

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона  
Кафедра зварювального виробництва**

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ  
(підпис)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**Дипломний проєкт  
на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою  
«Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

**на тему:** Технологія складання та зварювання секції технологічного трубопроводу

Виконав:

студент IV курсу, групи ЗВ-11

Пушкарьов Іван Олександрович \_\_\_\_\_

Керівник:

к.т.н., доцент,

Сливінський Олексій Анатолійович \_\_\_\_\_

Консультант з розроблення стартап-проєкту:

доцент, к.е.н., Глущенко Ярослава Іванівна \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:

Зав. каф., д.т.н., професор

Левченко Олег Григорович \_\_\_\_\_

Рецензент:

зав. каф., к.т.н., доцент,

Кагляк Олексій Дмитрович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона  
Кафедра зварювального виробництва**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма – «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Пушкарьову Івану Олександровичу**

1. Тема проєкту «Технологія складання та зварювання секції технологічного трубопроводу»,  
керівник проєкту Сливінський Олексій Анатолійович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від « 26 » травня 2025 р. № 1733-с
2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2025 р.
3. Вихідні дані до проєкту Ескіз зварного виробу (додається). Матеріал виробу – сплав Ti-Grade 9 (3Al-2,5V). Забезпечення рівномірності зварних з'єднань та відсутності недопустимих дефектів. Річна програма виготовлення виробу – 50 шт. Умови виготовлення – цехові, температура експлуатації – від -50°C до +100°C.

#### 4. Зміст пояснювальної записки:

Виконати конструктивно-технологічний аналіз секції технологічного трубопроводу. Обґрунтувати вибір способів зварювання. Вибрати зварювальні матеріали. Призначити зварні шви згідно нормативних документів. Проаналізувати зварність основного металу, призначити параметри режимів зварювання. Розробити технологічну послідовність складання-зварювання секції технологічного трубопроводу. Адаптувати вибране устаткування для складання і зварювання виробу, враховуючи особливості взаємодії основного металу з атмосферними газами. Виконати компоновання установки для зварювання швів секції технологічного трубопроводу. Призначити способи контролю якості зварних швів. Спланувати розміщення засобів технологічного спорядження на виробничій площі. Скласти операційну карту процесу зварювання. Зробити загальні висновки до технологічного розділу дипломного проєкту. Розрахувати економічний ефект від впровадження розробленої технології у виробництво. Розробити заходи з охорони праці.

#### 5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1. Складальний кресленик секції технологічного трубопроводу (1 А1).
2. Схема технологічного процесу виготовлення секції технологічного трубопроводу (1 А1).
3. Технологічна послідовність складання та зварювання секції технологічного трубопроводу (1 А1).
4. Кресленик устаткування для складання вузлів секції технологічного трубопроводу (1 А1).
5. Кресленик газозахисної камери з контрольованою атмосферою(1 А1).
6. Кресленик установки для зварювання секції технологічного трубопроводу (1 А1).

#### 6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проєкту	Глуценко Я. І., доц.		
Охорона праці	Левченко О. Г., зав. каф.		

#### 7. Дата видачі завдання 20 квітня 2025 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Прим.
1	Аналіз літератури за темою проєкту	до 30 квітня	
2	Детальна розробка і обґрунтування проєктних рішень технологічної частини проєкту	до 15 травня	
3	Розробка економічної частини проєкту	до 20 травня	
4	Розробка інженерних рішень з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	до 20 травня	
5	Оформлення графічного матеріалу	до 25 травня	
6	Оформлення пояснювальної записки і підготовка доповіді на захист	до 9 червня	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Іван ПУШКАРЬОВ

Керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олексій СЛИВІНСЬКИЙ

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проєкту: 52 сторінки, 19 рисунків, 10 таблиць, 40 джерел інформації, 4 додатки.

У дипломному проєкті розроблено технологію складання та зварювання секції технологічного трубопроводу, яка дозволяє отримати якісні з'єднання тонкостінних труб з титанового сплаву Ti-Grade 9 (3Al-2,5V), без недопустимих дефектів, завдяки використанню газозахисної камери з контрольованою атмосферою та спеціалізованої зварювальної оснастки. Також в роботі проаналізовано можливості монетизації розробленої технології шляхом створення стартап-проєкту. Розроблені вимоги та заходи з охорони праці, важливі для дотримання при роботі за даною технологією.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** TIG зварювання, зварювання в газозахисній камері, зварюваність Ti-Grade 9 (3Al-2,5V), зварювання титану, підготовка титану до зварювання, зварювання тонкостінних трубопроводів, зварювання в середовищі аргону, зварювальна оснастка, стартап-проєкт, охорона праці на зварювальних виробництвах.

## **ABSTRACT**

Explanatory note to the diploma project: 52 pages, 19 figures, 10 tables, 40 sources, 4 appendices.

The diploma project developed a technology for the assembly and welding of section of a technological pipeline, which allows obtaining high-quality joints of thin-walled pipes made of titanium alloy Ti-Grade 9 (3Al-2.5V) without unacceptable defects, thanks to the use of gas-shielded chamber with a controlled atmosphere and specialized welding equipment. The project also analyzed the possibilities of monetizing the developed technology through the creation of a startup project. Safety requirements and measures important for compliance during work with this technology were developed.

**KEYWORDS:** TIG welding, welding in a gas-shielded chamber, weldability of Ti-Grade 9 (3Al-2.5V), titanium welding, titanium preparation for welding, welding of thin-walled pipelines, welding in argon atmosphere, welding fixture, startup project, occupational safety in welding production.

## ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	8
ВСТУП.....	9
1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ .....	10
1.1 Призначення виробу, опис конструкції та умови експлуатації.....	10
1.2 Вибір основного матеріалу та оцінка його здатності до зварювання.....	11
1.3 Аналіз зварюваності матеріалу конструкції.....	12
1.4 Вибір способу зварювання .....	14
1.5 Вибір зварювальних матеріалів .....	15
1.6 Аналіз зварних з'єднань та підбір орієнтовного режиму зварювання .....	15
1.7 Процеси та обладнання заготівельного етапу .....	17
1.8 Процеси та обладнання складально-зварювального етапу .....	19
1.9 Процеси та засоби контролю якості .....	24
1.10 План виробничої дільниці .....	26
1.11 Висновки до технологічного розділу .....	27
2. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ .....	29
2.1 Опис ідеї проєкту.....	29
2.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг .....	30
2.3 Технологічний аудит ідеї проєкту .....	32
2.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту .....	33
2.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту .....	34
2.6 SWOT-аналіз .....	34
2.7 Висновки до розділу.....	36
3 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	38
3.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....	38
3.2 Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці .....	39
3.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки.....	42
3.4 Пожежна безпека.....	44
3.5 Висновки до розділу .....	45

<b>ЗВ11.11.01.000 ПЗ</b>				
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Пушкарьов І.О.		
Перевір.		Сливінський О.А.		
Н. контр.		Лисак В.В.		
Затверд.		Квасницький В.В.		
			Літ.	Арк.
			6	56
КПІ ім. Ізгоря Сікарського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона				

ВИСНОВКИ.....	46
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	47
ДОДАТКИ.....	52

						Арк.
						7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ADF – Auto-Darkening Filter (автоматичний світлофільтр у масці зварника).

ASME – American Society of Mechanical Engineers (Американське товариство інженерів-механіків).

ASTM – American Society for Testing and Materials (Американське товариство з випробувань та матеріалів);

DIN – Deutsches Institut für Normung (Німецький інститут стандартизації);

NADCAP – National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program (Програма акредитації постачальників у сфері аерокосмічної та оборонної промисловості);

PPM – parts per million (частинок на мільйон)

SB – Section B (розділ B стандарту ASME щодо кольорових металів);

SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (аналіз сильних і слабких сторін, можливостей та загроз);

TIG – Tungsten Inert Gas (дугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом у середовищі інертного газу);

Ti-Grade 9 – титановий сплав 9-го класу, що містить 3% Al і 2,5% V;

ВПК – військово-промисловий комплекс;

ДБН – державні будівельні норми;

ДНАОП – державні нормативні акти з охорони праці;

ДСТУ – державний стандарт України;

ДСН – державні санітарні норми;

ДП – дипломний проект;

ЗТВ – зона термічного впливу

НПАОП – нормативно-правовий акт з охорони праці;

УШС – універсальний шаблон зварника;

					Арк.
					8
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

## ВСТУП

Трубопроводи з титанових сплавів, в сучасному авіабудуванні та космічній промисловості є незамінними. Причиною тому є безліч факторів, в яку входять і чудове співвідношення маси до міцності, і гарна корозійна стійкість, і широкий температурний діапазон використання. Розробка технологічного процесу виготовлення такого проводу є нагальною та актуальною проблемою, зокрема для ОПК та хімічної промисловості, галузей що стрімко розвиваються та збільшують свою потребу в схожих до розробленої конструкціях. Основною метою даного дипломного проєкту є обґрунтований вибір та розробка складального, зварювального обладнання, послідовності виконання всіх необхідних технологічних операції для створення заданого виробу. Також в роботі будуть розглянуті можливі труднощі при зварюванні основного матеріалу виробу та методи їх уникнення, підібрані розхідні матеріали. До дипломного проєкту також розроблена графічна частина, що складається з чотирьох креслеників, вони відображають та розкривають більш детально конфігурацію обраного обладнання та його взаємодію з виробом.

					Арк.
					9
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

## 1.1 Призначення виробу, опис конструкції та умови експлуатації

Дана секція технологічного трубопроводу є трубою конструкцією, складної конфігурації, частиною системи санітарного обслуговування літака. Вона призначена для транспортування та відведення стічних вод і відходів з бортових санітарних модулів до накопичувального резервуара. Геометрія виробу зумовлена компоувальними обмеженнями корпусу літака з обмеженим простором. Переважно секції подібної конструкції застосовуються у близькомагістральних пасажирських літаках, таких як АН-148, АН-158.

Трубопровід складається з двох тягнутих труб, двох поворотних колін та двох штампованих фланців. Ці деталі збираються між собою за допомогою зварювання. Конструкція має габаритні розміри: 1205 мм × 950 мм × 120 мм; товщину стінки основних труб та колін в 1,2 мм; приблизну очікувану вагу в 3,95 кг.

Конструкція, зображена на рисунку 1.1, призначена для експлуатації за температур від -50 градусів за Цельсієм до +100 градусів за Цельсієм. Під час роботи трубопровід буде піддаватися циклічним навантаженням від перепадів внутрішнього тиску під час збирання та зливу відходів. Не виключено, що також буде певне вібраційне навантаження від силових установок літака розміщених поруч. Крім цього, хімічне середовище всередині трубопроводу може містити воду, залишки миючих засобів, біологічні відходи, дезінфікуючі речовини. Це висуває вимоги хімічної інертності та високої корозійної стійкості до матеріалу виготовлення конструкції. Приблизний очікуваний термін експлуатації складає 15 років.

						Арк.
						10
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

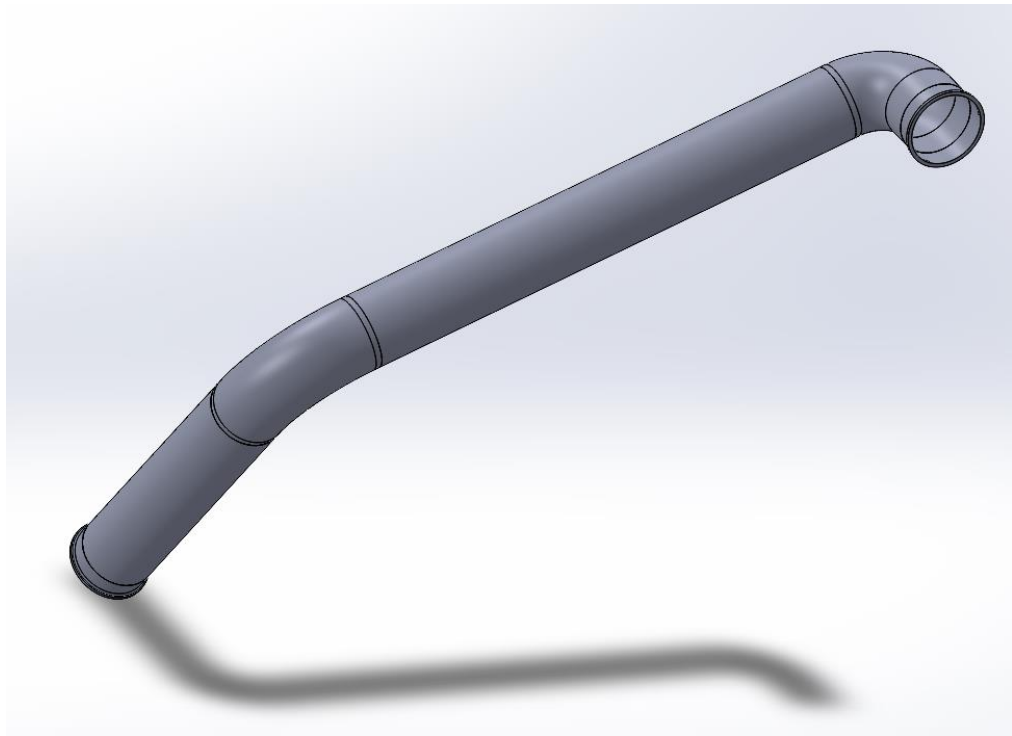


Рисунок 1.1 – Модель секції трубопроводу

## 1.2 Вибір основного матеріалу та оцінка його здатності до зварювання

Аналогічні конструкції зазвичай виготовляють з титанових сплавів, що мають псевдо  $\alpha$  структуру, або ж  $\alpha + \beta$ , так як саме такі матеріали здатні забезпечити високу міцність, одночасно маючи достатньо гарну зварюваність. Низька вага, при великій міцності є головною, але не єдиною причиною застосування сплаву Ti Gr9 для виготовлення даного трубопроводу. Так як температура навколишнього середовища буде циклічно змінюватись при наборі та скиді висоти, ще однією, з причин обрати такий основний матеріал, є його малий коефіцієнт лінійного температурного розширення, наряду з мінімальною зміною властивостей протягом всього робочого температурного діапазону, заданого умовами експлуатації. Дані щодо його властивостей представлені у таблицях, зокрема, хімічний склад у таблиці 1.1, механічні властивості у таблиці 1.2.

					Арк.
					11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву Ti Grade 9, ваг. % [1]

Елемент	C	Fe	N	O	H	Al	V
Мінімум						2.5	2
Максимум	0.08	0.25	0.03	0.15	0.015	3.5	3

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву Ti Grade 9 [1]

Межа плинності	Межа міцності	Відносне подовження при розриві
520 МПа	620 МПа	20%

### 1.3 Аналіз зварюваності матеріалу конструкції

Загалом, псевдо  $\alpha$ -сплави мають гарну здатність до зварювання, але є ряд проблем характерних саме для них. Основними легуючими елементами сплаву GR9 є алюміній та ванадій.

Основною проблемою при зварювання титанових сплавів та GR 9 зокрема, є утворення пор. Титан має досить високу хімічну активність, яка зростає ще більше при підвищенні температури та високий ступінь спорідненості з деякими газами, такими як водень, кисень, азот. Вуглекислий та чадний газ, що утворюються при реакції оксидної плівки з вуглецем в атмосфері також часто призводять до утворення пор. Матеріал здатний та схильний до розчинення в собі великих кількостей цих газів під час зварювання, в нагрітому стані. При охолодженні титану, кількість газів, що він здатний розчинити різко спадає, що призводить до їх виштовхування на поверхню та до утворення газових пор в самому металі. Для уникнення цього дефекту є вкрай важливим правильно підготувати поверхню зварюваного виробу та зварювальні матеріали.

Такі дефекти, як пори, можуть впливають і на утворення інших дефектів, наприклад, холодних тріщин. Це пов'язано з тим, що виділення водню з твердого розчину з утворенням гідридів титану та мікропор відбувається здебільшого по

						Арк.
						12
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

краю ЗТВ, де структура є вже і без того ослабленою, через збільшену твердість. Це показано на рисунку 1.2.

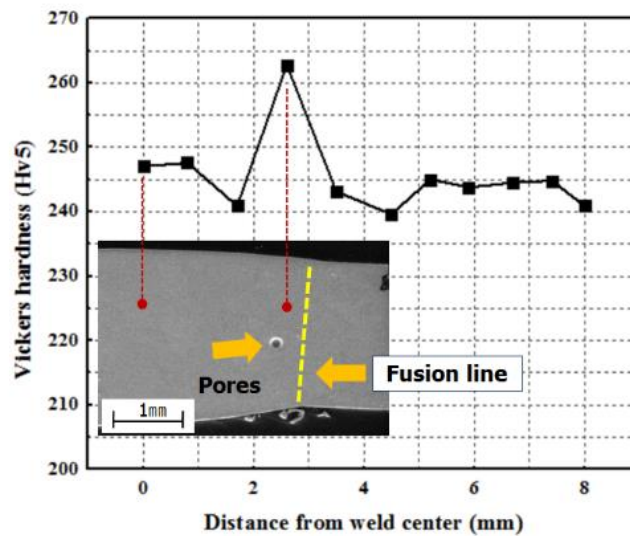


Рисунок 1.2 – Розташування пор та твердість GR 9 у ЗТВ [2]

Такий процес призводить до того, що під дією локальних внутрішніх напружень, що складаються з залишковими та напруженнями від зовнішніх навантажень виникають тріщини, а пори виступають у ролі концентраторів напруження. Цю думку також підтверджує той факт, що концентрація пор навколо тріщин є найбільшою. Як це виглядає можна побачити на рисунку 1.3. Холодні тріщини можуть виникати як одразу після остигання, так і через досить значні проміжки часу, до 365 діб після зварювання. В літературі [3] є приклади, в яких експериментальним шляхом було встановлено, що більша концентрація шкідливих газів у металі шва, значно зменшує час необхідний для появи холодних тріщин. Це ще раз показує необхідність ретельної підготовки деталей до зварювання та захисту ЗТВ за допомогою інертних газів.

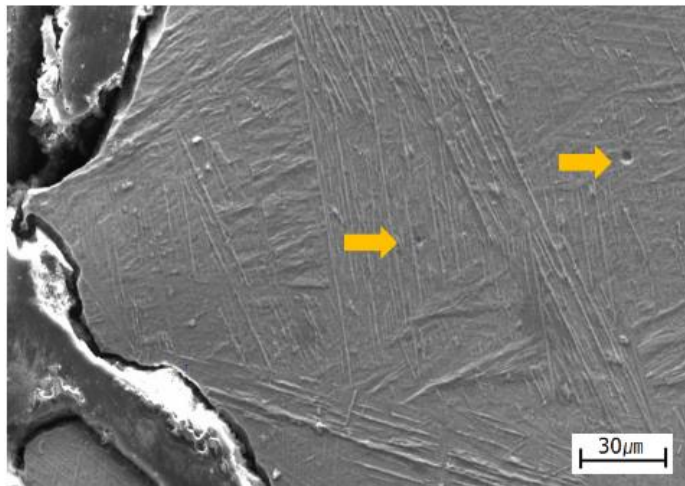


Рисунок 1.3 – Розташування пор в зоні розтріскування [2]

Гарячі тріщини серед титанових сплавів зустрічаються вкрай рідко, в першу чергу через високу пластичність матеріалу в температурному інтервалі крихкості, а також невелику протяжність цього інтервалу.

#### 1.4 Вибір способу зварювання

Для обраного нами титанового сплаву, як вже було сказано, є характерною вкрай висока хімічна активність. Саме вона нам не дозволяє отримати шви задовільної якості такими способами як: ручне дугове зварювання покритим електродом, будь-яке зварювання в активних газах або ж газове зварювання.

Через малу товщину листів (1,2 мм) відкидаємо електрошлакове зварювання, а також зварювання під флюсом. Контактні види зварювання можна відкинути через недостатню якість кореня шва, його протяжність в 800 мм та порушення геометрії обичайки в цілому.

Так як навантаження на зварні шви, передбачені умовами експлуатації, є незначними, а серія на виготовлення не надто велика (50 штук), використання найбільш високовартісних способів зварювання є недоцільним. На підставі цього відкидаємо лазерні, електронно-променеві та плазмові способи. Зварювання плавким електродом в інертних газах може не забезпечити необхідну якість через

					Арк.
					14
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

те, що при крапельному переносі металу титан може насичуватись шкідливими газами. Розбрикування може погіршити візуальний вигляд шву, а подача дроту ускладнити контроль ванни зварником, що є критичним на такій малій товщині. Тому обираємо спосіб зварювання неплавким електродом в інертному газі, який здатний забезпечити гарну якість, порівняно невеликі затрати на обладнання, до того ж, є досить розповсюдженим, що позитивно впливає на простоту обслуговування та забезпечення виробництва необхідним персоналом. З огляду на товщину стінки та вимоги до з'єднань обираємо спосіб зварювання без додавання присадного дроту 141 за ISO 4063 [4].

### **1.5 Вибір зварювальних матеріалів**

Ключову роль у зварюванні титанових сплавів відіграють захисні інертні гази. Інколи застосовують суміші аргону та гелію, але частіше використовують чистий аргон, враховуючи добру зварюваність GR 9 він може забезпечити достатній захист. Обираємо Argon 6.0 з чистотою 99,99% згідно до ISO 14175 [5].

Для зварювання заданого титанового сплаву за технологією TIG, доцільним є використання вольфрамових неплавких електродів з додаванням оксиду лантану, а саме WLa 20 за ISO 6848:2015 [6]. Вони дозволяють убезпечити зварювальну ванну від потрапляння домішок у вигляді електродного металу, а також забезпечують стабільне горіння дуги, легке підпалювання та довговічність. Зазвичай такі електроди мають блакитне маркування. Присадного дроту застосовано не буде.

### **1.6 Аналіз зварних з'єднань та підбір орієнтовного режиму зварювання**

Для виготовлення секції технологічного трубопроводу заданої конструкції використовується зварювання п'яти однотипних швів. Всі вони є кільцевими, стиковими швами з товщиною стінки з обох боків 1,2 мм, мають однаковий переріз, зображений на рисунку 1.4.

						Арк.
						15
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

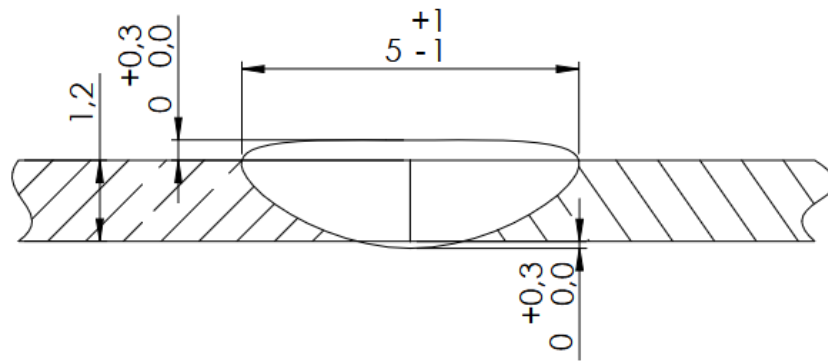


Рисунок 1.4 – Ескіз перерізу зварних швів

Розкриття крайок на заданій товщині не виконується, зазор відсутній, допускається до 0,3 мм. Так як методика розрахунку режиму зварювання для титанових сплавів відсутня, параметри будуть підібрані за довідковими джерелами, в яких описане зварювання псевдо- $\alpha$  сплавів, близьких за характеристиками до Gr 9. Дані, зібрані під час аналізу літературних джерел [2, 7] усереднені та представлені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Режим зварювання Ti Grade 9

Товщина металу, мм	Діаметр вольфрамового електроду, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Род струму, полярність
1,2	1,6	45 – 65	10 – 14	Постійний, пряма

## 1.7 Процеси та обладнання заготівельного етапу

Для виготовлення секції технологічного трубопроводу передусім потрібно доставити на склад зварювального виробництва необхідні напівфабрикати. Це суцільнотягнуті труби з зовнішнім діаметром 120 мм, з товщиною стінки 1,2 мм та довжинами 470 мм та 830 мм, зі сплаву Grade 9; штамповані відводи з кутом 70 та 90 градусів; фланці, виготовлені за вказаними на кресленнях розмірами. Це все поставляється на склад напівфабрикатів. Під час отримання перевіряється наявність сертифікації за ASTM B363 [8] або ASME SB 363 [9]. Далі набори заготовок транспортуються до ділянки підготовки до зварювання. Там відбувається механічне очищення ділянок завширшки 30 мм від з'єднуваних крайок. Після цього відбувається етап хімічного очищення, який складається з розрихлення оксидної плівки, травлення та освітлення. Технологія проведення такої процедури подана в таблиці 1.4. Хімічне очищення відбувається у спеціальних ваннах, які зображені на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Ванна для травлення [10]

					Арк.
					17
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 1.4 – Режим травлення заготовок зі сплаву Ti Grade 9 [11]

Призначення розчину	Склад	Тривалість витримки
Розрихлення оксидної плівки	150 г/л – 250 г/л нітриту натрію; 500 г/л – 700 г/л вуглекислого натрію	10 хв – 30 хв
Травлення	480 мл/л – 550 мл/л азотної кислоти; 220 мл/л – 300 мл/л плавикової кислоти	30 с – 90 с
Освітлення	600 мл/л – 700 мл/л азотної кислоти; 85 мл/л – 100 мл/л плавикової кислоти	30 с – 45 с

Після обробки травленням заготовки знежирюються спиртом або ацетоном та переміщуються за допомогою ручного візка, на ділянку складання та зварювання. Важливо, що після знежирення робітники не мають торкатися зони біля крайок руками, окрім як в чистих рукавицях.

Для спрощення транспортування комплектів заготовок, а також готових виробів по цеху застосовується візок складський з бортами. Він зображений на рисунку 1.6. Візок має габаритні розміри: 1185 мм × 780 мм × 630 мм [12].

					Арк.
					18
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	



Рисунок 1.6 – Ручний візок [12]

### 1.8 Процеси та обладнання складально-зварювального етапу

Коли заготовки прибувають на зварювальну дільницю, вони всі закладаються в газозахисну камеру з контрольованою атмосферою, для того що б не витратити газ на наповнення камери після зварювання кожного сегменту окремо. Для кожного шва спочатку виконується збирання на затискачах, потім постановка прихоплень і потім посегментне заварювання. Важливою є послідовність виконання швів, що зазначена на креслениках, так як саме вона дозволяє виконувати шви у зручних положеннях, з коректним позиціонуванням. Для зварювання перших двох швів оснастка та притискачі розташовуються так, як зображено на рисунку 1.7, в них встановлюється труба 470, до якої на зовнішніх centruвачах приєднуються фланець та відвід 70. Повітря відкачується, камера наповнюється аргоном. Тільки коли концентрація аргону досягає максимальних значень, а концентрація кисню спадає від 20 ppm (частин на мільйон) до 30 ppm [7] починається зварювання. Спочатку виконується розстановка прихоплень завдовжки від 3 мм до 5 мм, з кроком 90 градусів. Після цього centruвач знімається для повного заварювання шва. Для зручності зварника конструкцію можна обертати навколо осі труби, послабивши затискачі.

					Арк.
					19
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

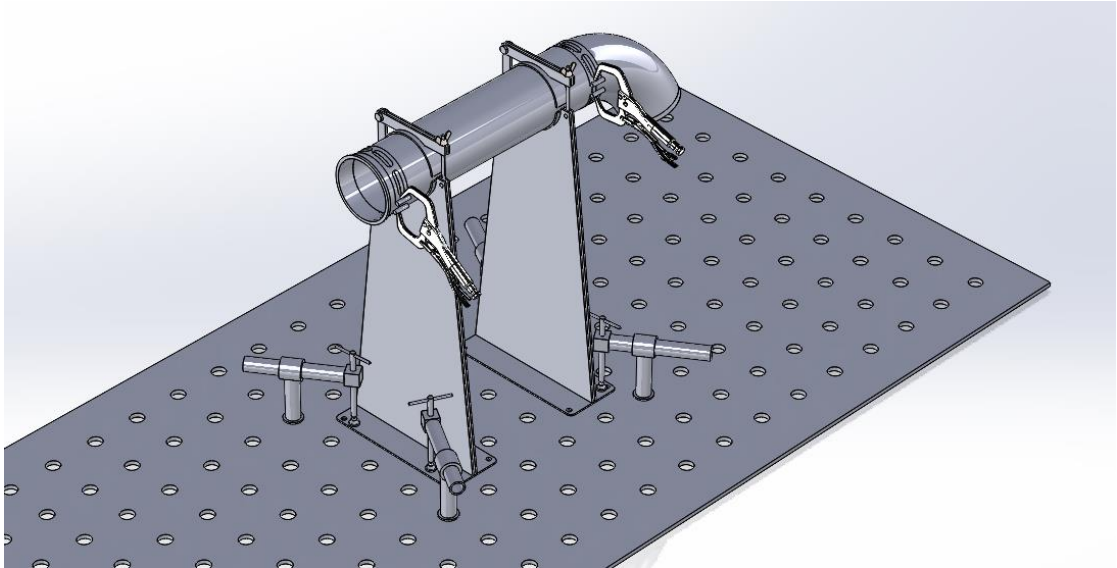


Рисунок 1.7 – Розташування заготовок та притискачів в середині камери при зварюванні швів № 1 та № 2

Після закінчення зварювання перших двох швів, готова частина конструкції виймається з притискачів та відкладається в сторону. Для зварювання третього шву у закріплену оснастку встановлюється відвід 90 та фланець, для зручності збірку можна обертати навколо осі фланця. Цей етап зображений на рисунку 1.8.

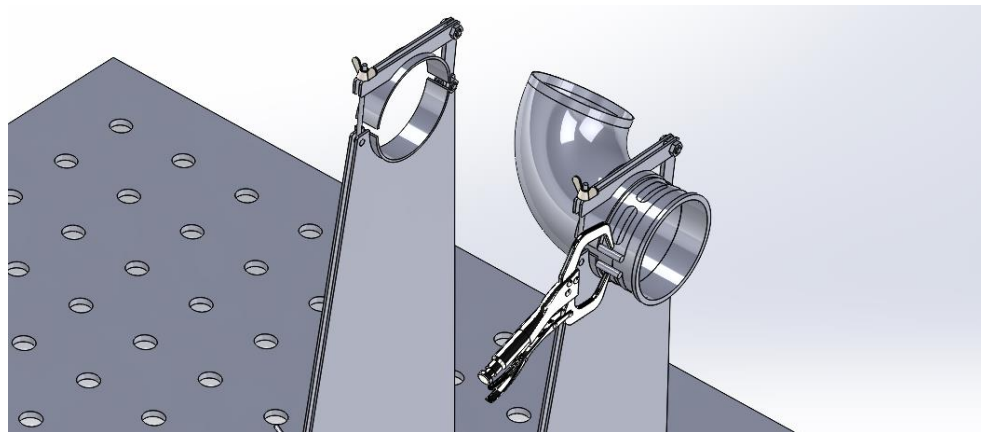


Рисунок 1.8 – Розташування заготовок та притискачів в середині камери при зварюванні шва № 3

					Арк.
					20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

На наступному етапі, для виконання шва № 4, у оснастку встановлюється труба 830, до неї приєднується відвід 90 на центрувачі, з уже приєднаним фланцем. Цей етап зварювання зображений на рисунку 1.9.

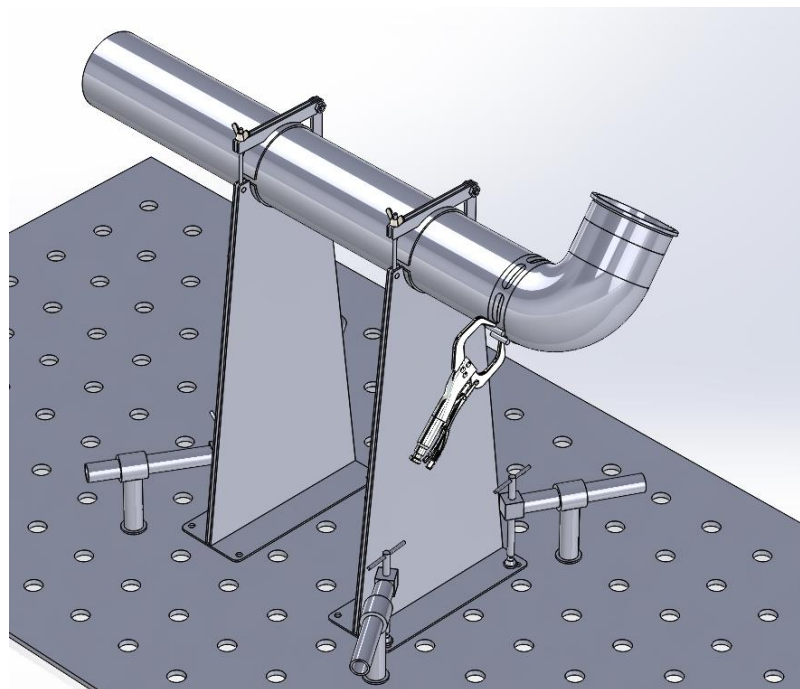


Рисунок 1.9 – Розташування заготовок та притискачів в середині камери при зварюванні шва № 4

Після цього потрібно встановити притискне обладнання так, як це показано нап затиснути збірку СО-1, що складається з труби 830 та відводу 90 з фланцем. Приєднати до них збірку СО-2, що складається з труби 470 з фланцем та відводу 70 за допомогою зовнішнього центрувача. Вставити пробку регульованої опори у фланець збірки СО-2, притиснути платформу опори до столу. Встановити кутомір на трубу 470 та задати її кут відносно площини столу в 49 градусів, налаштуванням висоти опори. Після постановки прихоплень, опору з налаштуванням висоти можна прибрати, як і один із затискачів, що б можна було обертати конструкцію по осі труби 830. Положення заготовок та оснастки для зварювання шва № 5 відображає рисунок 1.10.

						Арк.
						21
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

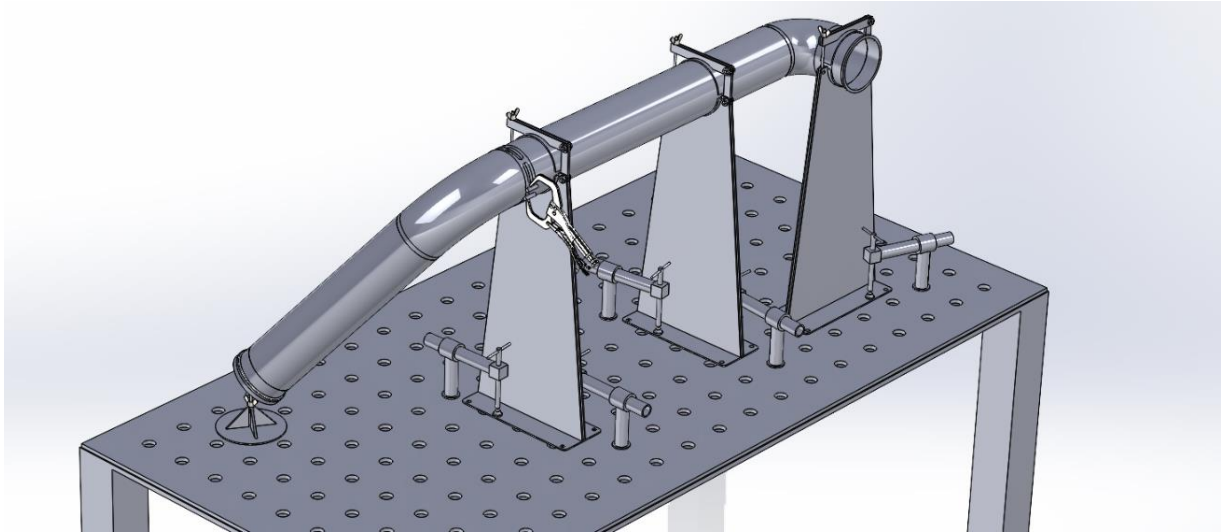


Рисунок 1.10 – Розташування заготовок при зварюванні шва № 5

Зобладнання для зварювання, використовується джерело живлення Tesla Weld TIG/MMA 200. Так як режими зварювання для тонкостінних труб є малопотужними, цього джерела вистачить з запасом. За всіма іншими характеристиками джерело теж підходить для заданого використання. Деякі характеристики цього апарату та сам апарат зображені на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 – Зварювальне джерело Tesla Weld [13]

					Арк.
					22
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Також, для коректної роботи газозахисної камери, для контролю чистоти аргонової атмосфери потрібен газоаналізатор. В нашому випадку це буде Argweld PurgEye 500 Desk. Він може забезпечити контроль за атмосферою в камері та просигналізувати у разі, якщо її буде порушено. Газоаналізатор зображено на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Argweld PurgEye 500 Desk [14]

Для відкачки повітря з камери потрібен вакуумний насос з достатньою потужністю та продуктивністю, що б забезпечити мінімальні часові витрати на наповнення газозахисної камери аргоном. Саме таким є насос вакуумний 2НВР-5ДМ, зображений на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Насос вакуумний 2НВР-5ДМ [15]

					Арк.
					23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

## 1.9 Процеси та засоби контролю якості

Для контролю геометрії складання труб, при виконанні шва №5, використовується цифровий кутомір. Цей прилад має забезпечити контроль кута між двома готовими секціями трубопроводу, встановлюється на деталь труба 470, а базується по поверхні зварювального столу камери. Достатнім для забезпечення точності є кутомір цифровий магнітний GoSmart Sola. Цей прилад зображено на рисунку 1.14, він має базу у 80 мм та вимірювання кута з похибкою у п'ять сотих градуса [16]. Його необхідно притиснути до труби або ж встановити на металевий центрувач за допомогою вбудованого магніту.



Рисунок 1.14 – Кутомір цифровий GoSmart Sola [16]

Після завершення зварювання секція трубопроводу переміщується в зону контролю якості. На етапі контролю потрібно упевнитись у відсутності недопустимих дефектів на швах та у навколошовній зоні, проконтролювати геометрію з'єднань. Геометрію шву можна перевірити за допомогою універсального шаблону зварника, зображеного на рисунку 1.15. Геометричні розміри мають знаходитись в рамках допусків, заданих на кресленні.

					Арк.
					24
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

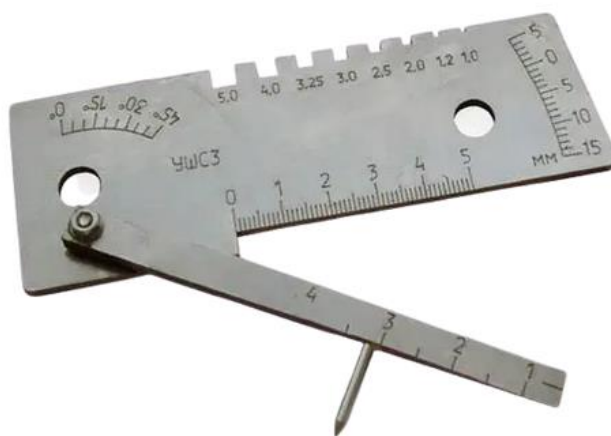


Рисунок 1.15 – Універсальний шаблон зварника УШС-3 [17]

Для виявлення недопустимих дефектів у вигляді пор, свищів, тріщин і подібних, використовується метод капілярного контролю. Це один з найбільш ефективних методів неруйнівного контролю, також відомий як метод проникнення, що базується на здатності рідини з низьким поверхневим натягом проникати в мікротріщини або пори під дією капілярного ефекту. Для контролю якості зварювання секції технологічного трубопроводу застосовується варіант з флуорисцентним пенетрантом, що світиться під дією ультрафіолетового випромінювання. Він забезпечує більшу чіткість проявлення малих за розміром дефектів, ніж інші варіанти пенетрантів.

На етапі контролю, коли готовий виріб потрапляє до відповідної ділянки, в першу чергу, на контрольні області наносять пенетрант MR 68 NF, зображений на рисунку 1.16. Після його висихання проводиться очистка поверхні виробу від надлишків за допомогою спеціального очисника MR 88, зображеного на рисунку 1.18. На фінальному етапі капілярного контролю потрібно нанести проявник MR 70 (рис. 1.16) та ретельно оглянути всі шви в ультрафіолетовому світлі.

					Арк.
					25
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	



Рисунок 1.16 – Пенетрант MR 68 NF, очисник MR 88 та проявник MR 70 [18]

### 1.10 План виробничої ділянки

Планування виробничої ділянки починається з вибору довжини прольоту та кроку колон. Ці розміри прийняті стандартними для зварювальних виробництв [19] у розмірі 18 м для прольоту та 12 м для кроку колон відповідно. В даному випадку буде розроблену схему розміщення у будівлі з двома прольотами (рис. 1.17). Такі габарити забезпечують достатню кількість місця для розміщення всіх необхідних ділянок, складів та обладнання для виготовлення секцій технологічного трубопроводу. Також, враховуючи обсяг виробництва у всього 50 одиниць, застосування не механізованої ручної праці, простоту налагодження виробництва більшої кількості подібних конструкцій, допустимим є залишити частину площі не зайнятою. Згодом туди можна розмістити додаткові робочі місця та необхідне обладнання зі складами, без необхідності змінювати розташування наявного.

						Арк.
						26
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

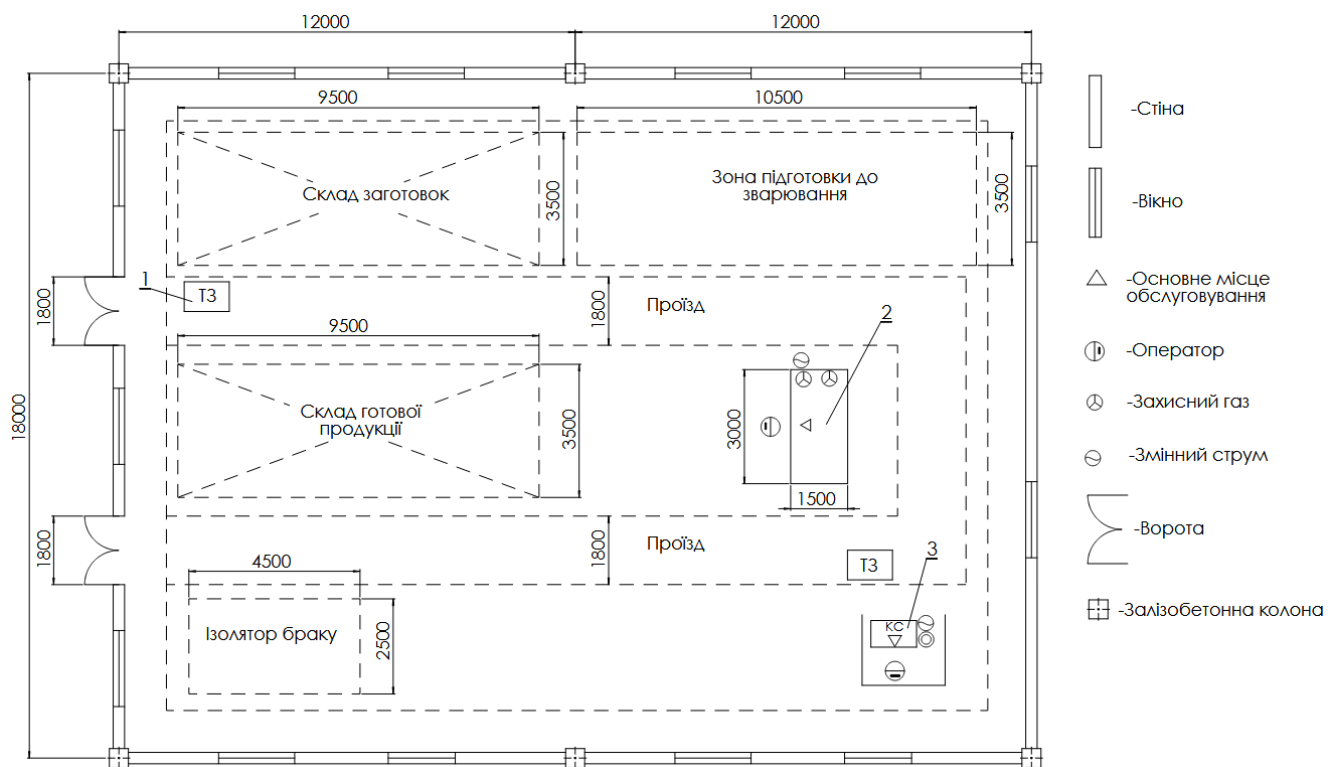


Рисунок 1.17 – Схема виробничої ділянки

На рисунку 1.17 зображена актуальна для процесу складання та зварювання секції технологічного трубопроводу схема розміщення засобів технологічного спорядження на виробничій площі. Під номером 1 на ній зображений транспортний засіб, а саме ручний візок обраний та описаний вище. Під номером 2 схематично показано устаткування для зварювання, що включає газозахисну камеру, пересувний стіл зі зварювальним апаратом, газоаналізатором та насосом, балонне обладнання. Під номером 3 зображено контрольний стіл, де проводиться контроль швів на готових виробах.

### 1.11 Висновки до технологічного розділу

В даному розділі було розроблено технологію складання та зварювання технологічного трубопроводу. Проведено аналіз здатності до зварювання основного матеріалу виробу, обрано та обґрунтовано спосіб зварювання, підібрані оптимальні режими зварювання та витратні матеріали, визначено вимоги до

					Арк.
					27
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

геометрії з'єднання та самого шва. Також було підбрано необхідне обладнання, розроблена оснастка та технологія складання-зварювання виробу. Створено схему розташування обладнання на виробничій площі. Запропонована технологія відповідає вимогам установленим умовами експлуатації та дозволяє створювати надійні, міцні з'єднання труб подібної конфігурації з титанових сплавів, не потребує доопрацювання.

						Арк.
						28
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

### 2.1 Опис ідеї проєкту

Зміст ідеї стартап-проєкту полягає у впровадженні розробленої технології складання та зварювання у наявні підприємства або ж створенні нових зі спеціалізацією на подібному виробництві, з метою отримання фінансової вигоди. Сама ж технологія являє собою таку сукупність обґрунтовано підібраних спеціалізованих методів виробництва та обладнання, включно з розробленою в даному дипломному проєкті оснасткою, яка дозволяє налагодити виробництво секцій тонкостінних титанових трубопроводів складної конфігурації із забезпеченням високого рівня якості та бездефектності герметичних зварних з'єднань.

Одним з найбільших напрямків застосування подібних конструкцій є авіабудівна промисловість, так як титанові сплави мають гарне відношення міцності до маси, а також стійкість до значних температурних коливань. Основною перевагою для цієї галузі економіки буде якість виготовлення трубопроводів, забезпечена розробленою технологією, а також можливість створення складних, нестандартних просторових конфігурацій.

Значну купівельну спроможність та потребу у титанових трубопроводах демонструє хімічна промисловість. Для більшості застосувань в цій галузі також потрібна висока якість та герметичність з'єднань, так як подібні конструкції часто працюють під впливом агресивних, корозійних середовищ або ж призначені для транспортування небезпечних речовин. Ці якості забезпечуються найкраще при використанні розробленої технології та можуть стати значною перевагою в конкурентній боротьбі. Для більш наглядної подачі інформації вищеописані дані будуть згруповані в таблиці 2.1.

					ЗВ11.11.02.000 ПЗ			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Пушкарьов І.О.			<b>Розроблення стартап-проєкту</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Глушенко Я.І.					29	56
Н. контр.		Лисак В.В.				КПІ ім. Ізгоря Сікарського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона		
Затверд.		Квасницький В.В.						

Таблиця 2.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Застосування вищеописаної технології виготовлення секцій трубопроводу, що забезпечує максимально високу якість з відносно незначними витратами.	Авіабудування	Висока якість, можливість створення секцій зі складною просторовою конфігурацією
	Хімічна промисловість	Висока стійкість до агресивних середовищ, якість, герметичність

## 2.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг

Для того, що б краще проаналізувати конкурентоспроможність наявної ідеї, буде проведено аналіз її техніко-економічних переваг та недоліків, порівняння з іншими компаніями, що виробляють схожу продукцію.

З економічних показників варто зазначити порівняно незначні витрати на запуск виробництва (обсяг початкових інвестицій), що пов'язано з мінімальним застосуванням дороговартісного автоматичного обладнання з коштовним обслуговуванням. Ручне зварювання на малопотужних режимах дозволяє використовувати більш дешеві апарати. (обладнання з низькою вартістю обслуговування).

З технічних показників найголовнішими є висока міцність та герметичність з'єднань (технічне виконання швів), забезпечені правильним підбором режиму, обладнання та розхідних матеріалів; а також висока точність позиціонування елементів секції один відносно іншого завдяки розробленій оснастці.

Технологічність процесу виготовлення також зумовлена оснасткою, яка забезпечує швидке збирання та точне розміщення елементів у просторі (Точність виготовлення), дозволяє економічно витратити час робітників (трудомісткість виготовлення).

						Арк.
						30
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Через те, що однакових або схожих секцій трубопроводів зі встановленою ціною у відкритих джерелах знайти неможливо, а більшість подібних збірок виготовляється на замовлення під конкретну модель літака або ракети самими авіабудівними компаніями для власного вжитку, за власними ж технологіями засекреченими для широкого загалу, зробити порівняння ідеї стартапу з конкурентами вкрай складно. Втім є декілька компаній, чия діяльність є досить публічною та відкритою.

STS Aerospace — одна з найбільш відомих компаній, що займається виготовленням жорстких та гнучких трубних конструкцій, в тому числі з титанових сплавів, ремонтом гідравлічних та паливних систем в літаках та космічних апаратах.

TiFab (Titanium Fabrication) — одна з найбільших в світі компаній, що працює над виготовленням та ремонтом титанового устаткування, першочергово, в галузі хімічної промисловості. Виробляє в основному трубопроводи, резервуари, апарати для переробки нафти, обладнання для ВПК.

Таблиця 2.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		
		Мій проєкт	STS Aerospace	TiFab
1.	Обсяг початкових інвестицій	S	W	W
2.	Вартість обслуговування обладнання	S	W	W
3.	Технічне виконання швів	N	N	N
4.	Трудомісткість виготовлення	S	N	N
5.	Точність виготовлення	S	N	W

Таблиця 2.2 наглядно демонструє переваги розробленої технології над основними конкурентами в показниках економічності та технологічності, але ці

переваги є суто потенційними та теоретичними, так як немає можливості дізнатися які саме технології використовують конкуренти.

### 2.3 Технологічний аудит ідеї проекту

В даній частині буде розглянуто технологічні можливості для втілення розробленої ідеї, результати аудиту занесені до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технологічна здійсненність проекту

Ідея проекту	Технологія реалізації ідеї проекту	Наявність технологій	Доступність технологій
Технологія складання та зварювання секції технологічного трубопроводу	Зварювання 141 способом	Наявна	Доступна
	Сукупність використаних технологій підготовки до зварювання	Наявна	Доступна
	Капілярний флуорисцентний контроль	Наявна	Доступна
	Зварювання в камері з контрольованою захисною атмосферою	Наявна	Доступна

З таблиці 2.3 видно, що ідея проекту є доступною для втілення, не потребує додаткових розробок та використовує актуальні ідеї які наявні на більшості сучасних зварювальних виробництв, що спеціалізуються на роботі з титановими сплавами.

## 2.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для того, що б чіткіше окреслити можливості монетизації ідеї стартап-проекту потрібно проаналізувати стан ринку подібних виробів, а саме: визначити динаміку його розвитку, його об'єми, фактори, окрім фінансових вкладень, що створюють певний поріг входу. Дані структуруємо в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3-4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2 млрд доларів США
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Необхідність сертифікації зварювальних швів, необхідність найму висококваліфікованих зварників
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ASME B31.3 у хім. промисловості; NADCAP у аерокосмічній
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10-15 %

Враховуючи, що річна ставка банківського вкладу в кращому випадку ледь перекидає інфляцію валюти, очевидним є висновок, що для отримання прибутку інвестування в стартап-проект є більш вигідним. Зростаючий ринок титанових трубопроводів є достатньо рентабельним, з невеликою кількістю конкурентів. Це дає можливість охарактеризувати умови для реалізації даної ідеї як сприятливі.

						Арк.
						33
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Надалі будуть визначені потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи. Отримані під час аналізу дані структуруємо в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Необхідність у легких та міцних трубопроводах.	Авіабудування	Відмінності мінімальні, переважно у вимогах до форми поставки (трубопровід в зборі або частинами)	Відповідність всіх технічних характеристик заявленим, надійність, довговічність
2	Необхідність у герметичних трубопроводах, стійких до агресивних середовищ	Хімічна промисловість	Відмінності у вимогах до сплавів в залежності від речовин, що транспортуються.	Довговічність, корозійна стійкість, відсутність забрудників та неоднорідностей.

## 2.6 SWOT-аналіз

Далі буде виконано SWOT-аналіз — один з ключових етапів оцінки перспектив впровадження стартапу. Цей метод стратегічного аналізу дозволяє всебічно розглянути внутрішні та зовнішні чинники, що можуть як сприяти досягненню цілей, так і перешкоджати їм. У межах SWOT-аналізу вивчаються чотири основні компоненти: сильні сторони (Strengths), слабкі сторони (Weaknesses), можливості (Opportunities) та загрози (Threats). Такий підхід дає змогу об'єктивно оцінити поточний стан проекту, сформуванати обґрунтовану

					Арк.
					34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

стратегію його розвитку та вчасно ідентифікувати потенційні ризики. Нижче буде виконаний загальний огляд, а основні тези будуть занесені до таблиці 2.6.

До сильних сторін проекту можна віднести вже описані вище якості, такі як: висока надійність та герметичність, найнижчий з можливих рівень дефектності швів, довговічність з'єднань. Це все забезпечується розробленою технологією складання та зварювання. Також розроблена оснастка дозволяє забезпечити високий рівень гнучкості виробництва, легко налагодити виробництво типових трубопроводів різної конфігурації.

Слабкими сторонами ідеї стартап-проекту можуть бути низький рівень автоматизації складально-зварювальних процесів та відповідно відносно низька продуктивність ручної праці. Також можна зазначити обмеженість просторових розмірів трубних конструкцій, яка виникає через застосування зварювальної камери з захисною атмосферою, відносно високі витрати захисного газу. Необхідність у висококваліфікованому персоналі

Можливості для розвитку ідеї полягають у зростаючих темпах розвитку галузей комерційної та військової авіації, де найчастіше застосовуються подібні вироби. Також продукція стартап-проекту застосовується в ракетобудуванні, як оборонної сфери застосування так і цивільної. Зростаючий ОПК по всьому світу може забезпечити інвестування в даний проект. Відносно низька конкуренція на ринку титанових трубопроводів та висока додана вартість цієї продукції також є можливостями для втілення.

Загрозою для втілення ідеї стартап-проекту, конкретно в Україні, є вкрай обмежена, в зв'язку з мобілізацією, кількість необхідних робітників на ринку. Також завжди є загроза руйнувань робочих цехів через цілеспрямовані обстріли при роботі на опк, або ж падіння збитих ракет та дронів. Сюди ж можна додати зростання цін на металопрокат та розхідні матеріали.

						Арк.
						35
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Результати SWOT аналізу проєкту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>–Мінімальні стартові вкладення;</li> <li>–Висока якість та герметичність швів;</li> <li>–Висока гнучкість виробництва;</li> <li>–Надійність та довговічність конструкцій</li> </ul>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Низький рівень автоматизації;</li> <li>– Високі витрати захисного газу;</li> <li>– Обмежені просторові розміри конструкції</li> </ul>
<p><b>Можливості:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ріст ринку основних покупців;</li> <li>– Можливість державної підтримки;</li> <li>– Низька конкуренція;</li> <li>–Висока додана вартість</li> </ul>	<p><b>Загрози:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Недостача працівників на ринку;</li> <li>– Загроза руйнувань цехів;</li> <li>–Ріст цін на сировину.</li> </ul>

На базі розробленої SWOT-матриці найбільш доцільним виглядає вибір SO стратегії, яка полягає у максимізації використання сильних сторін проєкту в комбінації з упором на реалізацію зовнішніх можливостей. Всі перераховані вище сильні сторони можуть і будуть реалізовані, так як вони є невід’ємною частиною розробленої технології.

Обґрунтування вибору. Мінімізація ризиків та загроз є неможливою в деяких аспектах, або недоцільною, так як не на всі загрози можна вплинути. Слабкі сторони проєкту також є переважно неунікненними, при отриманні наявних переваг, можна ними знехтувати. Доцільніше працювати з сильними сторонами і можливостями, так як це дасть більшу економічну вигоду, а зовнішні умови є досить сприятливими.

## 2.7 Висновки до розділу

Аналіз можливостей комерціалізації наявної ідеї у вигляді стартап-проєкту чітко вказує на значні можливі успіхи завдяки попиту, що зростає разом з капіталізацією галузі, забезпечуючи високу рентабельність роботи. Обрана стратегія розвитку та максимізації прибутку ґрунтується на об’єктивних ринкових

						Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

даних та здатна забезпечити окупність проєкту в найближчому майбутньому. Всі технології, необхідні для втілення ідеї є загальнодоступними та відносно дешевими, стартап-проєкт готовий до реалізації в будь-який час, але для реалізації на території України є певні ризики, які потрібно враховувати при виборі міста та приміщень виробництва.

						Арк.
						37
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

У даному розділі дипломного проєкту розглянуто сукупність загроз для життя та здоров'я робітника, яким треба запобігти. А також заходи з охорони праці, яких необхідно вжити при виконанні зварювальних робіт за розробленою технологією складання та зварювання секції технологічного трубопроводу.

#### 3.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Ручне дугове зварювання неплавким електродом у середовищі захисних газів, що застосовується в процесі виготовлення секції трубопроводу, згідно з ДСТУ 2456-94 [20], може бути небезпечним для життя та здоров'я робітників. Серед шкідливих факторів можна виокремити кілька основних груп: фізичні, хімічні, електричні, психофізіологічні [21].

Хімічним фактором ризику може бути аерозоль, що утворюється в процесі зварювання та зазвичай потрапляє в органи дихання робітників. Проте в технологічному процесі, що використовується в даному проєкті, застосовується герметична газозахисна зварювальна камера з контрольованою атмосферою, гази з якої відводяться з робочого місця. Крім того, утворення аерозолів є мінімальним через те, що в зв'язку з дуже малою товщиною стінки зварюваних труб, використовується малопотужний режим.

До групи фізичних факторів впливу входить, в першу чергу, світлове випромінювання. При застосуванні 141 способу зварювання виникає стиснена дуга з надзвичайно високою температурою, що має небезпечну яскравість в ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному спектрах. Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [22] інтегральна допустима щільність теплового потоку має бути меншою за 140 Вт/м<sup>2</sup>. Перевищення цього рівня може бути небезпечним

					<b>ЗВ11.11.03.000 ПЗ</b>			
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Пушкарьов І.О.</i>			<b>Охорона праці</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архувів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Левченко О.Г.</i>					38	56
<i>Н. контр.</i>		<i>Лисак В.В.</i>				<i>КПІ ім. Ізгоря Сікарського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Квасницький В.В.</i>						

та спричинити опіки шкіри. Також сюди можна віднести звукове навантаження, в даному випадку створене переважно насосом, що відкачує повітря з камери. Рівень шуму має не перевищувати рівень 80 дБА, встановлений ДСН 3.3.6.037-99 [23]. Високі рівні шуму можуть бути небезпечні погіршенням слуху або його повною втратою з часом. Завдяки роботі з газозахисною камерою та вбудованими в неї столом та оснасткою зварникам не доводиться відчувати статичне навантаження від надмірно довгого перебування у незручній позі, а легкий пальник не викликає напруження м'язів.

До небезпечних факторів також належить робота з електричним струмом. Причиною ураження може стати пошкоджена ізоляція, помилка робітника під час підключення, потрапляння води на обладнання, тощо. Згідно з ДНАОП 0.00-1.21-98 [24], усі зварювальні апарати мають бути заземлені, а при живленні у вологому середовищі напруга холостого ходу не повинна перевищувати 42 В змінного або 113 В постійного струму.

Можливості отримати опіки при зварюванні секції трубопроводу за розробленою технологією, немає, через закриту камеру та відсутність розбризкування. Через те, що робота йде з легкими тонкостінними трубами, отримати механічну травму вірогідність також є вкрай малою. Враховуючи перелічені вище фактори, виробництво має бути обладнане для забезпечення всіх норм охорони праці, а працівники мають регулярно проходити медичні огляди [25].

### **3.2 Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці**

У цьому підрозділі розглянуті вимоги з охорони праці під час зварювання 141 способом секції технологічного трубопроводу. Основну увагу приділено заходам, спрямованим на запобігання професійним захворюванням, зниження ризику травматизму та створення безпечних умов праці. Викладені нижче положення

						Арк.
						39
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ґрунтуються на діючих національних нормативно-правових актах у галузі охорони праці, санітарного законодавства, пожежної безпеки та виробничої гігієни.

Вимоги до персоналу. Згідно з чинним законодавством, до виконання зварювальних робіт допускаються люди віком від 18 років, після проходження вступного інструктажу з охорони праці, первинного інструктажу на робочому місці та перевірку своєї кваліфікації. Також працівники мають пройти медичний щорічний огляд, що проводиться у відповідності до вимог наказу МОЗ України №246 від 21.05.2007. Перевірка кваліфікації зварників проводиться відповідно до норм ДСТУ EN ISO 9606-5:2017 [26].

Повторні інструктажі з охорони праці проводяться не рідше одного разу на три місяці, а для робіт підвищеної небезпеки — щомісяця. Працівники повинні володіти знаннями щодо вимог інструкцій з охорони праці, правил безпечної експлуатації зварювального обладнання, а також норм техніки безпеки, пожежної та електробезпеки. Окрім цього, вони мають бути ознайомлені з алгоритмом дій у разі виникнення аварійних ситуацій.

До виконання зварювальних робіт допускаються лише працівники, які мають щонайменше II групу допуску з електробезпеки. Відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.12-05 [27], усі записи щодо проходження навчання, перевірки знань і допуску до роботи мають бути належним чином оформлені та внесені до журналу обліку інструктажів.

Вимоги до технологічного процесу. Процес зварювання секції технологічного трубопроводу має виконуватися із застосуванням обладнання, що відповідає загальним вимогам таких нормативних документів як ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДСТУ EN 60974-1:2017 [28].

Вимоги до виробничих приміщень. Приміщення, у яких виконуються зварювальні роботи методом 141 у герметичній газозахисній камері, повинні відповідати вимогам до виробничих приміщень згідно з ДБН В.2.2-28:2010 [29]. Відстань між зварювальними камерами, допоміжним обладнанням, стінами та конструктивними елементами будівлі повинна забезпечувати безпечне

						Арк.
						40
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переміщення персоналу, зручність обслуговування та евакуацію у разі аварійної ситуації. Мінімальна ширина проходів між обладнанням має бути не менше 1 м.

Підлоги в таких приміщеннях повинні бути виконані з негорючих, антиковзких матеріалів з низькою теплопровідністю та рівною поверхнею відповідно до НПАОП 0.00-1.31-99 [30].

Температура повітря в приміщеннях повинна бути не нижче  $+18^{\circ}\text{C}$  у холодний період року, а відносна вологість та швидкість руху повітря — відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 [23].

Балони з аргоном повинні зберігатися в добре вентильованих приміщеннях або шафах, захищених від дії прямих сонячних променів і джерел тепла, відповідно до вимог НПАОП 0.00-1.81-18 [24]. Балони мають бути закріплені у вертикальному положенні, мати справні запірно-регулюючі пристрої та маркування. Транспортування аргону в межах приміщення допускається лише за допомогою спеціалізованих візків.

Освітлення приміщень повинно відповідати нормам ДБН В.2.5-28:2018 [31] і забезпечувати рівень освітленості не менше 300 лк у зоні обслуговування зварювального обладнання, включаючи завантаження та вивантаження виробів із камери.

Організація робочого місця. Організація та облаштування робочих місць для зварників мають проводитись у відповідності з вимогами НПАОП 28.5-1.02-07 [32]. Якщо зварювальні роботи проходять в одному приміщенні з іншими видами робіт, необхідно вжити заходів, що дозволили б виключити можливість впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів на робітників. Розташування робочої поверхні, органів керування зварювальним обладнанням, повинно відповідати вимогам ДСТУ 2456-94 [20]. Також трубопроводи гідросистем, пневмосистем високого тиску, що розміщені в робочій зоні обслуговуючого персоналу, мають бути закриті відповідними захисними екранами. Не можна допускати роботу зі зварювання без вживання належних

						Арк.
						41
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заходів, що виключають можливість виникнення пожежі під час зварювання та після закінчення роботи [21].

### 3.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки

Через те, що повітря та аргон з газозахисної камери відводяться окремо, для робочої зони зварника передбачається тільки загальна вентиляція, спроектована за вимогами ДБН В.2.5-67:2013 [33].

Призначення засобів індивідуального захисту. Для того, щоб убезпечити шкіру обличчя та, в першу чергу, органи зору робітників, що виконують зварювальні роботи пропонується використовувати індивідуальний захист, а саме зварювальну маску хамелеон ADF 735 S ABICOR BINZEL, що зображена на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Зварювальна маска хамелеон ADF 735 S  
ABICOR BINZEL [34]

					Арк.
					42
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

За вимогами ДСТУ EN 169:2001 [35], засіб індивідуального захисту очей для 141 способу зварювання, на потужностях від 50 А до 150 А має мати ступінь затемнення DIN 11. Ця маска має налаштування такого рівня в діапазоні від 9 DIN до 13 DIN. Також вона прикриває шкіру обличчя та шиї від дії ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання.

Для захисту рук працівників використовуються специфічні рукавички, які встановлюються в корпус герметичних газозахисних камер. В даному випадку доцільним є вибір рукавичок Portwest A803, які виготовляються згідно зі стандартом ДСТУ EN 420:2017 [36], вони зображені на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Рукавиці для газозахисних камер, Portwest A803 [37]

					Арк.
					43
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Важливим аспектом, що вимагає певних інженерних рішень є електробезпека. Захисне заземлення є важливою складовою системи безпеки електроустановок, зокрема зварювального устаткування. Його головна функція полягає в тому, щоб відводити небезпечний надлишковий струм у ґрунт, запобігаючи ураженню робітників електричним струмом та можливим пожежам.

Усі металеві елементи зварювального обладнання, що можуть випадково опинитися під напругою, мають бути надійно заземлені. Кожен пристрій повинен бути оснащений окремим заземлювальним провідником, який під'єднується до спільного контуру заземлення. Це стосується не лише корпусів апаратів, але й пускових механізмів, трансформаторів та інших елементів.

Вимоги до організації системи захисного заземлення для всіх типів зварювального обладнання встановлені в нормативних документах, зокрема в ПУЕ-2017 [38], який визначає допустимі значення струмів холостого ходу та напруги дотику.

### 3.4 Пожежна безпека

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 [39], приміщення, де проводяться зварювальні роботи, класифікуються за вибухопожежною небезпекою як категорія Г. Це означає, що в них можуть бути присутні негорючі матеріали у розжареному, розплавленому або гарячому стані, можуть виникати іскри, полум'я або променисте тепло.

Необхідний ступінь вогнестійкості будівлі для зварювального виробництва – І, що передбачає недопущення поширення вогню на несучі конструкції. Мінімально допустимий показник вогнестійкості – 2,5 години, а максимальна глибина поширення вогню по внутрішніх стінах – не більше 25 см [40].

Пожежна безпека забезпечується за рахунок функціонування систем виявлення та попередження пожеж, протипожежного захисту, а також організаційно-технічних заходів. Під час організації технологічного процесу

					Арк.
					44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

передбачено повне дотримання вимог щодо запобігання електростатичному іскроутворенню. Регулярно рекомендовано проводити очищення робочих зон, виробничих приміщень та технологічного устаткування від вогнєнебезпечних відходів, пилю й накопичених речовин, що можуть стати джерелом загоряння. Для локалізації та гасіння вогню передбачено застосування ряду засобів пожежогасіння. При пожежах класу В (неметалічні речовини, зокрема ізоляція струмопровідних частин) застосовуються хімічні пінні вогнегасники ОХП-10, повітряно-пінні ОВП-10, а також комбіновані ОХВП-10; при пожежах класу Е (викликаних електроустановками): порошкові вогнегасники ОП-5 та ОП-10. У зонах, де виконуються зварювальні роботи, встановлюються протипожежні щити, які комплектуються вуглекислотними вогнегасниками, пожежним інвентарем (багри, ломи, відра, сокири). Біля щитів розміщуються ящики з піском, рівень вологості якого контролюється на постійній основі. Крім того, у разі загоряння передбачено використання азбестових покривал. Для оперативного реагування на надзвичайні ситуації в приміщенні передбачена система автоматичного виявлення пожежі: спеціальні датчики фіксують займання і подають сигнал на запуск автоматичної системи пожежогасіння.

### 3.5 Висновки до розділу

В даному розділі були розглянуті загрози життю та здоров'ю працівників зварювального виробництва, що працює за розробленою технологією складання та зварювання секції технологічного трубопроводу. Було визначено вимоги, висунуті відповідними стандартами з охорони праці до приміщень, обладнання та робітників. Також підібрані засоби індивідуального захисту для працівників, яких не можна убезпечити засобами загального захисту в достатній мірі. Також розроблені заходи для запобігання пожежній небезпеці. Вимоги та правила описані в розділі є критично важливими та необхідними для дотримання з метою мінімізації всіх ризиків для робітників підприємства.

						Арк.
						45
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

В рамках даного дипломного проєкту було розроблено технологію складання та зварювання секції технологічного трубопроводу зі сплаву Ti-Grade 9 (3Al-2,5V). При виборі матеріалу та розробці технології було враховано всі умови експлуатації задані призначенням конструкції.

Методом зварювання, після ґрунтового аналізу було обрано TIG 141 спосіб в середовищі захисного газу Argon 6.0. Обрано геометрію шва та витратні матеріали, які забезпечують найменшу кількість дефектів при зварюванні. Також обрана технологія включила в себе розробку газозахисної камери з контрольованою атмосферою, як найбільш надійний спосіб захисту шва для секції трубопроводу з досить складною просторовою конфігурацією. Для забезпечення відповідної геометричної точності виготовлення конструкції також було розроблене спеціалізоване затискне оснащення, підібраний комплекс допоміжного обладнання. В проєкті також розроблено схему розміщення засобів технологічного спорядження на виробничій площі. Розглянутий економічний ефект від впровадження розробленої технології, виконаний аналіз можливостей створення стартап-проєкту та його монетизації.

Окрему увагу було приділено комплексу заходів з охорони праці, направленим на мінімізацію ризиків для життя та здоров'я робітників зварювального виробництва. Підібрано засоби індивідуального захисту для зварників та висунуто ряд вимог до обладнання, будівлі цеху та працівників, які є вкрай важливими для правильної і безпечної роботи.

					Арк.
					46
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Grade 9 Ti 3Al 2,5 V alloy (UNS R56320) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9337> (дата звернення: 12.06.2025). – Назва з екрана.
2. Yi H.-J., Lee Y.-J., Lee K.-O. TIG Dressing Effects on Weld Pores and Pore Cracking of Titanium Weldments / H.-J. Yi, Y.-J. Lee, K.-O. Lee. – Metals (Basel), 2016. – Vol. 6, No. 10. – Article 243. – 12 с.
3. Titanium and its Alloys – Applications, Uses and Properties [Електронний ресурс] // AZoM. – Режим доступу: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9337> (дата звернення: 09.06.2025). – Назва з екрана.
4. ДСТУ EN ISO 4063:2022. Зварювання та споріднені процеси. Перелік й умовні позначки процесів. – Чинний від 2023-12-31. – Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. – 22 с.
5. ISO 14175:2008 Welding consumables — Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/38584.html> (дата звернення: 08.06.2025). – Назва з екрана.
6. ДСТУ EN ISO 6848:2015 «Дугове зварювання та різання. Електроди вольфрамові неплавкі. Класифікація» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=77555](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77555) (дата звернення: 08.06.2025). – Назва з екрана.
7. Smith L., Threadgill P., Gittos M. Welding Titanium: A Designer's and User's Handbook / L. Smith, P. Threadgill, M. Gittos. – Cambridge: Titanium Information Group; TWI, 1999. – 33 с.
8. ASTM International. Standard Specification for Seamless and Welded Unalloyed Titanium and Titanium Alloy Welding Fittings – ASTM B363-19 (issued

						Арк.
						47
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Nov 1, 2019). – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019. – (Standards). – 6 р.

9. ASME. Standard Specification for Seamless and Welded Unalloyed Titanium and Titanium Alloy Welding Fittings (ASME SB-363). – West Conshohocken, PA: ASM International, 2019. – 6 с. – (Equivalent with ASTM B363)

10. Гальванічні ванни (ID 592886561) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom.ua/p592886561-galvanicheskie-vanny.html> (дата звернення: 08.06.2025). – Назва з екрана.

11. ASTM B600–22. Standard Guide for Descaling and Cleaning Titanium and Titanium Alloy Surfaces. – West Conshohocken, PA : ASTM International, 2022. – 6 р.

12. Візок складський з бортами 4-х колісний (1185×780×630 мм) ТМ «KOLCHUGA» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kolchuga-home.com.ua/vizok-skladskyi-z-bortamy-4-kh-kolisnyi-1185kh780kh630-mm-tm-kolchuga-kolchuha/> (дата звернення: 09.06.2025). – Назва з екрана.

13. Апарат аргонодугового зварювання Tesla Weld TIG/MMA 200 IGBT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.teslaweld.com/apparat-argonodugovoy-svarki-tesla-weld-tig-mma-200-igbt> (дата звернення: 08.06.2025). – Назва з екрана.

14. Argweld PurgEye 500 Desk Weld Purge Monitor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://huntingdonfusion.com/products/argweld-purgeye/purgeye-500-desk/> (дата звернення: 09.06.2025). – Назва з екрана.

15. Насос вакуумний 2НВР-5ДМ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom.ua/p33756462-nasos-vakuumnij-2nvr.html> (дата звернення: 09.06.2025). – Назва з екрана.

16. Цифровий магнітний кутомір GoSmart Sola [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://microtech-ua.com/index.php?id\\_product=11969&controller=product&id\\_lang=2](https://microtech-ua.com/index.php?id_product=11969&controller=product&id_lang=2) (дата звернення: 09.06.2025). – Назва з екрана.

						Арк.
						48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Т-MG. Шаблон зварювальника УШС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-mg.com.ua/p614072983-shablon-svarschika-ushs.html> (дата звернення: 09.06.2025). – Назва з екрана.

18. ДП НДТ. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dp-ndt.com.ua/ua> (дата звернення: 09.06.2025). – Назва з екрана.

19. Гаєвський В. О. Технологічне проектування виробничих площ : електронні метод. вказівки до практич. занять, домаш. контрол. та самост. роботи з кредит. модулю для студ. спец. 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» / В. О. Гаєвський. Київ, 2017. 37 с.

20. ДСТУ 2456–94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки. – Чинний від 1995-01-01. – [Київ]: Держспоживстандарт України, 1994. – 10 с.

21. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. – К.: Основа, 2010. – 240 с.

22. Наказ МОЗ України від 14.07.2020 № 1596 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони». Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 03.08.2020 за № 741/35024.

23. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми допустимих рівнів теплового випромінювання на робочих місцях. – Чинний від 01.01.2000. – [Київ]: МОЗ України, 1999. – 10 с.4 ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

24. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила охорони праці під час зварювальних робіт. – Чинний від 01.10.1998. – [Київ]: Міністерство праці та соціальної політики України, 1998. – 64 с.

25. НПАОП 28.52-1.31-13. Правила охорони праці під час зварювання металів. – Чинний від 14.06.2013. – [Київ]: Міністерство надзвичайних ситуацій України, 2013. – 64 с.

						Арк.
						49
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. ДСТУ EN ISO 9606-5:2017. Зварювання. Кваліфікація зварників. Зварювання плавленням. Частина 5. Титан і цирконій (EN ISO 9606-5:2000, IDT). – [Київ]: Мінекономрозвитку України, 2017. – 22 с.

27. НПАОП 0.00-4.12-05. Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві. – Чинний від 01.12.2005. – [Київ]: Державний комітет України з нагляду за охороною праці, 2005. – 52 с.

28. ДСТУ EN 60974-1:2017. Обладнання для дугового зварювання. Частина 1. Джерела живлення (EN 60974-1:2012, IDT; IEC 60974-1:2012, IDT). – [Київ]: Мінекономрозвитку України, 2017. – 74 с.

29. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. – [Київ]: Мінрегіон України, 2011. – 64 с.

30. НПАОП 0.00-1.31-99. Правила охорони праці під час експлуатації електроустановок споживачів. – Чинний від 01.01.2000. – [Київ]: Держнагляд охорони праці України, 1999. – 120 с.

31. НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями. – Чинний від 27.04.2018. – [Київ]: Міністерство соціальної політики України, 2018. – 84 с.

32. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – [Київ]: Мінрегіон України, 2018. – 76 с.

33. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 97 с.

34. Маска зварювальника Хамелеон WH-4001: інтернет-магазин «Delta 2014» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://delta2014.com.ua/ua/p2355102226-svarochneya-mask-a-hameleon.html>. (дата звернення: 07.06.2025). – Назва з екрана.

35. ДСТУ EN 169:2001. Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри для зварювання та споріднених з ним процесів. Вимоги до пропускання та рекомендоване використання. – К.: Держстандарт України, 2002. – 14 с.

						Арк.
						50
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

36. ДСТУ EN 420:2017. Засоби індивідуального захисту. Рукавиці. Загальні вимоги та методи випробування. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 28 с.

37. Octan. Перчатки з латексного каучуку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://octan.com.ua/ua/p1021515271-perchatki-lateksnogo-kauchuka.html>. (дата звернення: 07.06.2025). – Назва з екрана.

38. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. 7-е вид. – Х.: ТОВ «Фактор», 2017. – 832 с.

39. НАПБ Б.03.002-2007. Норми належності вогнегасників. – К.: МНС України, 2007. – 11 с.

40. ДСТУ EN 13501-2:2023 Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій. Частина 2. Класифікація за результатами випробувань на вогнестійкість (крім складників вентиляційних систем) [Нац. стандарт України; ідентичний з EN 13501-2:2023]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023. – Набрала чинності 01.11.2023; затверджено наказом № 72 від 20.04.2023. – 86 с.

						Арк.
						51
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТКИ

						Арк.
						52
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		







