ не несе енергетичну цінність та мінімальну кількість оксиду вуглецю.

Для проведення газифікації використовуються технологічні установки, які називаються газифікаторами.

Особливістю роботи газифікаторів є те, що вони працюють в умовах високих температурах – 700...1000⁰С. Для виготовлення газифікаторів використовуються жароміцні та термічно-стабільні нержавіючі сталі наприклад, AISI 310S або 316Ti, здатні працювати при вказаних температурах та витримувати вплив агресивного хімічного середовища.

Разом з тим жароміцні нержавіючі сталі є високовартісними продуктами і їхнє використання значно здорожчує вартість обладнання.

Одним із напрямків зменшення вартості установок для газифікації біомаси є застосування для їх виробництва звичайних вуглецевих сталей з нанесеними на їхню поверхню термобар'єрними покриттями. На нашу думку такий підхід є досить перспективним.

1.2 Характеристика матеріалу зварної конструкції та його зварюваність

Важливим чинником для проектування корпусу установки для газифікації є підбір матеріалу. Враховуючи необхідність нанесення захисних покриттів на поверхню виробу, особливо дифузійних, для виробництва

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

обладнання перевагу можна віддати якісним вуглецевим сталям з незначним вмістом вуглецю.

Відомо, що вуглець перешкоджає глибокому проникненню частинок захисного покриття в основний матеріал, тому застосування високовуглецевих сталей для цих цілей є неефективним.

Враховуючи умови експлуатації конструкції та економічні чинники для виготовлення корпусу установки вибираємо конструкційну вуглецеву сталь виберемо AISI 1020 (аналог сталь 20).

У багатьох інженерних застосуваннях вуглецеві сталі, до яких відноситься AISI 1020, використовуються як інженерні матеріали для проектування різних деталей.

Звичайна вуглецева сталь - це сплав, що складається з заліза як основного металу та вуглецю, що не перевищує 1,5% за вагою, а також деяких інших елементів, таких як марганець, мідь, кремній, сірка та фосфор.

Низьковуглецеві сталі - це категорія звичайних вуглецевих сталей, яка містить до 0,3% вуглецю та характеризується високою пластичністю та середньою міцністю. Маючи такі бажані механічні властивості, низьковуглецеві сталі використовуються в багатьох виробничих процесах, таких як волочіння, прокатка, а також зварювання

Термоміцні покриття з оксиду алюмінію Al_2O_3 найкраще наносяться на низьковуглецеві сталі. Одною з таких є сталь AISI 1020. В даному випадку забезпечується найкраща адгезія та найменший ризик утворення тріщин завдяки високій пластичності сталі.

Хімічний склад сталі AISI 1020 наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталі AISI 1020, %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,18 - 0,23	0,15 - 0,35	0,3 - 0,6	до 0,25	до 0,05	до 0,04	до 0,25	до 0,25

Механічні властивості сталі AISI 1020 наведені в таблиці 1.2.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				11

Важливою властивістю матеріалу, вибраного для виробництва конструкції є його зварюваність.

Зварюваність – це здатність матеріалу до зварювання. Вона розглядається як показник можливості зварних матеріалів зберігати ті ж механічні властивості після процесів зварювання порівняно з основним металом. Низьковуглецева сталь має добру зварюваність. Зварюваність сталей класифікують як фізичну і технологічну.

Технологічна зварюваність характеризує здатність матеріалу до зварювання, коли ці матеріали при заданих умовах утворюють зварні шви, що відповідають нормативним документам.

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталі AISI 1020, %

Марка сталі	Механічні властивості		
	Тимчасовий опір розриву σ_B , МПа	Межа текучості σ_T , МПа	Відносне видовження δ_B , % (не менше)
AISI 1020	600	355	16

Фізична зварюваність – це здатність матеріалів до утворення зварних швів, які не регламентуються ніякими нормативними документами.

Для встановлення класу зварюваності сталі AISI 1020 проведемо розрахунки.

Зварюваність сталі визначається за величиною еквіваленту вуглецю у відповідності до формули 1.1:

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

Підставивши у формулу 1.1 масові долі хімічних елементів отримаємо значення вуглецевого еквіваленту:

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_e = 0,18 + \frac{0,3}{20} + \frac{0,25}{15} + \frac{0,25}{10} = 0,23$$

За результатами проведених розрахунків можна зробити висновок, що сталь AISI 1020 відноситься до сталей, які мають добру зварюваність. Такі матеріали можна зварювати без попереднього підігрівання та різноманітних обмежень.

Таким чином можна вважати, що вуглецева сталь 1020 має високу тріщинностійкість. Ця характеристика запобігає утворенню тріщини та інші дефекти в процесі зварювання та після його завершення. Тому ми можемо використовувати сталь 1020 для виробництва корпусу установки для газифікації.

1.3 Аналіз чинного технологічного процесу

На даний час для зварювання елементів установки для газифікації використовується ручне дугове зварювання (SMAW).

Дугове зварювання у захисному шарі металу - це процес, під час якого відбувається з'єднання металів шляхом їхнього розплавлення та перемішування. Розплавлення відбувається за допомогою теплової дії електричної дуги, яка виникає між стрижнеподібним покритим електродом і деталлю.

Схему збудження дуги під час процесу ручного дугового зварювання показано на рисунку 1.3. Для утворення електричної дуги, ланцюг між електродом і деталлю має бути розірваний. При ручному дуговому зварюванні металу це відбувається шляхом використання контактного запалювання.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 Схема збудження дуги

У процесі зварювання використовується плавкий електрод, тримач електрода, джерело живлення (змінного або постійного струму) та зварювальний апарат. Електрод має захисне покриття, яке утворює газ, і шлак для захисту зварювальної ванни від навколишнього середовища.

Технологічні параметри зварювання розраховуються та коректуються в процесі виконання для отримання високоякісного зварного шва з бажаними властивостями, придатними для конкретної області застосування.

Ці параметри включають тип електрода, величину сили струму, довжину дуги, швидкість руху та кут нахилу електрода. Правильний вибір та контроль цих параметрів впливають на міцність, зовнішній вигляд та цілісність зварного шва, забезпечуючи його відповідність необхідним стандартам для заданого виробу.

Зварювання електродом має численні переваги у порівнянні з процесами MIG/MAG та TIG. Ручне дугове зварювання металевим електродом дозволяє виконувати будь-який тип зварного шва всіх просторових положеннях. В тому числі в різноманітних незручних положеннях або положеннях над головою, вертикальне або вертикальне зварювання вниз.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Крім того, в даному випадку проведення процесу не залежать від забезпечення захисними газами та може без проблем відбуватися на відкритому повітрі, навіть за несприятливих погодних умов, таких як вітер або дощ (при використанні тимчасових споруд).

На даний час ручне дугове зварювання це один з найбільш широко використовуваних процесів зварювання завдяки своїй універсальності та простоті.

Для виконання ручного дугового зварювання використовується недороге, легке у транспортуванні портативне обладнання, що може бути використане у різних умовах в тому числі для виконання польових робіт. Обладнання портативне, недороге та легке в транспортуванні, що робить його придатним для різних середовищ, включаючи польові роботи.

За даними Американського зварювального товариства, ручне дугове зварювання є досить поширеним у таких сферах, як будівництво, спорудження трубопроводів, виробництво конструкцій машин, суднобудуванні, виконанні ремонтних робіт.

Разом з описаними вище перевагами технологічний процес виготовлення корпусу установки для газифікації, в основі якого поставлено спосіб ручного дугового зварювання має ряд суттєвих недоліків. До недоліків відносяться:

- недостатня точність виконання підготовчих робіт;
- протягом всього процесу ручне виконання всіх операцій технологічних операцій;
- постійна заміна відпрацьованих електродів;
- недостатня ефективність процесу зварювання;
- мала швидкість зварювання;
- обмеження на малу товщину шару за один прохід;
- вплив людського чинника;

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- негативний вплив процесу на здоров'я зварника;

Провівши аналіз технології виробництва корпусу установки для газифікації на основі ручного дугового зварювання можна зробити висновки. Використовувана технологія разом з наявними позитивними чинниками відрізняється – недостатнім для сучасного виробництва рівнем виконання складальних та зварювальних робіт. Тому розроблення вдосконаленої технології на даний час є актуальним завданням.

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способу зварювання та зварювального обладнання

2.1.1 Обґрунтування вибору способу зварювання

На відміну від інших методів з'єднання, спрямованих на створення єдиного компонента, процеси зварювання використовуються спеціально для об'єднання різних компонентів для досягнення бажаної складної конфігурації.

Хоча існує багато різних методів зварювання, що використовуються для з'єднання сталей, найпоширенішими з них є електродугові методи: ручне дугове зварювання, MIG/MAG та TIG в захисних газах та дугове зварювання під шаром флюсу.

В ідеалі зварний шов повинен забезпечувати безперервність між деталями, що з'єднуються, таким чином, щоб його не можна було відрізнити від основного металу, деталей, які з'єднуються. Однак досягти такої ідеальної ситуації на практиці неможливо. Тому при виконанні проектних робіт ставиться завдання отримати задовільний зварний шов, за допомогою вдало підібраного способу та відповідних параметрів зварювання.

Для зварювання конструкційної сталі AISI 1020 товщиною 3 мм у більшості випадків застосовують три основні методи: ручне дугове MMA, напіваавтоматичне MIG/MAG та аргонне TIG.

В таблиці 2.1 на основі загальних критеріїв проведено порівняльну характеристику найбільше використовуваних способів зварювання.

Як видно з таблиці 2.1 ручне дугове зварювання відрізняється простотою та універсальністю, можливістю виконання поточних та ремонтних робіт у польових умовах, а також мобільністю і низькою вартістю обладнання. Ручне

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

дугове зварювання не потребує захисного газу, що може бути логістичною перевагою на відкритому повітрі або у вітряних умовах.

Таблиця 2.1. Порівняльна характеристика процесів зварювання

№	Загальні критерії	Ручне дугове зварювання	MIG/MAG зварювання	TIG зварювання
1	Швидкість зварювання	Низька	Висока, присадний дріт подається автоматично	Низька
2	Якість зварного шва	Середня якість, багато шлаку	Якість висока, гарний вигляд шва	Якість найвища
3	Складність процесу	Процес простий у використанні	Процес середньої складності	Процес високої складності, зварник працює обома руками
4	Механічна обробка	Потрібна суттєва обробка зварного шва	Середньої складності	Ідеально рівний шов без бризок
5	Кваліфікація зварника	Висока	Середня	Максимальна кваліфікація зварника
6	Вартість обладнання	Низька	Середня	Висока

Однак, цей спосіб демонструє нижчу швидкість наплавлення порівняно зі способами зварюванням MIG/MAG та TIG, нищу якість отриманих зварних швів. Має вищу ймовірність утворення дефектів через необхідність видалення шлаку та потенціал для утворення пор, а також потребує значної механічної обробки зварних швів тощо.

Спосіб MIG/MAG може досягти вищої продуктивності завдяки своєму механізму безперервної подачі дроту, що дозволяє досягати вищих швидкостей зварювання та швидкості наплавлення. За цього зварні шви утворюються чистішими, оскільки для захисту зварювальної ванни від атмосферного забруднення використовується чистий газ, який не утворює шлаків.

Цей процес також є більш ефективним з точки зору підведення тепла, сприяє утворенню дрібнішої зернистої структури зварного металу та покращує механічні властивості металу шва.

Натомість, TIG-зварювання пропонує чудовий контроль над зварювальною ванною, створює високоякісні зварні шви, але в свою чергу повільнішим та вимагає більшої майстерності.

Провівши аналіз способів зварювання за загальними критеріями можна зробити висновок, що для виробництва корпусу установки для газифікації можна рекомендувати спосіб зварювання в захисних газах MAG (рис. 2.1) Цей спосіб можна застосовувати, як до механізованого так і до автоматичного зварювання.

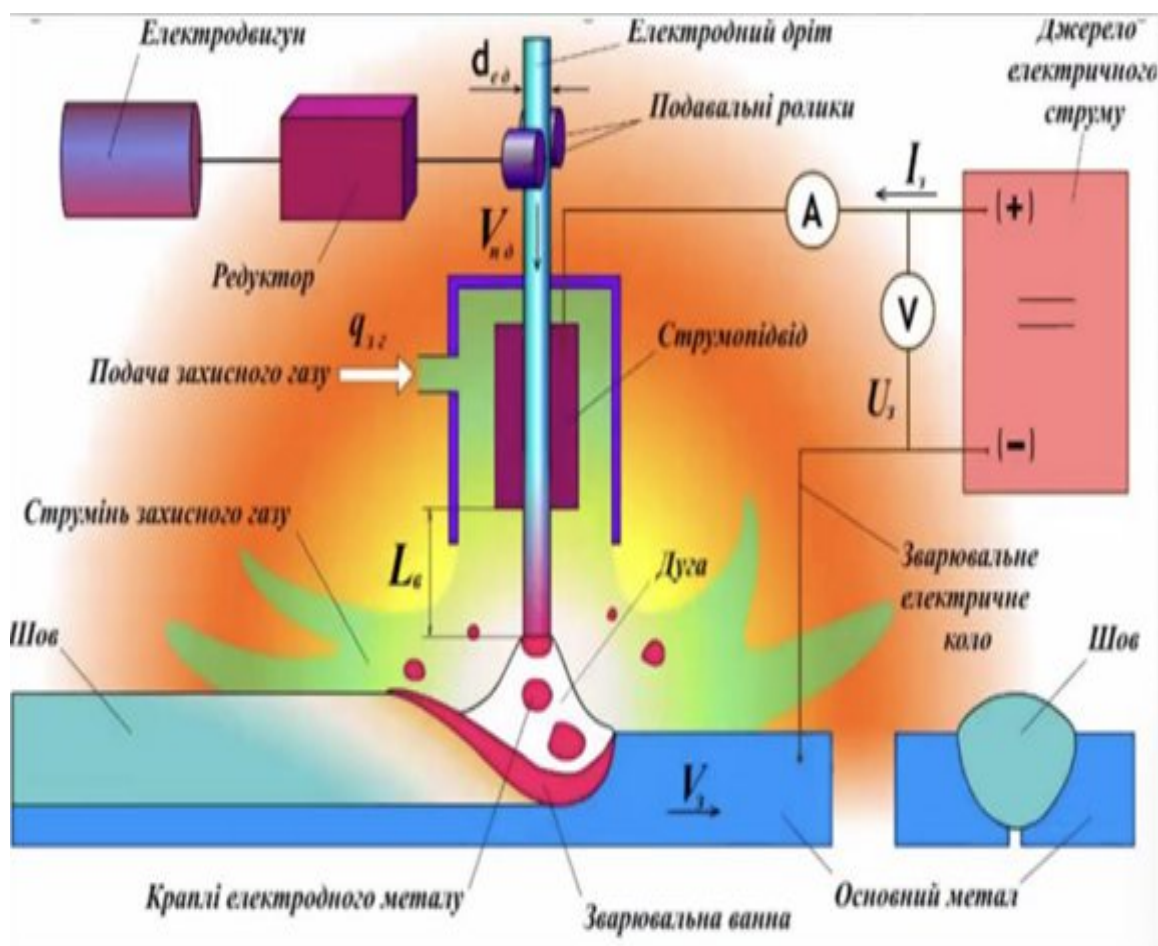


Рисунок 2.1 – Схема зварювання деталей в захисних газах

Процес газового дугового зварювання MAG знаходить широке застосування у зварюванні нержавіючої та вуглецевої сталі, пропонуючи чудову та стабільну якість, що є вирішальним для вимогливих застосувань

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів.

Вибір електродного дроту для зварювання сталі AISI 1020, перш за все, визначається способом зварювання. Найкращими варіантами для зварювання в захисних газах є електродний дріт ER70S-6 (рис.2.2)

Присадний дріт ER70S-6 призначений для механізованого та автоматичного MIG/MAG зварювання маловуглецевих та вуглецевих сталей широкого призначення в захисних газах – аргоні, вуглекислому газі та їхніх сумішах.

Під час проходження процесу зварювання електродний дріт забезпечує стабільне функціонування дуги, відмінне розплавлення металу, мале розбризкування. Використання обмідненого дроту зменшує втрати металу на розбризкування до 40%.

Використання обмідненого присадкового дроту ER70S-6 забезпечує отримання стабільних механічних властивостей зварного шва.

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.2. - Зварювальний дріт ER70S-6

Використовується для виконання зварювальних робіт у галузях машинобудування, кораблебудування та будівництва. Нанесене на поверхню дроту мідне покриття значно покращує провідність дроту за рахунок зменшення контактного опору, що допомагає підтримувати рівномірність дуги та підвищення якості зварних швів. Хімічний склад наплавленого металу представлено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Хімічний склад наплавленого металу (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0,06...0,14	0,80...1,15	1,40...1,85	max 0.025	max 0.025	0.50

Механічні властивості наплавленого металу представлено в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Механічні властивості наплавленого металу, %

Марка електродного дроту	Механічні властивості		
	Тимчасовий опір розриву σ_b , МПа	Межа текучості σ_t , МПа	Відносне видовження δ_b , % (не менше)
електродний дріт	500	420	22

Під час протікання процесу зварювання разом з електродним дротом через сопло зварювального апарату оточує подається захисний газ.

Газ, що виходить з сопла головним чином використовується для захисту розплавленої зварювальної ванни від навколишньої атмосфери. Елементи, що знаходяться в атмосфері (кисень, азот, водяна пара), при відсутності запобіжних заходів будуть взаємодіяти з розплавленим металом та утворювати різноманітні дефекти такі, як пористість, тріщини, посилене розбризкування металу зварного шва.

При проектуванні технологічного процесу потрібно розуміти, що крім різної вартості тип використовуваного захисного газу може впливати на профіль проплавлення, стабільність дуги, перенесення металу, якість зварювання та швидкість зварювання з різним ефектом. Неоптимальне поєднання захисного газу з типом зварювання може негативно вплинути на якість та продуктивність зварювання. Тому важливо вибір правильного виду захисного газу для проектного технологічного процесу є актуальним питанням.

Аргон, будучи інертним газом, не реагує з розплавленою зварювальною ванною. Це робить його бажаним захисним газом, витісняючи навколишнє повітря та «захищаючи» зварювальну ванну, особливо під час зварювання кольорових металів, таких як алюміній.

Аргон має нижчий потенціал іонізації порівняно з іншими захисними газами, що покращує стабільність дуги, тим самим усуваючи розбризкування зварювання та створюючи «чистіше» покриття зварного шва.

З іншого боку, нижчий потенціал іонізації вимагає меншої вхідної напруги. Це обмежує глибину проникнення та стає менш корисним для зварювання товстіших матеріалів.

Вуглекислий газ широко використовується як захисний газ завдяки своїй відносно низькій вартості та широкій доступності. На відміну від аргону, CO_2 є реакційноздатним газом, тобто як захисний газ він має сильний вплив на зварювальну ванну.

Вільний кисень, що вивільняється з CO_2 під час інтенсивного нагрівання дуги, реагує з іншими елементами, утворюючи оксидний шар, який називається шлаком, коли зварювальна ванна охолоджується.

Через вищий потенціал іонізації дуга, що утворюється, є менш стабільною, що призводить до розбризкування зварного шва. Зварювальний шлак та розбризкування погіршують естетику зварного шва та можуть потребувати його додаткового оброблення.

При роботі з вищою напругою дуги CO_2 забезпечує широкий та глибокий профіль проникнення, що робить його сприятливим для зварювання товстіших матеріалів.

Ще одним обмеженням, яке слід враховувати при використанні захисного газу CO_2 , є його нездатність створювати режим розпилення металу в процесі MIG/MAG, що є критично важливим для контролю зварювання в нестандартному положенні.

Суміші аргону та CO_2 з високим вмістом аргону поєднують переваги обох газів. Порівняно з чистим CO_2 , суміш з високим вмістом аргону (зазвичай 75% або більше) забезпечує добру стабільність дуги, покращену якість зварного шва та зменшення розбризкування. Порівняно з чистим аргонем, додавання CO_2 збільшує проплавлення зварного шва та текучість зварювальної ванни.

Переваги такої суміші захисних газів призводять до підвищення продуктивності, кращого контролю поза робочим положенням та візуально привабливішого зварного шва. Виходячи з наведених міркувань для розроблюваного технологічного процесу застосуємо суміш, яка складається з 80% аргону та 20% вуглекислого газу.

Для напилення поверхні сталі використаємо алюмінієвий порошок ПА2.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Алюмінієвий порошок це продукт сріблястого кольору, що має металевий блиск та не має посторонніх включень. Порошок не розсипається від дотику. Порошок отримують за допомогою пульверізації розплавленого алюмінію, а потім розсіюють на фракції.

2.1.3 Обґрунтування способу нанесення захисного покриття

Одним із перспективних способів нанесення захисних покриттів на робочі поверхні є газополуменеве напилення, особливо, якщо його виконувати в холодному стані.

Газополум'яне напилення являє собою процес нанесення покриттів під час якого частинки матеріалу нагріваються у потоці газів та подаються на поверхню деталі з швидкістю нищою у порівнянні з швидкістю звуку.

Термічне напилення є важливою технологією в галузі інженерії поверхонь. Спочатку напилений матеріал нагрівають до розплавленого або напіврозплавленого стану, а потім розпилюють і наносять на попередньо оброблену поверхню з певною швидкістю за допомогою спеціального пристрою для створення певної товщини покриття (рис.2.3).

Полум'яне напилення – це технологічний процес, використання якого призводить до утворення щільного покриття та металургійного зв'язку. Процес легко автоматизувати та може бути адаптований для напилення різноманітних деталей.

Полум'яне напилення є процесом термічного напилення. Він дозволяє створювати високоякісні поверхневі покриття за допомогою тепла для розплавлення напилюваного матеріалу.

Це економічно ефективний варіант, коли необхідно наносити металеві або керамічні покриття в менш вимогливому середовищі, а також для великих і складних площ і конструкцій. Полум'яне напилення використовується для отримання високої зносостійкості та ударостійкості. Загальна схема процесу термічного напилення представлена на рисунку 2.3.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

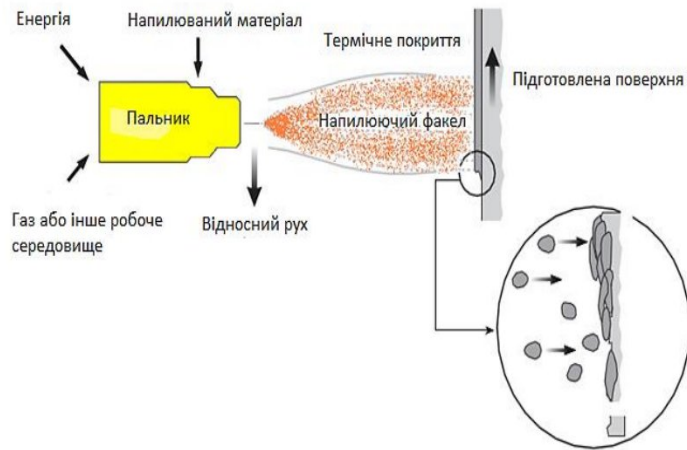


Рисунок 2.3 - Схема процесу термічного напилення

Процес полум'яного напилення складається з двох етапів. По-перше, порошок наноситься за допомогою термічного напилювального пістолета. По-друге, осад наплавляється за допомогою термоплавкого пальника. Металевий порошок подається в киснево-ацетиленовий або киснево-водневий пістолет шляхом інжекції та викидається на поверхню з високою швидкістю. Гарячі частинки сплющуються при ударі та зчіплюються як з основним матеріалом, так і одна з одною, утворюючи таким чином механічний зв'язок.

Після цього проводиться обробка плавленням для отримання щільного та добре зв'язаного покриття на поверхні. Нанесене покриття нагрівається до температури між температурою солідусу та температурою ліквідусу – близько 1000 °С.

До основних технологічних параметрів напилення відносяться: пальниковий газ, тиск ацетилену, тиск кисню, витрати ацетилену, витрати кисню, витрати порошку. Технологічні параметри процесу напилення представлені в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 Технологічні параметри процесу напилення

Технічні характеристики	Одиниці	Значення
-------------------------	---------	----------

Склад порошку	%	Al+1% CNT
Стандартний модуль наплення		SSM 40
Тиск кисню	МПа	0.4
Тиск ацетилену	МПа	0,07
Тиск допоміжного газу	МПа	0,3
Витрати ацетилену	л/год	350
Витрати кисню	л/год	350
Витрати прошку	кг/год	2

Типова усадка 15-20% відбувається під час плавлення, коли розплав заповнює проміжки між частинками.

2.1.4 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Якість виконання зварних швів для проектованої конструкції визначається наступними технологічними параметрами:

- силою зварювального струму;
- діаметром електродного дроту;
- напругою;
- вильотом електроду;
- швидкістю подачі присадного дроту;
- швидкістю зварювання

Для розрахунку значень технологічних параметрів визначаємо тип зварного з'єднання. Для з'єднання стінок корпусу установки використовуємо з'єднання У4, без скосу кромки. За цього катет шва становить 3 мм.

У відповідності до рекомендацій товщину присадного дроту встановимо – 1мм, що збільшує швидкість наплавлення у порівнянні з діаметром 0,8.

Розрахунок зварювального струму виконуємо за формулою:

$$I_{зв} = \frac{p \cdot d_e^2 \cdot \pi}{4} \quad (2.1)$$

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

a - густина електричного струму в електродному дроті А/мм², для зварювання в захисних газах складає: 110-130 А/мм².

35...40 А/мм².

d_e - діаметр електродного дроту, мм.

Підставивши дані величин у формулу отримаємо значення сили струму

$$I_{зв} = 102 \text{ А.}$$

У відповідності до рекомендацій величину сили струму приймемо – 110 А.

Значення напруги на дузі приймаємо – $U_d = 22 \text{ В}$;

Розраховуємо швидкість подавання електронного дроту :

$$V_{п.пр.} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d^2 \cdot \rho} \quad (2.2)$$

α_n - коефіцієнт наплавлення г/А·год, визначаємо за формулою

$$\alpha_n = 2 + 0.07 \frac{I_{зв}}{d_e} \quad (2.3)$$

Підставивши дані у формули 2.3 та 2.4 отримаємо: $\alpha_n = 10 \text{ г/А·год}$ та

$$V_n = 161 \text{ м/год}$$

Визначаємо швидкість зварювання за формулою:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \times I_{зв}}{100 F_n \times \rho} \quad (2.4)$$

Після того як підставили значення величин у формулу 2.5, отримуємо швидкість зварювання, яка складає 24,6 м/год.

$$V_{зв} = \frac{10 \times 110}{100 \times 0,06 \times 7,85} = 23 \text{ м/год}$$

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення основних технологічних параметрів з врахуванням розрахункових та довідникових даних представлена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Значення основних технологічних параметрів

№	Показники	Одиниці	Значення
1	Сила зварювального струму	В	110...114
2	Діаметр електроду	мм	1,0
3	Напруга електричної дуги	В	18...22
4	Швидкість зварювання	м/год	15...20
5	Вільний виліт електроду	мм	8...12
6	Швидкість подачі електродного дроту	м/хв	4...6
7	Захисний газ	вид	Суміш аргону 80% та вуглекислого газу – 20%
8	Витрати захисного газу	л/хв	8...12
9	Струм	вид	постійний
10	Полярність	вид	зворотня

2.1.5 Вибір основного та допоміжного зварювального обладнання

Після визначення способу зварювання, підбору зварювальних матеріалів та розрахунку технологічних параметрів приступаємо до комплектації технологічного та механічного обладнання.

Для механізації та автоматизації процесів зварювання при виробництві корпусу установки для газифікації використовуємо роботизований комплекс MIG/MAG.

До складу комплексу входять: промисловий робот-маніпулятор, зварювальний апарат, механізм подачі дроту, пальник, позиціонери ті станції фіксації.

Спочатку створюється 3Д модель конструкції та розраховується траєкторія зварного шва, ще до того, як робот почне працювати.

Для виконання умов технологічного процесу у найбільшій мірі підходить багатофункціональний зварювальний апарат системи TPS/i 320 C (рис.2.3).

Зварювальний апарат TPS 320i C – це установка інверторного типу з цифровим мікропроцесорним управлінням та вбудованим чотирьох - роликовим приводом для подавання присадного дроту.

Апарат може забезпечувати потрібний рівень універсальності в роботі за допомогою модульної конструкції, шляхом додавання нових компонентів. Між пристроєм для подавання електродного дроту і самим зварювальним апаратом з'єднувальний шланговий пакет більше не встановлюється, тому, що пристрій в даній конструкції вбудовано в конструкцію апарату.



Рисунок 2.3 - Зварювальний апарат системи TPS/i 320 C

TPS 320i C відрізняється винятковою компактністю, тому є особливо ефективним для роботи у портативному режимі. Зазвичай на дисплеї відображається термін – джерело струму тобто: джерело струму = зварювальний апарат.

Особливістю роботи зварювального апарата є те, що головний блок керування пов'язаний із цифровим процесором, що дозволяє контролювати

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

виробничий процес у повній мірі. Фактичні дані постійно контролюються в процесі зварювання, що дозволяє оперативно реагувати на зміни та відхилення і таким чином підтримуються задані режими та висока якість зварних швів.

Зварювальний апарат TPS 320i оснащений інтуїтивно зрозумілим текстовим дисплеєм, який відображає всі параметри зварювання зрозумілою мовою.

Аналізуючи дані взаємодії з користувачем, оптимізовано розташування панелі, колірну схему, яскравість та зворотний зв'язок кнопок. Графіка та текст поєднуються так, щоб зробити роботу швидшою та простішою – навіть під час використання щільних зварювальних рукавичок.

Інтерфейс є центральною точкою з'єднання між зварювальним апаратом та різноманітними зварювальними периферійними пристроями. Він дозволяє швидко підключати пальник та лінії живлення без інструментів, забезпечуючи стабільну передачу струму та значно скорочуючи час простою під час технічного обслуговування або заміни зношуваних деталей.

Кожен компонент системи TPS 320i можна встановити вручну. Після підключення система автоматично ідентифікує підключені компоненти та попереджає користувача про виявлення будь-яких несумісних деталей. Ця функція зварювання шляхом підключення запобігає неправильному налаштуванню, гарантує цілісність системи та спрощує монтаж.

Інтегрована шина даних SpeedNet працює зі швидкістю до 100 Мбіт/с, забезпечуючи високошвидкісний зв'язок у режимі реального часу між усіма компонентами зварювальної системи. Це забезпечує точне керування процесом, миттєве налаштування параметрів та постійний моніторинг стану системи, що призводить до високої якості та надійності зварювання.

Зварювальний апарат TPS 320i поєднує міцну конструкцію з інтелектуальними функціями. Його компактний розмір, високий робочий цикл та широкий діапазон струму роблять його універсальним рішенням для MIG/MAG, імпульсного та інших передових зварювальних процесів. TPS 320i забезпечує стабільну продуктивність, а також простий у транспортуванні та

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

експлуатації. Технічні характеристики зварювального апарату представлені в таблиці 2.6.

У якості промислового робота для виконання зварювальних робіт виберемо модель серії Cybertech KR 12 R1810-2 від KUKA (рис.2.4). Робот Kuка KR12 R1810-2 – це 6-осьовий робот вантажопідйомністю 12 кг та радіусом дії 1810 мм. Завдяки великому радіусу дії цей агрегат використовується для подолання великих відстаней та обробки великих площ. Він має стандартний клас захисту IP65 та оснащений контролером KR C5 (рис. 2.5)

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики зварювального апарату TPS/i 320 C

Технічні характеристики	Одиниці	Значення
Напруга мережі	В	3х400
Частота мережі	Гц	50
Мінімальний зварювальний струм	А	3
Максимальний зварювальний струм	А	320
Зварювальний струм, тривалість	[10хв/40°C]	320А / 40%
Зварювальний струм, тривалість	[10хв/40°C]	260А / 60%
Зварювальний струм, тривалість	[10хв/40°C]	220А / 100%
Напруга холостого ходу	В	71
Робоча напруга	В	14,2 ...30
Довжина, мм	мм	706
Ширина, мм	мм	300
Висота, мм	мм	510
Маса,	кг	33,7

Робототехніка відіграє ключову роль в автоматизації галузей промисловості. Завдяки масовому виробництву роботів в останні роки

спостерігається значне збільшення впровадження промислових робототехнічних систем.

Роботи від KUKA це надзвичайно маневрені машини, відомі своєю винятковою швидкістю та компактним дизайном, що пропонує гнучкість у використанні різних моделей, діапазонів та вантажопідйомностей для задоволення різноманітних вимог застосування.



Рисунок 2.4 – Промисловий робот KR 12 R1810-2

Їхня інтегрована система живлення та вдосконалений мікроконтролер забезпечують точну роботу в обмежених просторах, незалежно від того, чи встановлені вони на підлозі чи на стіні, що дозволяє використовувати інноваційні рішення автоматизації з можливостями безпечного робота.

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Завдяки широкому асортименту версій, розроблених для використання в різних умовах, включаючи чисті приміщення, потенційно небезпечні середовища або ті, що вимагають санітарних чи водонепроникних функцій, роботи від KUKA чудово справляється з різноманітними завданнями, забезпечуючи видатну продуктивність у будь-якому виробничому середовищі, будь то брудне, вологе чи стерильне.



Рисунок 2.5 – Контролер KR C5

Роботизовані зварювальні системи – це автоматизовані процеси, які використовують промислових роботів для виконання зварювальних завдань, підвищуючи продуктивність, точність і безпеку в різних галузях промисловості. Ці системи поєднують зварювання, робототехніку, сенсорні технології, системи керування та штучний інтелект для забезпечення високоякісних зварних швів.

Роботизовані зварювальні системи революціонізують виробничу галузь завдяки своїй точності, ефективності та стабільності. Автоматизуючи процес

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

зварювання, ці системи значно підвищують продуктивність і зменшують кількість людських помилок.

Роботизоване зварювання стає наріжним каменем автоматизації виробництва. Використовуючи гнучкість роботизованих систем для автоматизації рутинних зварювальних завдань, виробники можуть покращити якість продукції, збільшити продуктивність та зменшити навантаження на кваліфікованих зварювальників.

Типова система роботизованого зварювання складається з трьох основних компонентів.

Промислова роботизована рука – цей гнучкий, програмований механізм рухається вздовж повторюваних траєкторій зварювання. Простіше кажучи, його можна порівняти з роботою під час ручного зварювання.

Зварювальний інструмент – «робоча частина» установки, зварювальний інструмент кріпиться до кінця роботизованої руки. Тип інструменту залежить від типу процесу роботизованого зварювання.

Програмне забезпечення та система керування – програмне забезпечення та система керування роботом є життєво важливими, оскільки вони перетворюють ваші 3D-моделі виробів, створені в програмному забезпеченні CAD, на траєкторії зварювання, якими має рухатися робот.

Ці компоненти поєднуються, утворюючи систему для повторюваних зварювальних завдань у різних сферах застосування. Зазвичай це включає повторювані, рутинні зварювальні операції з однаковими параметрами.

Зі зростанням інтересу до автоматизації зварювання існує вражаюча кількість рішень та варіантів додавання робототехніки до вашого зварювального процесу. Правильне рішення може допомогти вам мінімізувати людські помилки, підвищити продуктивність та підвищити безпеку на виробництві.

При виконанні зварювання MIG/MAG роботи використовують роботизований інструмент для подачі дроту та захисного газу з контрольованою швидкістю, забезпечуючи стабільні результати

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

роботизованого виконання операцій. Цей процес ідеально підходить для великосерійного виробництва та відомий своєю швидкістю та ефективністю.

Системи роботизованого зварювання мають кілька застосувань у різних галузях промисловості, демонструючи свою універсальність та ефективність у різних секторах. Прогнозується, що світовий ринок робототехнічного зварювання зросте з 8,58 мільярда доларів США у 2023 році до 20,28 мільярда доларів США до 2032 року, зростаючи зі середньорічним темпом зростання 10% протягом 2024–2032 років.

Модель KR 12 R1810-2 це шестиосевий робот, що працює під навантаженням 12 кілограмів на дистанції до 1813 мм. Повторюваність моделі складає 0.04 мм, а її маса приблизительно рівна 255 кг. Технічні параметри робота представлені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики промислового робота KR 12 R1810-2

№	Технічні характеристики	Одиниці	Значення
1	Тип		6-осевий робот
2	Кількість осей	шт	6
3	Максимальне навантаження	кг	12
4	Досяжність	мм	1813
5	Повторюваність	мм	0,04
6	Маса	кг	255

Спільним занепокоєнням як компаній, так і працівників є те, що роботи замінять зварювальників. Деякі люди стурбовані тим, що робота зварювання незабаром стане чимось на зразок того, що це складне та кваліфіковане завдання виконуватимуть лише роботи.

Однак зростання роботизованої автоматизації не сигналізує про кінець кваліфікованого зварювання. Швидше, роботи створюють нові можливості для

зварювальників, які розуміють автоматизацію та можуть програмувати нову технологію.

Зварювальники-люди є висококваліфікованими, адаптивними та гнучкими, а також мають можливості вирішення проблем, з якими не може зрівнятися навіть найсучасніший штучний інтелект. З цієї причини роботозаварювання найкраще розглядати як цінний інструмент для доповнення кваліфікованих зварювальників.

Для синхронізації з роботою робота підібрано позиціонер KUKA (DKP / KP). Позиціонер управляється як додаткові зовнішні осі робота: (A7, A8) з контролера KR C5. Така комплектація дозволяє виконувати високоточні зварні шви у будь-якому положенні.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.5 – Позиціонер DKP-400

Перевагами поворотно-нахилювального позиціонера DKP є перш за все покращена ергономіка. Робочі процеси можуть бути спрощені та ефективніші завдяки ергономічній висоті завантаження 2-осьового позиціонера DKP.

Незалежно від того, яку вісь він використовує, поворотно-нахилювальний позиціонер швидко та з максимальною точністю знаходить потрібне положення. DKP забезпечує дуже зручне для процесу постачання енергії та рідин через центр лицьової панелі.

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Позиціонер має компактний дизайн: 2-осьовий позиціонер DKP розроблений з мінімізованими зовнішніми розмірами та компактними розмірами. Так само 2-осьовий позиціонер DKP забезпечує абсолютно гнучку обробку заготовок у будь-який час.

Пристрій оснащений ізольованою лицьовою панеллю, що спрощує процес інтеграції та збільшує термін служби позиціонера, особливо у випадку дугового зварювання.

Ключовою особливістю позиціонера є його висока потужність зварювання: з робочим циклом 100% поворотно-нахилювальний позиціонер забезпечує потужність зварювання до 430 А.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики позиціонера DKP-400

№	Технічні характеристики	Одиниці	Значення
1	Номінальне корисне навантаження	кг	400
2	Повторюваність операції	мм	<±0.06
3	Стандартний діапазон повороту		Безкінечний
4	Діапазон повороту з системою енергопостачання	градуси	+/-185°
5	Діапазон нахилу	градуси	+/-90°
6	Макс. висота завантаження	мм	857
7	Номінальний зварювальний струм (100% робочий цикл)	А	400
7	Маса	кг	500

Важливим процесом, що розглядається в роботі є нанесення захисного покриття на робочі поверхні технологічного обладнання. Для напилення поверхонь застосуємо установку CastoDyn DS 8000 (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 - Установка для напыления CastoDyn DS 8000

Удосконалена модульна установка киснево-ацетиленового термічного напылення, призначена для нанесення широкого спектру сплавів та інших матеріалів для різних застосувань. Установка може бути інтегрована в автоматизовані системи для масового виробництва.

Система CastoDyn DS 8000 використовується для "холодного" термічного напылення порошків сплавів типу RotoTec та ProXon® без деформації та структурних змін деталі, а також для "гарячого" термічного напылення порошків сплавів типу Eutalloy® RW для отримання щільних, безпористих покриттів.

Асортимент сплавів забезпечує чудову стійкість до зносу від тертя метал об метал, корозії, стирання та ерозії. Подовжувальна горловина для напылення розширює можливості застосування для внутрішніх отворів або на деталях зі складною геометрією.

Основними перевагами установки є висока адаптивність забезпечена модульною концепцією комплектування. Установка відрізняється практичністю, легкістю та міцністю простотою у використанні. Керування

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

параметрами проводиться за допомогою одного клапана. Для «холодного» та «гарячого» термічного напилення, використовуються керамічні порошки та пластикові матеріали. Постачається в комплекті з аксесуарами (рис.2.7) Подовжувальна горловина опціонально.



Рисунок 2.7 - Оксиацетиленова система CastoDyn DS 8000

Для закріплення заготовок під час виконання процесу напилення лінію комплектуємо зварювальним столом для закріплення (рис.2.4)



Рисунок 2.4 – Зварювальний стіл з витяжкою

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Технічні параметри робочого столу представлені в таблиці 2.5

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики робочого столу

№	Характеристики	Одиниці	Значення
1	Розмір робочої зони	мм	1000 x 1000
2	Габаритні розміри столу	мм	1705 x 1153 x 2088
3	Маса	кг	368
4	Потужність витяжки	кВт	2,2

2.2 Розроблення технологічного процесу виробництва зварної конструкції

2.2.1 Основні операції технологічного процесу

Для якісного виконання складальних і зварювальних операцій є розроблення відповідного алгоритму та дотримання його під час виконання робіт

Технологічний процес виконання зварювання складальних з наступних операцій:

- Вхідний контроль
- Підготовчі операції;
- Складальні операції;
- Нанесення захисних покриттів
- Підготовка стиків до зварювання
- Процес зварювання
- Операційний контроль якості
- Оброблення зварних швів
- Завершальний контроль якості

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Технологічні операції відбуваються у наведеній послідовності у відповідності до чинних нормативних документів.

2.2.2 Вхідний контроль

Для виробничих процесів якість зварювання є наріжним каменем структурної цілісності та безпеки експлуатації. Систематичний підхід, що охоплює етапи до зварювання, під час виробництва та після зварювання, забезпечує дотримання галузевих стандартів та мінімізує дефекти.

Вхідний контроль у широкому розумінні включає наступні кроки. Перевірка кваліфікації персоналу. Зварювальники повинні мати дійсні сертифікати та демонструвати кваліфікацію у виконанні своїх завдань.

Обладнання повинно бути підготовлене до виконання виробничих процесів. Необхідно переконайтеся, що зварювальні апарати, джерела живлення та допоміжні інструменти (наприклад, пальники, кабелі заземлення) є каліброваними, справними та функціональними.

Важливим є стан зварювальних та допоміжних матеріалів. Потрібно перевірити цілісність упаковок, відповідність основних металів та витратних матеріалів (наприклад, електродів, захисних газів) специфікаціям. Наприклад, високоякісні зварювальні дроти, такі як ті, що розроблені для середовищ з високими напруженнями, відіграють ключову роль у досягненні рівномірного проникнення та мінімізації пористості. Тому розуміння правильного зберігання матеріалів поводження з ними є важливим для кваліфікації персоналу, який за це відповідає.

Для надійної роботи технологічного обладнання та персоналу необхідно проводити контроль навколишнього середовища. Умови навколишнього середовища такі як вологість, температура, вітер, можуть вплинути на утворення дефектів таких як холодне розтріскування. Для деяких видів

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

зварювання потрібно зробити попередній підігрів для зменшення термічного напруження.

Підтвердження матеріалу для забезпечення відповідності хімічного складу та механічних властивостей проектним специфікаціям – зазвичай здійснюється шляхом перегляду сертифікатів матеріалів. За певних обставин також можуть знадобитися деякі випробування для підтвердження даних вказаних у супровідних документах.

2.2.3 Заготівельні операції при зварюванні

До заготівельних процесів можна віднести: механічне оброблення, правлення і вирівнювання, розмічення тарізання.

Для виготовлення металевих деталей та вузлів з жорсткими допусками з листового металу або ж товстого листа, потрібно мати впевненість у властивостях цього металу в тому числі його геометричних розмірах, особливо однаковій товщині по всій площі листа.

Відомо, що багато деталей або листів містять залишкові напруження та нерівності, і це перешкоджає їхній ефективній подальшій обробці.

Залишкові напруження в листовому металі можуть виникати різними способами такими, як використання термічних процесів різання лазерного, полум'яного та плазмового різання. Під час цих процесів в матеріал поступає велика кількість тепла. Отриманий градієнт температури в матеріалі викликає напруження та зміцнення по краях. В результаті металеві деталі деформуються після різання.

Існує лише один спосіб безпечно усунути залишкові напруження: провести процес вирівнювання. У роликовому вирівнювальному верстаті матеріал проходить кілька послідовних чергуючих вигинів.

Як правило, чим більше чергуючих вигинів, тим кращий результат вирівнювання. Після цього можна бути впевненому, що деталі з листового металу або товстий лист збережуть бажану форму, і що подальші процеси

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

будуть значно покращені. Час і результати зварювання будуть суттєвими при роботі з неvirівняними матеріалами.

Існує загальне правило, всі метали з подовженням при розриві щонайменше п'ять відсотків і вираженою межею текучості підходять для virівнювання. Якщо ці значення невідомі, придатність для virівнювання можна визначити за допомогою випробувань на virівнювання.

Якщо матеріал не має подовження при розриві, існує ризик розтріскування або навіть поломки. У таких випадках лише випробування на virівнювання можуть показати, чи можливе virівнювання та яких результатів можна очікувати.

Процес virівнювання може забезпечити високий ступінь точності, але це залежить від застосування, товщини та типу матеріалу.

Наприклад, virівнювальний верстат може забезпечити площинність від 0,5 мм/м до 1 мм/м для деталей, призначених для кранів та гірничодобувного обладнання, і це вважатиметься дуже хорошою площинністю.

Однак така площинність не підійде для виробника пилоквих дисків, якому потрібно 0,1 мм/м або краще. Тому потрібно вибирати верстати у відповідності до технічного завдання.

Провівши дослідження особливостей процесів virівнювання листів ми прийшли до висновку що для умов виготовлення установки для газифікації нам підходить листовирівнювальна машина фірми ARKU FlatMaster® моделі 55.

Virівнювальний верстат FlatMaster® 55 для листового та товстолистового металу виготовляє плоскі штамповані, лазерно- та плазмово-різані деталі майже повністю без внутрішніх напружень за лічені секунди. Virівнювальний верстат робить наступні процеси, такі як зварювання, гнуття та формування, швидшими, надійнішими та точнішими. Без необхідності повторної обробки. Технічні параметри листопривильної машини наведені в таблиці 2.11.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44



Рисунок 2.7 - Листоправильна машина ARKU FlatMaster® моделі 55

Вирівнювання роликми за допомогою FlatMaster® є простим та швидким порівняно з іншими методами вирівнювання. Лист/деталь піддається серії чергуючих вигинів у гідравлічній машині. Матеріал формується швидко, що дозволяє вирівнювати штамповані, лазерно- або плазмово-різані деталі за лічені секунди. Для порівняння, ручне вирівнювання може зайняти від кількох хвилин до кількох годин.

Таблиця 2.11 - Характеристики листоправильної машини FlatMaster® 55

Найменування параметра	Одиниці	Значення
Ширина металопрокату	мм	До 1600
Товщина металопрокату	мм	0,6...15
Кількість валків	шт	21
Діаметр правильних валків	мм	40
Потужність двигуна	кВт	4

Для отримання заготовок необхідних розмірів підбираємо різальну машину. У відповідності до товщини металу – 3 мм найефективнішим вибором буде лазерний різальний станок G3-A фірми Long Laser.

Ріжуча головка, оснащена інтелектуальним датчиком та технологією автоматичного стеження, точно виявляє деформацію листа, регулює фокус у режимі реального часу та уникає зіткнень, забезпечуючи стабільне різання, вищу безпеку та підвищену ефективність.



Рисунок 2.8 Установка для різання G3-A

Машина, оснащена високопродуктивним серводвигуном шини, забезпечує швидку реакцію та чудову ефективність різання. З лазерною потужністю від 3 кВт до 6 кВт вона забезпечує плавне та точне різання — нержавіючої сталі товщиною до 8 мм або вуглецевої сталі товщиною 18 мм при потужності 3 кВт, а нержавіючої сталі товщиною до 14 мм або вуглецевої сталі товщиною 22 мм при потужності 6 кВт.

Технічні характеристики установки для різання G3-A представлені в таблиці 2.12

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 2.12 Технічні характеристики установки для різання G3-A

Найменування параметра	Одиниці	Значення
Розміри робочої зони	мм	1500 x 3000
Швидкість різу	м/хв	150
Потужність	W	3000...6000
Повторюваність	мм	по напрузі дуги
Живлення джерела плазми,	В	380V/50HZ
Габаритні характеристики,	мм	4600*2260*1750mm
Вага,	кг	2000

Система автоматично визначає та вирівнює положення листа з високою точністю, усуваючи помилки ручного налаштування. Завдяки функції різання одним клацанням миші навіть новачки можуть швидко розпочати обробку та без зусиль досягати точних результатів.

Удосконалене лазерне керування та оптимізований потік газу забезпечують дзеркально-гладкі ріжучі кромки без задирок та окислення. Технологія різання з блискучою поверхнею забезпечує чисті та високоточні результати безпосередньо з верстата, усуваючи необхідність шліфування чи повторної обробки.

2.2.4 Розроблення процесу складальних операцій

Важливим етапом технологічного процесу є виконання складальних робіт. Складальні роботи передбачають підготовку з'єднання у відповідності до проектної документації та зазначеному стандарту зварювання.

Ще одним важливим аспектом, який слід враховувати, є тип зварного з'єднання, яке буде використовуватися, оскільки тип зварного з'єднання, що використовується для будь-якого зварювального проекту, може суттєво

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

впливати на якість і міцність зварного шва, витрати на оплату праці та експлуатаційні характеристики зварного з'єднання під час використання.

Оскільки зварювання - це процес створення міцного з'єднання між різними компонентами, вибір відповідної конструкції зварного з'єднання є важливим для забезпечення успішного виготовлення з механічними властивостями, які принаймні порівнянні з властивостями основного металу.

Крім того, важливо ретельно оцінити характеристики різних типів використовуваних з'єднань. Неадекватна конструкція з'єднання може звести нанівець навіть ідеальні умови зварювання. Отже, ключовим аспектом у проектуванні зварного з'єднання, особливо при дуговому зварюванні, є забезпечення достатнього доступу та простору для ефективного переміщення зварювального електрода або присадного металу та створення належного зварного шва.

Існує багато різних типів зварних з'єднань, кожне з яких має свої унікальні переваги та застосування, що робить вирішальним вибір відповідного для конкретного завдання.

Кутові зварні шви широко застосовуються в напускних, кутових та таврових з'єднаннях. Можна вважати, що це один із найпоширеніших способів зварювання у металообробленні.

Основна перевага виробництва кутових швів у тому, що у даному випадку не має потреби ретельно обробляти та підгонити кромки виробів, що спрощує виконання складальних робіт, суттєво збільшує продуктивність процесу та зменшує витрати матеріалу.

2.2.5 Процес нанесення захисного покриття

Термічне напилення – це процес, у якому вихідний матеріал нагрівається та переноситься у вигляді окремих частинок або крапель на поверхню. Термічний розпилювач генерує необхідне тепло за допомогою горючих газів або електричної дуги.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Під час нагрівання матеріали перетворюються на пластичний або розплавлений стан і утримуються та прискорюються потоком стисненого газу до підкладки.

Частинки вдаряються об підкладку, сплющуються та утворюють тонкі пластинки (бризки), які відповідають нерівностям підготовленої підкладки та прилипають одна до одної.

Коли розпилені частинки потрапляють на поверхню, вони охолоджуються та накопичуються, бризок за бризком, у шарувату структуру, утворюючи термонапилюване покриття.

Для напилення поверхні вуглецевої сталі використовується алюмінієвий порошок ПА2, продукт сріблястого кольору з металевим блиском та сторонніх домішок. Порошок наноситься на робочі поверхні за допомогою установки CastoDyn DS 8000 (рис. 2.6).

Порошок подається в киснево-ацетиленовий або киснево-водневий пістолет шляхом інжекції та викидається на поверхню з високою швидкістю. Процес полум'яного напилення складається з двох етапів. Спочатку порошок наноситься за допомогою термічного напилювального пістолета. Після цього нанесений матеріал наплавляється за допомогою термоплавкого пальника. Гарячі частинки сплющуються та зчіплюються як з основним матеріалом, так і одна з одною, утворюючи таким чином механічний зв'язок. Нанесене покриття нагрівається до температури між температурою солідусу та температурою ліквідусу – близько 1000 °С. Основні технологічні параметри процесу напилення представлено в таблиці 2.3.

2.2.6 Виконання зварювальних робіт

Особливістю виконання зварювальних робіт є те, що на поверхні деталей попередньо наноситься захисне покриття на основі алюмінію.

Зварювання деталей, виготовлених з сталі з алюмінієвим покриттям є складним у виконанні. Сталь та алюміній можуть утворювати крихкі

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

інтерметаліди. Алюміній під час зварювання так само інтенсивно окислюється.

Тому для якісного проведення процесу зварювання при використанні даного способу захисне покриття потрібно видалити на відстані до 20 міліметрів від лінії зварювання. Після виконання процесу зварювання на незахищені поверхні конструкції можна знову нанести шар захисного матеріалу.

Описаний процес має альтернативні рішення. Перший з них – це зварювання покритих захисним шаром деталей за допомогою способу дугового паяння, MIG brazing, фірми Фроніус. Дугове паяння це спосіб з'єднання металів за допомогою припою з меншою температурою плавлення.

Наступним способом є нанесення захисних покриттів після виконання процесів зварювання. Для рівномірного нанесення покриття на площинах і кутах конструкції можна використати роботизовані маніпулятори які використовуються для виконання зварних швів.

Для виконання зварних швів у роботі застосовані роботизовані зварювальні системи. Роботизовані системи поєднують зварювання, робототехніку, сенсорні технології, системи керування та штучний інтелект для забезпечення високоякісних зварних швів.

У якості промислового робота вибрано модель серії Cybertech KR 12 R1810-2 від KUKA (рис.2.4), 6-осьовий апарат вантажопідйомністю 12 кг та радіусом дії 1810 мм. Агрегат має стандартний клас захисту IP65 та оснащений контролером KR C5 (рис. 2.5). Всі роботи зварювальні виконуються в автоматизованому режимі.

2.2.5 Вибір заходів боротьби із зварювальними напруженнями

Низьковуглецеву сталь називають м'якою сталлю, вона містить до 0,30% вуглецю. Через низький вміст вуглецю її найлегше зварювати. Вона дуже

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

пластична, а її твердість також низька. Цей тип вуглецевої сталі має численні конструкційні застосування.

Оскільки низьковуглецева сталь не надто твердне під час процесу зварювання, вам не потрібно проводити попередню обробку нагріванням. Три найпоширеніші методи зварювання, що використовуються для зварювання низьковуглецевої сталі, - це електродне зварювання, MIG та TIG.

Однак є одна проблема, яку необхідно вирішити, а саме уникнення забруднення, оскільки це значно послаблює зварний шов. Для цього необхідно очистити поверхню матеріалу, щоб позбутися пилу, бруду та іржі, а також запобігти слабким з'єднанням та пористості.

Основним чинником запобігання напружень і деформацій є контроль підведення тепла, для уникнення надмірної деформації. Це особливо важливо для тонших металевих листів. Хоча м'яка сталь легко зварюється, недотримання технологічних параметрів може призвести до дефектів зварювання.

Процес зварювання коробчастих структур з вуглецевої сталі призводить до нерівномірного теплового розширення та стиснення, що створює локалізовані залишкові розтягувальні напруження поблизу зварних швів (часто досягають 70%-80% від межі текучості основного металу) та врівноважує стискаючі напруження по всій поверхні пластин. Ці напруження можуть спричинити деформацію, вигин та зменшити довговічність.

Незважаючи на широке застосування дугових методів зварювання, вони можуть викликати значні металургійні зміни в зоні термічного впливу (HAZ), включаючи укрупнення зерна та розвиток крихких фаз, таких як мартенсит. Ці мікроструктурні зміни часто порушують механічну цілісність з'єднання, зокрема його міцність та пластичність, тим самим збільшуючи ризик крихкого руйнування за складних умов експлуатації. На мікроструктуру та механічні характеристики зварних конструкцій критично впливають такі параметри, як склад зварювальної ванни, температурні градієнти, швидкості нагрівання та охолодження, а також геометрія з'єднання.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Тому для мінімізації залишкових напружень і деформацій, зменшення дефектів та підвищення якості зварювання, зберігаючи при цьому економічну доцільність оптимізація параметрів зварювання, включаючи підведення тепла, швидкість переміщення та конфігурацію з'єднання, мають вирішальне значення.

2.3 Технічний контроль та виправлення браку

2.3.1 Дефекти, що виникають в процесі зварювання конструкції

Дефекти зварювання є значною проблемою в різних галузях промисловості, впливаючи на якість конструкцій та компонентів. Несуцільності зварного шва – це порушення або недоліки в процесі зварювання, які призводять до відхилень від ідеального з'єднання, та погіршують цілісність і міцність зварного шва, що, в свою чергу, може його руйнування.

Причини утворення зварювальних дефектів включають проблеми, пов'язані з підготовкою матеріалів, збоями у проведенні процесу, недоліками самої конструкції та помилками операторів.

До поширених дефектів належать пористість, відсутність провару, підрізання, неповне проварювання, утворення тріщин у зварному шві та його значна деформація.

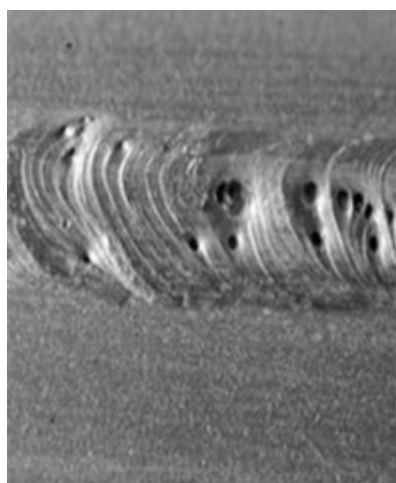


Рисунок 2.8 - Пори у зварному шві

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Дефекти при зварюванні – це переривання нормативного стану структури зварного шва, різні нерівності, які відрізняються від заданих розмірів та форм. Вони можуть знаходитись як в основному металі виробу, так і в металі шва, а також бути внутрішніми або зовнішніми.

Дефекти також можна класифікувати, як допустимі та недопустимі. У випадку наявності к зварному шві недопустимого дефекту його потрібно виправити, а коли немає такої можливості то деталь бракується. В той час, як деталі з допустимими дефектами за певних умов можуть відправлятися для експлуатації.

Запобігання дефектам зварного шва починається з розуміння того, на що вказує цей дефект. Деякі вказують на недостатнє нагрівання на межі розділу або погане утримання розплавленої зони. У промисловому контактному зварюванні дефекти зазвичай проявляються кількома повторюваними способами.

Деякі видно одразу під час візуального огляду. Інші з'являються лише під час детальних неруйнівних та механічних випробувань, випробувань на втому або пізніших етапів складання. Знання «типових ознак» допомагає командам швидше усунути несправності та уникнути пошуку неправильної змінної.

За розташуванням дефекти можуть бути зовнішніми або внутрішніми. Зовнішні дефекти зварювання це поверхневі або візуальні дефекти. Вони проявляються на поверхні металевого зварного шва. Зовнішні дефекти зварювання зазвичай виявляються за допомогою візуального огляду або інших методів, таких як магнітно-порошковий контроль (MPI) або барвник-рідинний пенетрант (DPI). Типовими прикладами зовнішніх дефектів є тріщини, підрізи, перекриття, пористість, розбризкування тощо.

Внутрішні дефекти виникають у металевому матеріалі та зазвичай не виходять на поверхню зварного шва. Такі дефекти складно виявити за допомогою візуального огляду. Для визначення їхнього місцезнаходження

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

потрібно застосовувати ультразвуковий контроль, радіографічний контроль (RT) та механічні методи досліджень. Поширені приклади таких дефектів це - включення шлаку (рис.2.9), неповне проплавлення, неповне сплавлення тощо.

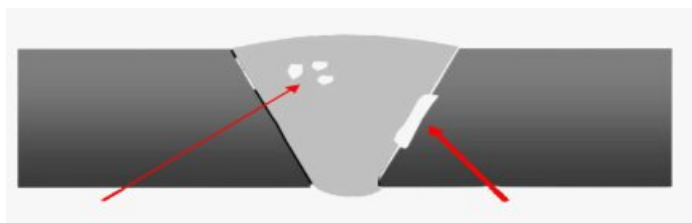


Рисунок 2.9 – Шлакові включення

Шлаки, небезпечні побічні продукти, утворюються в різних дугових процесах. Вони часто з'являються у вигляді захоплених домішок всередині або на поверхні зварних ділянок. Наявність шлаків впливає на зварюваність та в'язкість металу. Як наслідок, вони знижують структурні характеристики зварного шва.

2.3.2 Візуальний метод контролю

Виявлення дефектів має вирішальне значення для цілісності та експлуатаційних характеристик конструкції. Використовуються методи неруйнівного контролю, такі як візуальний, вимірювальний ультразвуковий, радіографічний, магнітопорошковий та механічні методи.

Запобігання дефектам вимагає комплексного підходу, включаючи вибір матеріалів, належні процедури зварювання, підготовку з'єднань, екранування, технічне обслуговування обладнання та навчання кваліфікованої робочої сили.

Обов'язковим способом для всіх виготовлених зварних швів, незалежно від дослідження іншими способами є візуальний контроль. Візуальний та вимірювальний метод контролю застосовують під час виконання наступних технологічних операцій:

- проведення вхідного контролю;

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- заготівельних операцій – різання заготовок;
- підготовки виробів до збирання;
- контроль встановлених зазорів під час виконання складальних робіт;
- процесу зварювання;
- виправлення дефектних ділянок шва за наявності;
- під час приймального контролю.

Комплект пристроїв для візуально-вимірального контролю показано на рисунку 2.10



Рисунок 2.10 – Візуально-вимірвальний метод контролю

Візуально піддаються візуальному контролю параметри зварювання, надійність газового захисту електричної дуги, правильність розміщення валиків під час виконання багатошарових швів тощо. Так оператор за допомогою збільшувальних пристроїв може оглянути накладання перших швів, що дає можливість зробити їхню оцінку та за необхідності ввести

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

корективи у виробничий процес. Для визначення якості зварних швів використовуються еталони.

За допомогою візуального огляду визначають наявність непроварів, пропалів, підрізів, тріщин, підрізів, свищів. Для визначення форми та геометричних розмірів крайок деталей, зазорів, виробів, зібраних під зварювання, а також розмірів готових зварних швів дозволено застосовування шаблонів різних типів. Погрішність проведення замірів при виконанні вимірювального контролю не повинна перевищувати значення величин, вказаних у проектній документації.

2.3.3 Магнітографічний метод контролю

Виготовлення зварних з'єднань пов'язане з плавленням, подальшим затвердінням, а також введенням теплової енергії (теплопідведенням) у зварний матеріал, що змінює його структуру в зоні термічного впливу.

Зварювання часто призводить до структурної неоднорідності (газові бульбашки, металеві або неметалеві включення) та механічної неоднорідності (тріщини та розшарування) з'єднання.

Оскільки якість зварних з'єднань впливає на несучу здатність конструкцій, то вони природно стають об'єктом діагностичних випробувань. Зварні з'єднання в основному випробовуються для виявлення місць зі структурними або механічними неоднорідностями. Це зумовлено тим, що наявність дефектів зварювання значно знижує механічні властивості зварного з'єднання та особливо його втомну міцність.

Сучасна технічна діагностика зосереджена найбільше на розробці неінвазивних методів, які дозволяють визначати технічний стан діагностованих об'єктів без будь-якого розбирання, вимкнення або навіть порушення їхньої роботи. Неінвазивні діагностичні тести базуються на оцінці якості тестованого об'єкта зі збереженням його початкових властивостей та без його руйнування.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Неруйнівні методи виявлення неоднорідності у зварних з'єднаннях включають, перш за все, візуальні, проникаючі, рентгенівські та ультразвукові методи.

Якість зварних з'єднань для сталевих компонентів також може бути оцінена за допомогою магнітних методів контролю.

Магнітографічний метод контролю – це метод виявлення тріщин, розривів та поверхневих дефектів шляхом застосування магнітного поля до феромагнітного матеріалу.

Магнітографічний метод широко застосовується для перевірки зварних з'єднань коробчастих конструкцій на наявність тріщин, незварювання та пористості.

Наявність поверхневого або приповерхневого дефекту (дефекту) в матеріалі викликає спотворення магнітного потоку, що, у свою чергу, призводить до розсіювання магнітних полів у місці дефекту.

Ця деформація магнітного поля не обмежується безпосередньою локалізацією дефекту, а поширюється на значну відстань; навіть через поверхню та в повітря, якщо магнетизм достатньо інтенсивний. Розмір спотворення набагато більший, ніж розмір дефекту, і стає видимим на поверхні деталі за допомогою крихітних частинок, які притягуються до полів розсіювання.

Найпоширеніший метод магнітно-порошкового контролю використовує крихітні залізні або магнітні частинки оксиду заліза, що утримуються у суспензії у відповідній рідині-носії та фоновій фарбі (білій).

Її наносять перед нанесенням залізних тирси та під час магнетизму. Для флуоресцентного магнітно-порошкового контролю частинки забарвлюють і зазвичай покривають флуоресцентними барвниками, які стають видимими за допомогою ручного ультрафіолетового (УФ) світла.

Суспензію розпилюють або фарбують намагнічений зразок під час намагнічування постійним струмом або електромагнітом, щоб локалізувати ділянки, де магнітне поле виступає з поверхні. Магнітні частинки притягуються

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

поверхневим полем у зоні дефекту та тримаються на краях дефекту, виявляючи його як скупчення частинок.

Існує два різних способи намагнічування деталі: поздовжнє та кругове намагнічування. Поздовжнє намагнічування пропускає струм через котушку, а лінії магнітного потоку проходять через деталь. Кругове намагнічування пропускає струм через деталь і створює магнітне поле навколо неї. Ці два різні методи використовуються, оскільки тріщини можна побачити лише під кутом від 45 до 90 градусів до ліній магнітного потоку.

Магнітографічний метод ідеально підходить для досліджень у внутрішніх або обмежених просторах зварних коробчастих конструкцій. Гнучкі стрічки можна застосовувати до складних форм або кутів, де огляд камери або лінії огляду оператора можуть бути обмежені.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Конструювання корпусу установки для газифікації за допомогою програми Solidworks

Розроблення і експлуатація обладнання для газифікації відновлювальної сировини це перспективний, але досить складний процес. Головні проблеми створення виробничих установок мають як технологічний так і конструктивний характер.

Технологічні проблеми при газифікації полягають у нестабільній якості органічної сировини, її різному гранулометричному складі, можливого утворенні смол, що може призвести до зупинки роботи обладнання, а також у складності очищення готового продукту - синтетичного газу.

З іншого боку для ефективного проходження процесу газифікації всі перелічені проблеми потрібно врахувати при проектуванні сучасного обладнання і крім цього представити розрахункові моделі пристроїв для їхнього виготовлення з великою ступінню технологічності. За цього складально – зварювальні операції є ключовими у процесі виробництва установок для газифікації.

Нами для подолання названих складнощів була використана програма SolidWorks. Проектування технологічного обладнання в програмі SolidWorks дозволяє інженерам швидко створювати, моделювати та виготовляти складне промислове обладнання. Модель корпусу установки для газифікації виготовлена з допомогою програми SolidWorks представлена на рисунку 3.1. Оксанометрії для установки у зборі та окремі її елементи представлені на рисунках 3.2 і 3.3.

Платформа інтегрує параметричне 3D-моделювання, автоматизовану документацію, аналіз руху та електричну інтеграцію в єдине середовище,

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

допомагаючи командам скоротити фізичне прототипування та прискорити час виходу на ринок.

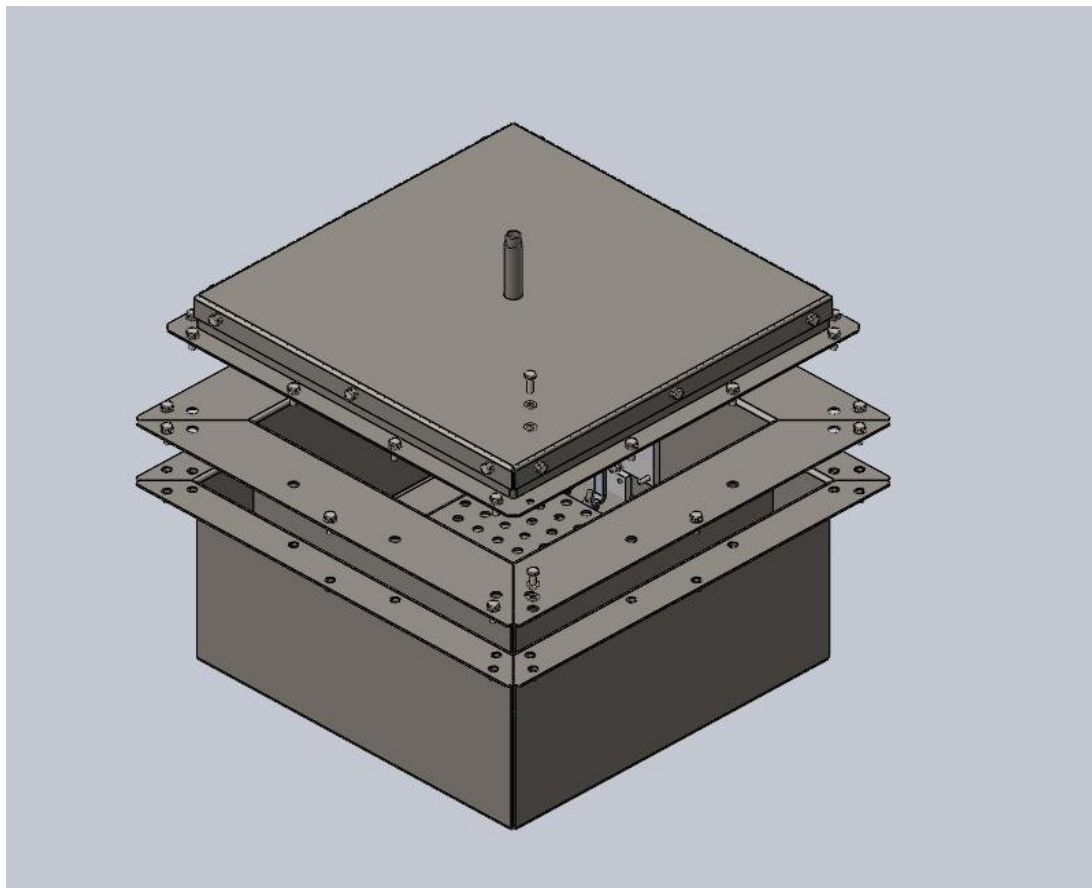


Рисунок 3.1 - Корпус установки для газифікації

Ключові функції та робочі процеси, що оптимізують проектування обладнання включають параметричне 3D-моделювання. Створення інтелектуальних деталей, керованих розмірами, які можна легко редагувати. Зміни в батьківській деталі або підвузлі автоматично поширюються на всю конструкцію.

При проектуванні зварних конструкцій можуть бути задіяні спеціальні інструменти, для швидкого створення рам, полозок та опорних конструкції, використовуючи для цього стандартні та користувацькі профілі балок. За цього SolidWorks автоматично генерує списки розрізів, розміри обмежувальних рамок та торцеві кришки.

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

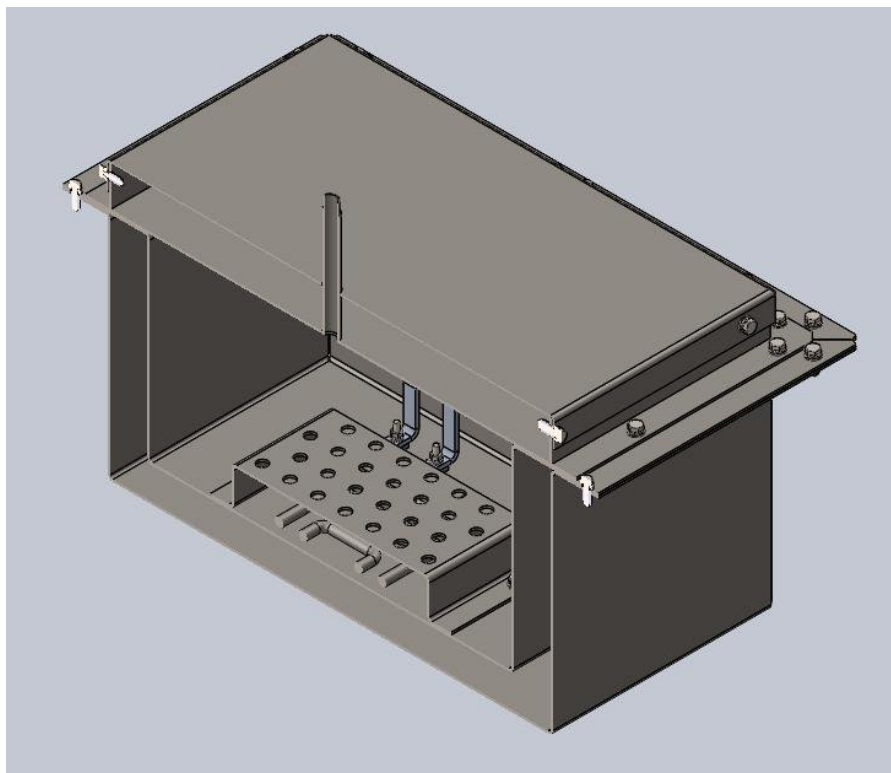


Рисунок 3.2 – Оксанометрія установки у зібраному стані

Програма створює можливості для ефективної роботи з листовим металом, що дає можливість для створення складних корпусів, кронштейнів та захисних кожухів. Програмне забезпечення розраховує припуски на вигин та автоматично вирівнює 3D-моделі для створення готових до використання файлів DXF/DWG для лазерного різання та штампування з ЧПК.

Важливим аспектом роботи програми є перевірка довговічності та функціональності обладнання перед створенням фізичних прототипів. SOLIDWORKS Simulation дозволяє інженерам виконувати аналіз напружень, теплових та вібраційних навантажень.

Для легкої обробки складальних конструкцій, що містять тисячі окремих компонентів, зберігаючи продуктивність системи можуть бути використані такі інструменти, як Large Design Review та SpeedPak.

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Для моделювання корпусу установки для газифікації ми використовували модуль «Зварні елементи». Коробчата структура конструкції має значні переваги під час її виробництва.

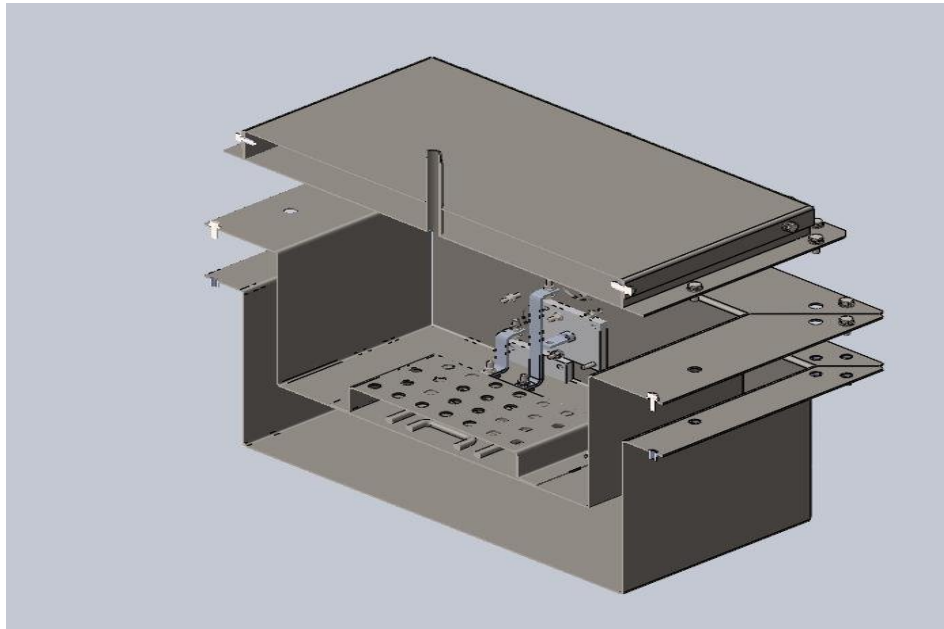


Рисунок 3.3 – Оксанометрія елементів установки

Коробчата структура конструкції має значні переваги під час її виробництва. Основними у конструкції установки є кутові зварні шви. Можна вважати, кутові шви це один із найпоширеніших способів зварювання при виготовленні технологічного обладнання.

Перевага кутових швів є те, що при їхньому виконанні не потрібно ретельно підгонити кромки виробів. Такий підхід значно спростив виконання складальних та зварювальних робіт.

Для проведення зварювально монтажних робіт підібрано комплект обладнання, який дозволяє роботизувати виробничі процеси. У якості промислового робота вибрано модель серії Cybertech KR 12 R1810-2 від KUKA .

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Таким чином на базі вдалого використання програми SolidWorks отримали модель установки для газифікації та розробили технологічний процес виконання складальних і зварювальних робіт для її виготовлення.

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпек та шкідливих чинників виробничого середовища

Зварювання є важливим і поширеним компонентом у будівельній та виробничій галузях, але воно не позбавлене значних ризиків, якщо відсутні належні заходи безпеки.

Проаналізуємо найпоширеніші види небезпек при звзварюванні. Зварювання передбачає роботу з високовольтною електрикою, що створює значний ризик ураження електричним струмом.

Зварювальники повинні переконатися, що зварювальний апарат та кабелі знаходяться в справному стані, належним чином заземлені та не контактують з електричними деталями під напругою без належного захисту.

Інтенсивне світло, що випромінюється під час зварювання, може спричинити спалах дуги, електричний вибух, який вивільняє значну кількість тепла та світла, що може призвести до опіків, травм очей і навіть сліпоти. Для запобігання травмам від спалаху дуги слід завжди носити належний захист очей, такий як зварювальні маски з автоматичним затемненням.

Зварювання виробляє токсичні випари та гази, такі як озон, оксиди азоту та пари металів, які можуть бути шкідливими при вдиханні. Ці речовини можуть спричинити проблеми з диханням, запаморочення та нудоту; тривалий вплив може призвести до додаткових довгострокових проблем зі здоров'ям. Належна вентиляція та захист дихальних шляхів, такі як респіратори, є важливими для мінімізації впливу цих небезпечних речовин.

Зварювання передбачає роботу з відкритим вогнем та іскрами, які можуть запалити легкозаймисті матеріали в навколишньому просторі. Видалення легкозаймистих матеріалів та наявність вогнегасників має вирішальне значення для створення пожежобезпечних зон. Належне навчання з питань пожежної безпеки та використання засобів пожежогасіння значною

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

мірою запобігає нещасним випадкам та забезпечує безпечне робоче середовище.

Враховуючи перераховані небезпеки зварники повинні мати індивідуальні засоби захисту. Зварювальний шолом, мабуть, є найважливішим елементом безпечного виконання робіт для зварювальників, захищаючи обличчя, очі та голову від іскор, інтенсивного світла та тепла.

Зварювальні рукавички захищають руки від опіків, іскор та ураження електричним струмом. Вони повинні бути виготовлені з вогнестійких матеріалів та забезпечувати зручну посадку, що дозволяє спритність під час роботи.

Зварювальники повинні носити вогнестійкий одяг, такий як зварювальні куртки та штани, щоб захистити шкіру від опіків, спричинених іскрами та теплом. Потрібно уникати носіння синтетичних тканин, які можуть розплавитися та прилипнути до шкіри у разі нещасного випадку.

Окрім зварювальної маски, зварювальники повинні носити захисні окуляри з боковими щитками або захисні окуляри, щоб захистити очі від летючих частинок та ультрафіолетового випромінювання. Лицьові щитки також можуть забезпечити додатковий захист обличчя та шиї.

Під час роботи в погано провітрюваних приміщеннях або під час впливу небезпечних випарів та газів зварювальники повинні використовувати засоби захисту органів дихання, такі як респіратори або респіратори з примусовим очищенням повітря. Ці пристрої фільтрують повітря та запобігають вдиханню шкідливих речовин.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Для виготовлення конструкції, що працює в умовах високих температур та агресивного середовища замість дороговартісної жароміцної нержавіючої сталі застосовано звичайну вуглецеву сталь з нанесеним на її поверхню термобар'єрним покриттям. Розроблено вдосконалену технологію виконання складальних та зварювальних робіт при виготовленні корпусу установки для газифікації в основу якого поставлено роботизований спосіб зварювання в захисних газах. Для автоматизації та роботизації виробничих процесів підібрано відповідне обладнання, скомплектоване на базі промислового робота Cybertech KR 12 R1810-2 від KUKA.

Впровадження розробленої технології забезпечить високий рівень якості та надійності виконання складально-зварювальних робіт, та дозволить отримувати готову продукцію високої якості та надійності.

					КРБ. ЗТ - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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. Панчук А., Панчук М., Дейнега Р. Перспективи впровадження технологій піролізу біомаси для збільшення виробництва біопалив. *Нафтогазова енергетика*. 2024. №2.С. 137 -144. DOI:10.31471/1993-9868-2024-2(42)-137-145.
3. Доброногов В. Г. Застосування корозійностійких, жаростійких, жароміцних сталей ісплавів у хімічному машино- та апаратобудуванні [Текст] : навч. посіб. /В. Г. Доброногов, І. О. Мікульонок. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 264 с. –Бібліогр.: с. 256–260.
4. Haider, S. F., Quazi, M. M., Bhatti, J., Nasir Bashir, M., & Ali, I. (2019). Effect of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) parameters on mechanical properties of low-carbon, mild and stainless-steel welded joints: Areview. *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, 5(5), 191–198.<https://doi.org/10.20474/jater-5.5.1>
5. Jha, R., & Jha, A. (2014). Influence of Welding Current and Joint Design on the Tensile Properties of SMAW Welded Mild Steel Joints. *Journal of Engineering Research and Applications*, 4(6), 106–111
6. Bodude, M. A., & Momohjimoh, I. (2015). Studies on Effects of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Welded Low-Carbon Steel. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 3(3), 142–153. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2015.33017>

					КРБ. 3Т - 91. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

7. . M. Al-Saraireh, (2018), “The Effect of Current and Voltage on Mechanical Properties of Low Carbon Steel Products”, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 9, Issue 3, pp. 134–142.
8. Інструкція з напівавтоматичного зварювання сталей.
<https://patonweld.com.ua/42-instruktsiya-po-poluavtomaticheskoy-svarke-stalej>
9. Технологія-та-режими-зварювання-MIG_MAG_GMAW.pdf
10. 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.
11. Ghosh P, Patra S, Chatterjee S, Shome M (2018) Microstructural evaluation of magnetic pulse welded plain carbon steel sheets. *J Mater Process Technol* 254:25–37
12. Автоматизація зварювальних процесів : конспект лекцій / М. В. Панчук, І. М. Сем'яник. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. - 118 с
13. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч.Посібник. – К.: Арістей, 2005. –268с
14. Панчук М.В. Зварювання плавленням : конспект лекцій / М. В. Панчук. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. - 67 с.
15. ДСТУ ISO 4063:2014. Зварювання та споріднені процеси. Перелік і умовні позначення процесів.