

**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 головки теплообмінника

Виконав:

студент III курсу, групи ЗВ–п21
Помагайбо Віталій Сергійович

Керівник:

доцент, к.т.н., доцент,
Прохоренко Одарка Володимирівна

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:

доцент, к.т.н., доцент,
Коваль Віктор Вікторович

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

Помагайбу Віталію Сергійовичу

1. Тема проєкту «Технологія складання та зварювання головки теплообмінника», керівник проєкту Прохоренко Одарка Володимирівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р. № 1732–с

2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту Ескіз зварного виробу (додається). Матеріал виробу AISI 304. Забезпечення рівноміцності зварних з'єднань та відсутності недопустимих дефектів. Річна програма виготовлення виробу – 500 шт. Умови виготовлення – цехові, температура експлуатації від -30 до +450 °С, тиск – 3,9 МПа .

4. Зміст пояснювальної записки:

Виконати конструктивно–технологічний аналіз зварної головки теплообмінника. Обґрунтувати вибір способів зварювання. Вибрати зварювальні матеріали. Призначити зварні шви згідно нормативних документів. Розрахувати режими зварювання зварних швів і витрати зварювальних матеріалів, призначити параметри режимів зварювання. Вибрати устаткування для зварювання. Розробити технологічну послідовність складання–зварювання головки теплообмінника. Адаптувати вибране устаткування для складання і зварювання головки теплообмінника. Виконати компонування установки для зварювання швів головки теплообмінника. Призначити способи контролю якості зварних швів головки теплообмінника. Спланувати розміщення засобів технологічного спорядження на виробничій площі. Скласти операційну карту процесу зварювання. Зробити загальні висновки до технологічного розділу дипломного проекту. Розрахувати економічний ефект від впровадження розробленої технології у виробництво. Розробити заходи з охорони праці безпеки та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

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

1. Складальний кресленик головки теплообмінника (1 А1).
2. Схема технологічного процесу виготовлення головки теплообмінника (1 А1).
3. Технологічна послідовність складання та зварювання головки теплообмінника (1 А1).
4. Кресленик пристрою для складання під зварювання головки теплообмінника (1 А1).
5. Кресленик установки для зварювання поздовжнього шва обичайки головки теплообмінника (1 А1).
6. Кресленик установки для зварювання кільцевих швів головки теплообмінника (1 А1)
7. План виробничої площі для зварювання головки теплообмінника (1 А1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап–проекту	Глущенко 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 проекту	Строк виконання етапів проекту	Прим.
1	Аналіз літератури за темою проекту	до 30 квітня	
2	Детальна розробка і обґрунтування проектних рішень технологічної частини проекту	до 15 травня	
3	Розробка економічної частини проекту	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)

Віталій ПОМАГАЙБО

Керівник

_____ (підпис)

Одарка ПРОХОРЕНКО

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту: 132 сторінки, 20 рисунків, 39 таблиць, 66 джерел інформації, 5 додатків, 8 аркушів графічного матеріалу.

АУСТЕНИТНА СТРУКТУРА, ВЕНТИЛЯЦІЯ, ГОЛОВКА ТЕПЛООБМІННИКА, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ПРОЦЕС WPS, ЗВАРЮВАЛЬНА ОСНАСТКА, ЗВАРЮВАННЯ MIG 131, ЯКІСТЬ З'ЄДНАННЯ, НЕРЖАВІЮЧА СТАЛЬ AISI 304, ОХОРОНА ПРАЦІ, СТРУКТУРА МЕТАЛУ ШВА, ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, УТВОРЕННЯ ТРІЩИН.

У дипломному проекті розроблено технологію виготовлення головки теплообмінника з нержавіючої сталі AISI 304, призначеної для роботи в умовах високого тиску та температурного навантаження. Проведено конструктивно–технологічний аналіз виробу та обґрунтовано вибір способу механізованого зварювання плавким електродом у середовищі інертного газу MIG 131. Розроблено зварювальну інструкцію (WPS) відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 15609–1.

Опрацьовано маршрути технологічної обробки, обрано складально–зварювальні позиції та запропоновано відповідну оснастку, зокрема пневмопритиски, гвинтові фіксатори й підйомно–транспортне устаткування. \

Виконано компонування виробничої ділянки, визначено потребу в устаткуванні та площі. Наведено заходи з охорони праці, пожежної безпеки, вентиляції, освітлення та контролю параметрів мікроклімату на робочих місцях. Запропоновано систему локального повітрообміну для зниження концентрації зварювальних аерозолів у зоні дихання зварювальника.

У завершальній частині виконано техніко–економічне обґрунтування доцільності впровадження розробленої технології, проведено порівняльний аналіз із наявними рішеннями та підтверджено переваги запропонованої конструкції за критеріями якості, безпеки та виробничої ефективності.

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma project: 132 pages, 20 figures, 39 tables, 66 references, 5 appendices, 8 sheets of graphic material.

AUSTENITIC STRUCTURE, VENTILATION, HEAT EXCHANGER HEAD, WELDING PROCESS (WPS), WELDING FIXTURE, MIG 131 WELDING, JOINT QUALITY, STAINLESS STEEL AISI 304, OCCUPATIONAL SAFETY, WELD METAL STRUCTURE, TECHNO-ECONOMIC JUSTIFICATION, TECHNOLOGICAL PROCESS, CRACK FORMATION.

This diploma project presents the development of a manufacturing technology for a heat exchanger head made of stainless steel AISI 304, designed to operate under high pressure and thermal loads. A structural and technological analysis of the product was carried out, and the use of mechanized welding with a consumable electrode in an inert gas environment (MIG 131) was justified. A Welding Procedure Specification (WPS) was developed in accordance with the requirements of DSTU EN ISO 15609-1.

Technological processing routes were developed, optimal assembly and welding positions were selected, and appropriate tooling was proposed, including pneumatic clamps, screw fixtures, and lifting and transport equipment.

The layout of the production site was designed, and the required equipment and floor space were determined. Measures for occupational safety, fire protection, ventilation, lighting, and microclimate control at workplaces were defined. A local air exchange system was proposed to reduce the concentration of welding fumes in the welder's breathing zone.

In the final part, a techno-economic justification of the developed technology was performed. A comparative analysis with existing solutions confirmed the advantages of the proposed design in terms of quality, safety, and production efficiency.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП.....	9
1 КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ГОЛОВКИ ТЕПЛООБМІННИКА	10
1.1 Конструктивна будова головки теплообмінника та умови її експлуатації у виробництві.....	11
1.2 Матеріал головки теплообмінника та його характеристики	13
1.3 Оцінка стійкості металу зварного з'єднання до утворення тріщин.....	16
1.3.1 Причини виникнення гарячих тріщин	18
1.3.2 Причини утворення та методи запобігання гарячим тріщинам.....	19
1.3.3 Опір сталі AISI 304 утворенню холодних тріщин.....	19
1.3.4 Опір міжкристалічній корозії сталі AISI 304	20
1.3.5 Причини пороутворення у зварних з'єднаннях сталі AISI 304.....	20
1.3.6 Технологічні заходи щодо запобігання утворення пор	21
1.4 Опис зварних з'єднань головки теплообмінника	21
1.5 Обґрунтування вибору способу зварювання.....	25
1.6 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів.....	30
1.7 Вибір і обґрунтування режимів зварювання	32
2 ВИБІР ТА КОМПОНУВАННЯ СКЛАДАЛЬНО–ЗВАРЮВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ	35
2.1 Обґрунтування вибору устаткування та режимів обробки заготовок	35
2.2 Ультразвуковий контроль зварних з'єднань	50
2.2 Обґрунтування вибору стандарту та вимог до листового прокату.....	52
2.3 Технологічна послідовність виготовлення головки теплообмінника	55
2.4 Вибір установчих баз і обґрунтування схеми базування заготовок	62

<i>ЗВ-п21.06.00.000 ПЗ</i>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розробив</i>		<i>Памагайда В.С</i>		
<i>Перевір</i>		<i>Прохоренко О.В</i>		
<i>Н. Кантр.</i>		<i>Лисак В.В</i>		
<i>Затв.</i>		<i>Квасницький В.В.</i>		
<i>Головка теплообмінника</i>				
		<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			5	132
<i>КПІ ім. Ігоря Сікарського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона</i>				

3 РОЗРАХУНОК ОДНОСТОЯКОВИХ КАНТУВАЧІВ З НАХИЛЕНИМ ШПИНДЕЛЕМ. КІНЕМАТИЧНА ПАРА НА ПЛАНШАЙБІ	64
4 ПРОЄКТУВАННЯ ПЛАНУ ВИРОБНИЧОЇ ПЛОЩІ	81
4.1. Визначення типу виробництва	81
4.2 Визначення кількості устаткування	82
4.3 Обґрунтування необхідної чисельності персоналу цеху	84
4.4 Технічні та функціональні вимоги до планування цеху	86
4.5 Організація площі та розміщення складу металопрокату, заготовок і готових виробів	87
4.6 Вибір устаткування для механізації підіймально–транспортних операцій та нормування внутрішньоцехових переміщень.....	90
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП–ПРОЄКТУ	93
5.1 Опис ідеї стартап–проєкту виготовлення головки теплообмінника	93
5.2 Аналіз потенційних техніко–економічних переваг стартап–проєкту	95
6 ОХОРОНА ПРАЦІ	111
6.1 Визначення факторів ризику під час виготовлення головки теплообмінника	111
6.2 Оцінка санітарно–гігієнічних умов праці.....	113
6.3 Захист працівника при виконанні зварювальних робіт	114
6.4 Безпека технологічного процесу та експлуатації устаткування	117
6.5 Вимоги до освітлення, вентиляції та мікроклімату	118
6.6 Заходи забезпечення пожежної та вибухопожежної безпеки	121
ВИСНОВКИ.....	123
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	124
ДОДАТКИ.....	132

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ВТК – відділ технічного контролю

ГЦК – гранецентрована кубічна решітка

ДБН – державні будівельні норми

ДНАОП – державні нормативні акти з охорони праці

ДСН – державні санітарні норми

ДСНС – Державна служба України з надзвичайних ситуацій

ДСТУ – державний стандарт України

ЗВ – зварювальне виробництво

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

ККД – коефіцієнт корисної дії

КПІ – Київський політехнічний інститут

МОЗ – Міністерство охорони здоров'я

НАПБ – нормативний акт з пожежної безпеки

НПАОП – нормативно-правовий акт з охорони праці

ПВ – питома витрата

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

ТП – технологічний процес

ЦЗ – цех зварювання (зварювальна дільниця)

ЧПК – числове програмне керування

AISI – American Iron and Steel Institute – Американський інститут заліза та сталі

AWS – American Welding Society – Американське зварювальне товариство

BF – Bernardo BF – свердлильно-фрезерний верстат

BPSM – Bendmak Plate Straightening Machine – листопрямильна машина

CEN – Comité Européen de Normalisation – Європейський комітет стандартизації

EBW – Electron Beam Welding – електронно-променеве зварювання

EN – European Norm Європейський стандарт

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

ESW – Electroslag Welding – електрошлакове зварювання

IMC – Integrated Manufacturing Cell – інтегрована виробнича клітинка

ISO – International Organization for Standardization – Міжнародна організація зі стандартизації

JASIC – бренд зварювального устаткування

LBW – Laser Beam Welding – лазерне зварювання

MAG – Metal Active Gas – зварювання в активному газі

MIG – Metal Inert Gas – зварювання в інертному газі

MMA – Manual Metal Arc – ручне дугове зварювання

OFW – Oxyfuel Welding – киснево–газове зварювання

PAW – Plasma Arc Welding – плазмове зварювання

SGA – Shielding Gas Arc – зварювання в середовищі захисного газу

SWOT – аналіз сильних і слабких сторін, можливостей і загроз

TIG – Tungsten Inert Gas – зварювання вольфрамовим електродом в інертному газі

TOFD – Time of Flight Diffraction – метод ультразвукової дефектоскопії

WPS – Welding Procedure Specification – зварювальна інструкція

σ_t – межа текучості, МПа

σ_v – межа міцності при розтягуванні, МПа

δ_5 – відносне видовження, %

ψ – відносне звуження, %

ρ – густина матеріалу, кг/м³

F – площа поперечного перерізу зварного шва, мм²

I – сила зварювального струму, А

U – напруга зварювальної дуги, В

v – швидкість зварювання, м·хв

vп – швидкість подачі електродного дроту, мм·с

Qг – витрата зварювального газу, л·хв

η – коефіцієнт плавлення або ефективності зварювання

d – діаметр зварювального дроту, мм.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Інтенсивний розвиток промислових технологій, зокрема в енергетичному, хімічному та машинобудівному секторах, супроводжується зростанням вимог до надійності та експлуатаційної довговічності теплообмінного устаткування. Центральне місце в структурі таких апаратів займає головка теплообмінника – складовий елемент, що концентрує на собі динамічні навантаження, термічні градієнти та вплив агресивних середовищ. Від її геометричної точності, герметичності та механічної цілісності значною мірою залежить ефективність функціонування всієї системи.

Виготовлення головки із нержавіючої сталі AISI 304, що характеризується стабільною аустенітною структурою, високою корозійною стійкістю та доброю зварюваністю, потребує науково обґрунтованого підходу до вибору технологічних параметрів. Особливу складність становить забезпечення рівномірності з'єднань при збереженні стабільної структури металу в зоні термічного впливу. Враховуючи це, у рамках проєкту обґрунтовано застосування механізованого зварювання плавким електродом у середовищі інертного газу (MIG 131) як найбільш придатного способу для досягнення необхідного рівня якості та повторюваності.

Дипломний проєкт спрямовано на формування цілісного технологічного рішення, що охоплює повний цикл виготовлення головки теплообмінника: від конструктивно–технологічного аналізу та вибору зварювального устаткування до проєктування WPS, визначення складально–зварювальних позицій, розробки спеціалізованої оснастки та планування виробничої дільниці з урахуванням чинних вимог охорони праці, промислової гігієни й пожежної безпеки.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю переходу до сучасних, економічно доцільних і стандартизованих технологій, що забезпечують високу якість продукції в умовах серійного виробництва. Практична реалізація розробленої технології дозволяє підвищити надійність виробів, скоротити виробничий цикл та забезпечити стабільність параметрів процесу на усіх його етапах.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ГОЛОВКИ ТЕПЛООБМІННИКА

Головка теплообмінника – це важлива частина конструкції, яка поєднує трубний пучок з корпусом і забезпечує роботу апарата в умовах тиску та підвищених температур. Вона служить як для герметичного з'єднання, так і для ефективного переміщення теплоносія, одночасно витримуючи навантаження від середовища, температурних деформацій і механічного впливу. Крім того, саме в зоні головки найчастіше розміщують фланці, патрубки, отвори для технічного обслуговування чи арматури.

Ці конструкції широко застосовуються в хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній, харчовій галузях скрізь, де є потреба у стабільному та безпечному теплообміні між робочими середовищами. В умовах виробництва головка повинна витримувати тиск до 3,9 МПа і працювати в температурному діапазоні від -30°C до $+450^{\circ}\text{C}$. Це ставить серйозні вимоги до її геометрії, якості зварних швів та загальної надійності конструкції.

Типова головка складається з кількох основних частин циліндричної обичайки, фланців, патрубків, іноді додаткових підсилювальних елементів. Усі вони з'єднуються зварюванням. Найчастіше застосовують стикові або кутові шви. Їх потрібно виконувати з дотриманням рівномірності, щоб конструкція працювала без витоків і руйнувань навіть при тривалих навантаженнях. Зварні з'єднання в такій конструкції мають бути не тільки міцними, але й технологічними. Це означає, що до елементів має бути забезпечений зручний доступ, а сам процес складання раціонально спланований і технічно обґрунтований.

Правильне розташування швів і розумна послідовність збирання дозволяють уникнути зайвих деформацій під час зварювання та зберегти точність форми. Оскільки річний обсяг виробництва становить 500 штук, важливо забезпечити повторюваність якості та знизити трудомісткість [1].

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.1 Конструктивна будова головки теплообмінника та умови її експлуатації у виробництві

Зварна циліндрична головка теплообмінника виконує функцію герметизації робочого об'єму апарата та забезпечує можливість підключення до зовнішніх трубопроводів, систем подачі реагентів, відведення продуктів реакції та допоміжного устаткування. Вона є ключовим елементом конструкції, що забезпечує збереження герметичності в умовах дії внутрішнього тиску, перепадів температур та впливу агресивного середовища.

У процесі експлуатації головка піддається впливу внутрішнього тиску до 3,9 МПа та температурних навантажень у межах від -30 °С до +450 °С. Такі умови створюють складний напружений стан у з'єднаннях і на стінках конструкції, тому надійність зварних швів та точність складання є критично важливими для забезпечення герметичності та стабільної роботи апарата.

Зварні з'єднання, що формуються у вузлах головки, повинні не лише витримувати внутрішнє навантаження, але й демонструвати стабільність під впливом циклічного теплового розширення. Особливу увагу приділяють розташуванню та конфігурації швів, щоб уникнути локалізації напружень і забезпечити рівномірне розподілення силових впливів у зоні стику. У разі необхідності допускається застосування компенсаторних елементів або розпірних вставок для зменшення деформацій.

Загальні габаритні розміри виробу становлять 600 мм у ширину та 450 мм у висоту. Маса виробу складає 40 кг. Типовий вигляд головки представлено на рис. 1.1, де наведено компоновку основних елементів та зони відповідальних зварних з'єднань. У процесі виготовлення передбачається обробка поверхонь, зокрема їх очищення та підготовка до зварювання.

Особливу увагу приділяють точності взаємного розташування деталей на етапі складання, оскільки навіть незначні відхилення можуть призвести до порушення умов герметичності, утворення внутрішніх напружень або дефектів у зварних швах.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

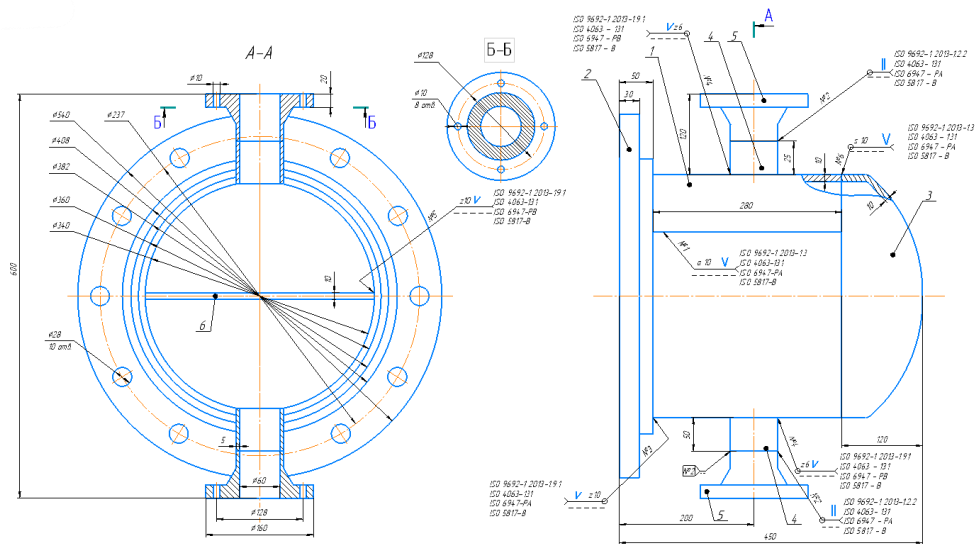


Рисунок 1.1 – Головка теплообмінника

Головка теплообмінника складається з наступних складальних одиниць:

– обичайка – 1 шт.; (ЗВ–п21.06.01.000 поз.1); діаметром 360 мм, товщина стінки 10 мм; Служить циліндричним корпусом головки та формує внутрішній об’єм для робочого середовища;

– фланець – 1 шт.; (ЗВ–п21.06.01.000 поз.2); діаметр 540 мм, товщина 50 мм; Встановлюються на торцях трубчастих елементів, виконують функцію ущільненого приєднання до трубопроводів;

– кришка – 1 шт.; (ЗВ–п21.06.01.000 поз.3); діаметром 360 мм, та товщиною деталі 10 мм; Формує герметичне верхнє покриття, забезпечує розподіл навантажень і герметичність;

– патрубок – 2 шт.; (ЗВ–п21.06.01.000 поз.4); зовнішній діаметр 70 мм, довжина 35 мм, товщина стінки 5 мм; Необхідні для подачі та відведення робочих середовищ, підключення сервісного устаткування;

– фланець патрубків – 2 шт.; (ЗВ–п21.06.01.000 поз.5); зовнішній діаметр 160 мм, внутрішній діаметр 60 мм; Забезпечує ущільнене з’єднання патрубків з технологічною системою;

– розпірна пластина – 1 шт.; (ЗВ–п21.06.01.000 поз.6); розмір 410 мм × 335 мм × 10 мм.,

Розділяє простір головки на окремі зони потоку.

										Арк.
										12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗВ–п21.06.00.000 ПЗ					

1.2 Матеріал головки теплообмінника та його характеристики

У процесі експлуатації головка теплообмінника зазнає дії внутрішнього тиску до 3,9 МПа, температур до +450 °С, а також впливу потенційно агресивного середовища, яке може містити пари, конденсати або залишки технологічних реагентів. До матеріалу висуваються вимоги щодо міцності, пластичності, технологічності у виготовленні та стійкості до хімічної дії.

Для порівняння було розглянуто декілька поширених марок нержавіючих сталей аустенітного класу. Сталь AISI 304 є базовим представником аустенітного класу без додаткових легуючих елементів. Вона характеризується стабільною структурою, високою пластичністю, придатністю до формування та зварювання, а також достатньою корозійною стійкістю у водних і слабоагресивних середовищах.

Сталь AISI 304 повністю відповідає вимогам до матеріалу головки теплообмінника, що працює під тиском і температурним навантаженням. Вона має стабільну аустенітну структуру, відзначається високою пластичністю, стійкістю до міжкристалітної корозії, легко піддається різанню, гнуттю, формуванню й зварюванню без потреби термічної обробки. Матеріал доступний у вигляді листового прокату, широко застосовується в промисловості, стандартизований за EN 10088–1:2014 і придатний для серійного виробництва. Також AISI 304 забезпечує необхідну довговічність і надійність роботи виробу в умовах дії пари, конденсату та залишкових хімічних реагентів.

Саме сталь AISI 304, що стандартизована згідно з EN 10088–1:2014 [2], повністю задовольняє ці вимоги. Ця марка сталі відзначається високою технологічністю: вона добре ріжеться, штампується і зварюється всіма поширеними методами (TIG, MIG, LW). З огляду на сукупність властивостей, технологічну сумісність та економічну доцільність, сталь AISI 304 є найбільш оптимальним вибором для виготовлення зварної головки теплообмінника. Хімічний склад наведено в табл. 1.1.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

Таблиця 1.1 – Хімічний склад у % мас. матеріалу AISI 304 [3]

Марка сталі	Вміст хімічних елементів, % мас.								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P	Fe
AISI 304	до 0,08	до 0,2	до 0,8	від 17 до 19	від 9,0 до 11,0	до 0,3	до 0,02	до 0,035	~ 69

Це високолегована корозійностійка сталь із низьким вмістом вуглецю (до 0,07%), яка належить до групи аустенітних сталей. Завдяки поєднанню високого вмісту хрому (~18% мас.) та нікелю (~10% мас.), сталь має стабільну однофазну аустенітну структуру (γ -Fe), яка зберігається при охолодженні і не схильна до фазових перетворень.

Кристалічна ґратка сталі кубічна гранецентрованого типу (ГЦК). Така структура забезпечує високий рівень пластичності, ударної в'язкості та стабільність механічних властивостей під дією динамічних і низькотемпературних навантажень. Хром у складі сталі сприяє утворенню захисної пасивної плівки, яка підвищує її стійкість до корозійного ураження в агресивних середовищах. Нікель стабілізує аустенітну фазу, підвищує пластичність та зменшує ймовірність утворення феритних і карбідних включень. Низький вміст вуглецю знижує ризик хромкарбідного виділення на межах зерен, що дозволяє проводити зварювання без необхідності термічного відновлення структури та запобігає міжкристалітній корозії. Сталь AISI 304 характеризується високою технологічністю, що виявляється в легкості її обробки методами штампування, гнуття та витягування.

Матеріал зберігає однорідну аустенітну структуру в широкому температурному інтервалі до 850 °C. Це дозволяє використовувати його у вузлах, що зазнають циклічного та теплового навантаження, зокрема в елементах хімічної апаратури та теплообмінниках. Також зазначено високу стійкість до корозійного розтріскування під дією напружень, що є критичним для виробів, експлуатованих у зволжених або агресивних середовищах. Основні механічні характеристики сталі AISI 304 наведено в табл. 1.2.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі AISI 304 при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2]

Прокат	Розмір	Напр.	σ_B (МПа)	σ_T (МПа)	δ_5 (%)	ψ (%)
Прутки нержавіючий	Ж 60	–	470	196	40	55
Лист нержавіючий	–	–	510	–	45	–
Лист тонкий нагартован	–	–	від 740 до 930	–	25	–
Лист товстий	–	–	510	205	43	–
Нержавіючі труби холоднодеформов	–	–	529	–	37	–

Примітка. σ_T – межа текучості; σ_B – межа міцності; δ_5 – відносне видовження; ψ – відносне звуження.

Фізичні характеристики сталі марки AISI 304 мають важливе значення для оцінки її поведінки в умовах нагрівання, охолодження та впливу електричних струмів. Стабільна теплопровідність, низький коефіцієнт розширення та висока теплоємність сприяють рівномірному тепловому навантаженню при зварюванні та подальшій експлуатації. Основні значення властивостей наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Фізичні властивості матеріалу AISI 304

T ($^{\circ}\text{C}$)	$E \cdot 10^{-5}$ (МПа)	$\alpha \cdot 10^{-6}$ ($1/^{\circ}\text{C}$)	λ (Вт/(м $\cdot^{\circ}\text{C}$))	ρ (кг/м 3)	C (Дж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$))	$R \cdot 10^{-9}$ (Ом $\cdot\text{м}$)
20	1.96	–	17	7850	–	800
100	–	16	–	–	504	–
200	–	17	–	–	–	–
300	–	17	–	–	–	–
400	–	18	–	–	–	–
500	–	18	–	–	–	–

Примітка. T – температура, при якій отримані дані властивості; E – модуль пружності першого роду; α – коефіцієнт температурного (лінійного) розширення; λ – коефіцієнт теплопровідності (теплоємність матеріалу); ρ – густина матеріалу; C – питома теплоємність матеріалу; R – питома електричний опір.

										Арк.
										15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>					

1.3 Оцінка стійкості металу зварного з'єднання до утворення тріщин

Оскільки сталь AISI 304 належить до високолегованих аустенітних сталей, для прогнозування структури зварного шва доцільно використовувати діаграму Шефлера, яка побудована для характерних швидкостей охолодження при дуговому зварюванні рис. 1.2. Ця діаграма базується на поняттях еквівалента хрому та еквівалента нікелю, що дозволяють урахувати вплив легувальних елементів на фазовий склад металу шва.

Виконуємо обчислення еквіваленту нікелю за формулою:

$$Ni_{\text{екв}} = Ni + 30 \cdot C + 26 \cdot N + 0,5 \cdot Mn + 0,3 \cdot Cu$$
$$Ni_{\text{екв}} = 10 + 30 \cdot 0,08 + 26 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0,2 + 0,3 \cdot 0,3 = 12,59 \%$$

Виконуємо обчислення еквіваленту хрому за формулою:

$$Cr_{\text{екв}} = Cr + 2 \cdot Mo + 1,5 \cdot Si + 5Ti + 2 \cdot Al + 1,5 \cdot W + V$$
$$Cr_{\text{екв}} = 19 + 2 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0,8 + 5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0 + 0 = 20,2 \%$$

Еквівалент хрому використовується для кількісної оцінки впливу легувальних елементів, які сприяють утворенню феритної фази у зварному металі. Основу становить хром, а інші елементи, кремній, титан, алюміній та ванадій, посилюють його ефект. Розраховане значення застосовується для побудови координатної точки на діаграмі Шефлера рис. 1.2, що дозволяє передбачити структуру металу шва та обґрунтувати вибір зварювальних матеріалів і режимів. Такий підхід забезпечує стабільність фазового складу після зварювання та знижує ризик утворення гарячих тріщин. Особливо це важливо для високолегованих сталей, що працюють в умовах агресивних середовищ і змінних термічних навантажень.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк. 16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

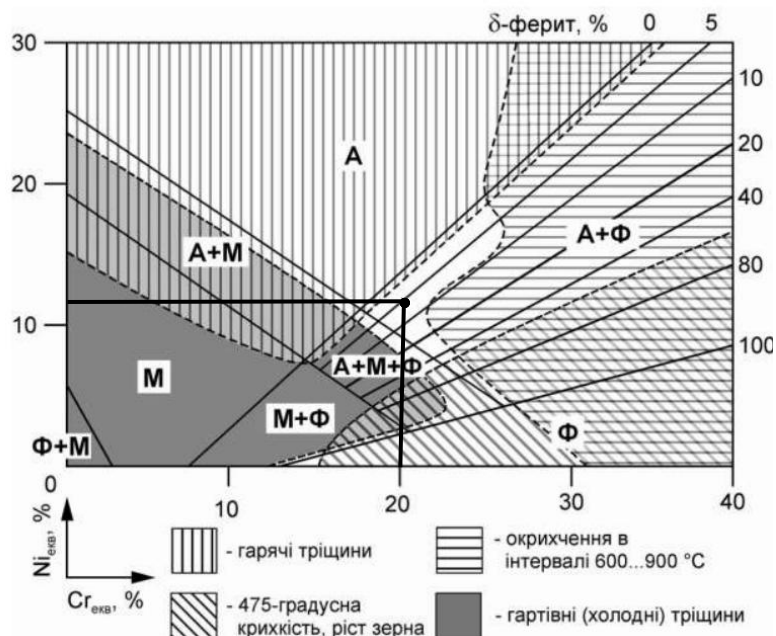


Рисунок 1.2 – Діаграма Шефлера для сталі AISI 304 [4]

На основі розрахованих значень для сталі AISI 304 еквівалентна концентрація аустенітоутворювальних елементів становить 12,59% мас. $Ni_{екв}$, а феритоутворювальних – 20,2% мас, $Cr_{екв}$. Розміщення координатної точки на діаграмі Шефлера підтверджує утворення стабільної однофазної аустенітної структури у зоні зварного з'єднання.

Це свідчить про те, що під час зварювання в умовах звичайної швидкості охолодження структура не зазнає ні мартенситного, ні феритного перетворення. Наявність лише аустеніту в структурі забезпечує високу пластичність, тріщиностійкість і корозійну стійкість з'єднання, що критично важливо для елементів, які експлуатуються в агресивних середовищах або під впливом термонавантажень.

Коефіцієнт відношення феритоутворювального до аустенітоутворювального потенціалу становить:

$$\frac{Cr_{екв}}{Ni_{екв}} = \frac{Cr + 1,37Mo + 1,5Si + 2Nb + 3Ti}{Ni + 0,31Mn + 22C + 14,2N + Cu}$$

$$\frac{Cr_{екв}}{Ni_{екв}} = \frac{18 + 1,37 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 0}{10 + 0,31 \cdot 0,2 + 22 \cdot 0,08 + 14,2 \cdot 0 + 0,3} = 1,48 \%$$

										Арк.
										17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ЗВ-п2106.00.000 ПЗ

З урахуванням проведених розрахунків еквівалентних концентрацій ($C_{\text{екв}} = 21,2 \text{ \% мас}$, $Ni_{\text{екв}} = 12,5 \text{ \% мас}$.) для сталі AISI 304, співвідношення $Cr_{\text{екв}}/Ni_{\text{екв}}$ становить 1,48 % мас. Це свідчить про стабільну аустенітну структуру із наявністю невеликої кількості δ -фериту, що позитивно впливає на стійкість до гарячих тріщин. Такий баланс хімічних елементів забезпечує прийнятну кристалізаційну стійкість зварного металу, особливо за умов складного теплового навантаження.

Підвищений ризик появи гарячих тріщин для цієї марки сталі зумовлений однофазною аустенітною природою структури, що кристалізується без зміни фазового стану. Це сприяє формуванню міжзеренних зон із концентрацією легкоплавких сполук, які легко руйнуються під дією термічних напружень. Особливу небезпеку становить підвищений вміст нікелю, що хоча й стабілізує аустеніт, водночас посилює схильність до утворення евтектик з сіркою, зокрема Ni_3S_2 , які плавляться при температурах нижче $650 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.3.1 Причини виникнення гарячих тріщин

Попри добру зварюваність сталі AISI 304, її однофазна аустенітна структура зумовлює схильність до утворення гарячих тріщин у зварних швах. Це пояснюється відсутністю фазових перетворень під час кристалізації, що сприяє формуванню великих зерен аустеніту з міжкристалічними ослабленими зонами. Високий вміст нікелю підвищує ризик утворення легкоплавких сульфідів і карбідів, зокрема з сіркою, при температурах близько $625 \text{ }^\circ\text{C}$. Додаткову небезпеку становлять домішки сірки, фосфору, води або кисню, які формують неметалеві включення і порушують зв'язність між зернами.

До цього додається вплив температурного режиму зварювання: нерівномірне тепловкладення або надмірне охолодження здатні створити внутрішні напруження і спровокувати розтріскування [5].

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.3.2 Причини утворення та методи запобігання гарячим тріщинам

Для запобігання гарячим тріщинам застосовуються низка технологічних і металургійних заходів. Одним із них є створення двофазної структури шляхом введення δ -фериту, що стабілізує мікроструктуру. Для жароміцних сталей ефективним вважається вміст δ -фази на рівні від 3%, до 5% мас, а для корозійностійких у межах від 15 % до 25 % мас. Контроль хімічного складу також відіграє ключову роль. Зменшення концентрацій сірки й фосфору, а також легування марганцем, ванадієм чи кремнієм дозволяють зв'язати шкідливі домішки і звузити інтервал кристалізації. Оптимізація режимів охолодження і тепловкладення знижує термічні напруження у зварній зоні. Крім того, вибір способу зварювання також впливає на надійність з'єднання [5].

1.3.3 Опір сталі AISI 304 утворенню холодних тріщин

Сталь AISI 304 відзначається високою стійкістю до утворення холодних тріщин завдяки стабільній аустенітній структурі, яка не зазнає фазових перетворень при охолодженні. Це виключає різке накопичення внутрішніх напружень у зоні термічного впливу. Висока пластичність та низький вміст вуглецю зменшують схильність до крихких фаз і знижують ризик водневої тріщинуватості.

Разом з тим, у разі порушення технологічного процесу зокрема при наявності вологи, недостатньому очищенні поверхонь або використанні зволжених матеріалів ймовірність утворення холодних тріщин зростає. Тому дотримання умов сушіння, правильна підготовка з'єднання та контроль режимів зварювання залишаються обов'язковими [5].

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1.3.4 Опір міжкристалічній корозії сталі AISI 304

Сталь AISI 304 належить до низьковуглецевих аустенітних хромонікелевих сталей, що забезпечує їй помірну стійкість до міжкристалітної корозії. Вміст вуглецю обмежено до 0,07 %, що зменшує ризик утворення карбідів хрому ($Cr_{23}C_6$) на межах зерен під час нагрівання в інтервалі від 500 °C до 850 °C зоні, в якій найчастіше розвивається міжкристалітна корозія (МКК).

Проте в умовах тривалого термічного впливу або при повторному нагріванні цей ризик зберігається. Для забезпечення стабільної корозійної стійкості після зварювання рекомендується застосовувати термічну обробку у вигляді відпалу при від 1050 °C до 1100 °C з подальшим швидким охолодженням. Такий режим сприяє розчиненню карбідів хрому та відновленню однорідності хімічного складу аустеніту [5].

1.3.5 Причини пороутворення у зварних з'єднаннях сталі AISI 304

Найбільш поширеними джерелами пор у зварному шві при зварюванні MIG-способом є водень та кисень, які можуть потрапляти в зону зварювання разом із залишковою вологою, мастильними забрудненнями або при порушенні газового захисту. Водень зазвичай надходить із зволоженого захисного газу або з погано очищених поверхонь, зокрема при наявності залишків масел, жирів чи технологічних плівок. Кисень потрапляє у зону дуги в разі недостатньої подачі інертного газу або при турбулентному потоці, що спричиняє окислення металу шва та утворення газових включень. Це погіршує щільність і якість зварного з'єднання [6].

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

1.3.6 Технологічні заходи щодо запобігання утворення пор

Для забезпечення високої герметичності зварних з'єднань сталі марки AISI 304 необхідно ретельно очищувати крайки та прилеглі зони від усіх видів забруднень. Зварювальні матеріали повинні бути попередньо просушеними згідно з регламентованими умовами. Важливу роль відіграє якість захисного газу бажано застосовувати інертні гази високої чистоти (аргон або гелій), що не взаємодіють з розплавленим металом. Режим зварювання має забезпечувати стабільне горіння дуги та контрольоване тепловкладення для уникнення перегріву та різкого охолодження зони шва, які сприяють замиканню газів у металі [6].

1.4 Опис зварних з'єднань головки теплообмінника

У конструкції головки теплообмінника застосовано кілька типів зварних з'єднань, що забезпечують міцність, герметичність і технологічність при експлуатації в умовах змінного тиску та температур. Типові конфігурації обрано згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 9692–1:2014 щодо підготовки крайок. Основні стикові шви виконуються з повним проплавленням і контролюються за показником В відповідно до ДСТУ ISO 5817:2021. Для забезпечення якісного з'єднання застосовано підготовку кайок з фаскою типу V під кутом 40°, що гарантує повноцінне проплавлення при зварюванні елементів середньої товщини. Обрана підготовка крайок у вигляді V-подібної фаски з кутом 40° є технологічно доцільною для забезпечення стабільного проплавлення та допустимого тепловкладення при зварюванні елементів середньої товщини. Зварювання виконується автоматизовано за процесом 131 (MIG) у середовищі захисних газів Ar/He 75/25, що сприяє формуванню стабільної дуги, якісного провару та зменшенню ризику утворення пор і не проварів у з'єднаннях із нержавіючої сталі. Перелік типів зварних з'єднань подано у табл. 1.4.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Таблиця 1.4 – Типи зварних з'єднань та підготовки крайок

№ шва	Тип з'єднання	Позначення	Ескіз розроблення крайок
1	Стикове	Стикове поздовжнє зварне з'єднання з V-подібною підготовкою крайок відповідно до ISO 9692-1:2013, пункт 1.3.	
2	Стикове	Стикове зварне з'єднання без підготовки крайок ISO 9692-1:2013, п. 1.2.2	
3	Таврове	Кутове кільцеве зварне з'єднання з V-подібною підготовкою крайок за ISO 9692-1:2013, п. 1.9.1	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗВ-п2106.00.000 ПЗ

Арк.

22

Продовження таблиці 1.4

№ шва	Тип з'єднання	Позначення	Ескіз розроблення крайок
4	Таврове	Кутовий кільцеве однобічний зварювальний шов з V-подібною підготовкою крайок за ISO 9692-1:2013, п. 1.9.1	
5	Таврове	Тавровий однобічний зварювальний шов з V-подібною підготовкою крайок за ISO 9692-1:2013, п. 1.9.1	
6	Стикове	Стиковий кільцевий зварний шов з V-подібною підготовкою крайок згідно з ISO 9692-1:2013, пункт 1.3.	

У конструкції головки теплообмінника з корозійностійкої сталі AISI 304 передбачено шість основних зварних швів, які відрізняються за типом з'єднання, конфігурацією та просторовим розташуванням. Усі з'єднання виконуються плавким електродом у середовищі інертного газу згідно з процесом 131 за класифікацією ISO 4063 [7].

Просторове положення шва визначається як РА згідно з ISO 6947 [9], що відповідає зручному нижньому положенню для зварювання. З урахуванням вимог до конструкцій хімічного устаткування, для цього з'єднання встановлено клас якості С згідно з ISO 5817 [10], що допустимо у разі відсутності підвищених вимог до навантаження, але за умови забезпечення герметичності.

Підготовка крайок шва виконується відповідно до стандарту ISO 9692–1:2013 [11], що регламентує типи розробок крайок для стикових і кутових з'єднань у зварюванні дуговим способом. Це забезпечує дотримання геометричних параметрів та оптимальних умов формування зварного шва.

Шов №1 — поздовжнє стикове з'єднання для замикання обичайки в циліндр (поз. 1 згідно з ЗВ–п21.06.01.000). З'єднання виконано по поздовжньому стику з V-подібною підготовкою крайок відповідно до ISO 9692–1:2013, пункт 1.3.

Шов №2 – кільцеве стикове з'єднання (патрубка поз. 4 з фланцем поз. 5 згідно ЗВ–п21.06.01.000). З'єднання виконується без підготовки крайок відповідно до ISO 9692–1:2013, п.1.2.2, що доцільно для зварювання тонкостінних циліндричних деталей у серійному виробництві.

Шов №3 – кутове кільцеве зварне з'єднання (між фланцем поз. 2 та обичайкою поз. 1 згідно з ЗВ–п21.06.01.000) виконано з V-подібною підготовкою крайок відповідно до ISO 9692–1:2013, п. 1.9.1.

Шов №4 – кутове кільцеве зварне з'єднання (патрубка поз. 4 з обичайкою поз. 1 згідно з ЗВ–п21.06.01.000). Виконується з однією V-подібною підготовкою крайок відповідно до ISO 9692–1:2013, п. 1.9.1. Така конфігурація застосовується для з'єднання тонкостінних елементів за умови забезпечення герметичності з'єднання.

Шов №5 – таврове однією кутове зварне з'єднання з V-подібною підготовкою крайок, виконане згідно з ISO 9692–1:2013, п. 1.9.1. З'єднує розпірну пластину (поз. 6) з обичайкою (поз. 1) відповідно до ЗВ–п21.06.01.000. Така конфігурація забезпечує достатню міцність з'єднання для монтажних елементів при збереженні технологічної простоти.

					<i>ЗВ–п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шов №6 – являє собою кільцеве стикове з'єднання, що об'єднує (обичайку поз. 1 з кришкою поз. 3 згідно ЗВ–п21.06.01.000). З'єднання виконано по повздовжньому стику з V–подібним підготовленням крайок відповідно до вимог ISO 9692–1:2013, пункт 1.3. Відомості про зварні з'єднання наведені в табл.1.5.

Таблиця 1.5 – Відомості про зварні з'єднання

№ з'єднання	Вид з'єднання	Товщина металу, мм	Довжина шва, мм	Кількість з'єднань	Конфігурація з'єднання	Доступність
1	Стикове	10:10	280	1	Прямолінійне	Без обмежень
2	Стикове	5:5	190	2	Кільцеве	Без обмежень
3	Таврове	50:10	1100	1	Кільцеве	Без обмежень
4	Таврове	10:5	190	2	Кільцеве	Без обмежень
5	Таврове	10:10	1220	1	Прямолінійне	Обмеження з внутрішньої сторони
6	Стикове	10:10	1100	1	Кільцеве	Без обмежень

1.5 Обґрунтування вибору способу зварювання

У практиці зварювання хімічного устаткування, зокрема елементів із нержавіючих сталей, вибір методу з'єднання є критичним для забезпечення герметичності, міцності та довговічності конструкцій. Тип зварювання підбирається з урахуванням конструктивних особливостей виробу, хімічного складу основного металу, товщини деталей і вимог до експлуатації в агресивних середовищах.

У технології виготовлення деталей із корозійностійких сталей, зокрема при зварюванні головки теплообмінника зі сталі AISI 304, застосовуються різні способи зварювання, класифіковані згідно з ДСТУ EN ISO 4063:2022 [7].

					<i>ЗВ–п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Ручне дугове зварювання покритим електродом має умовне позначення 111 та скорочення (MMA). Для механізованого та автоматичного зварювання плавким електродом в середовищі активного газу використовується 135 (MAG), а для аналогічного процесу в інертному газі – 131 (MIG). Автоматичне зварювання під флюсом відповідає позначенню 121 (SAW), електрошлаковий процес – 72 (ESW). Зварювання неплавким вольфрамовим електродом в інертному середовищі класифікується як 141 (TIG), плазмове – 15 (PAW). Також у практиці застосовуються високотехнологічні методи, як-от електронно-променеве (EBW) та лазерне зварювання (LBW).

Сталь AISI 304 належить до високолегованих аустенітних сталей з вмістом вуглецю до 0,08 % мас, що забезпечує високу здатність до зварювання. Такий низький вміст вуглецю унеможливорює утворення значних карбідних виділень у міжзерновому просторі, які могли б знизити пластичність зварного металу, викликати крихке руйнування або ініціювати холодні тріщини. Отже, металева структура після зварювання залишається однорідною, що позитивно впливає на експлуатаційні властивості з'єднань.

Високолегована сталь AISI 304 характеризується хорошою зварюваністю, що дозволяє застосовувати широкий спектр зварювальних процесів. Однак вибір оптимального методу має ґрунтуватися не лише на металургійних властивостях, а й на конструктивних особливостях виробу, вимогах до якості з'єднань, економічній доцільності та серійності виробництва. У випадку виготовлення головки теплообмінника необхідно врахувати складну просторову конфігурацію зварних швів, вимоги до герметичності та стабільності якості.

Електронно-променеве зварювання (EBW, 51) і лазерне зварювання (LBW, 52) демонструють надзвичайно високу точність і якість швів, мінімальну зону термічного впливу, відсутність деформацій та здатність з'єднувати складні матеріали. Однак для даного виробу їх застосування є економічно необґрунтованим через високу вартість устаткування, складність реалізації технологічного процесу та потребу у спеціалізованих умовах. Ці методи є доцільними переважно у високоточному приладобудуванні або авіаційній промисловості.

										Арк.
										26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗВ-п2106.00.000 ПЗ					

Плазмове зварювання (PAW, 15) також забезпечує високу якість шва та концентрований тепловий вплив, однак через складність устаткування і контрольованості процесу воно не підходить для економічного серійного виробництва.

Газове зварювання (OFW, 311) на сучасному етапі розвитку технологій вважається застарілим. Воно не забезпечує необхідної якості та стабільності швів при роботі з високолегованими сталями, оскільки відбуваються втрати легуючих елементів, утворення пор і широкої зони термічного впливу.

Зварювання в середовищі активного газу (MAG, процес 135), попри високу продуктивність і поширеність, не є оптимальним для високолегованих сталей, зокрема хромонікелевих аустенітних, через використання вуглекислого газу або його сумішей. Активне середовище спричиняє часткове окиснення легуючих елементів, що може знизити корозійну стійкість металу шва. Для таких сталей критично важливо зберігати стабільний хімічний склад у зоні з'єднання, адже він напряму впливає на довговічність і надійність виробу в агресивному середовищі.

Електрошлакове зварювання (ESW, 72) не є придатним для роботи з деталями з високолегованої сталі через високі температури процесу. Вони сприяють утворенню карбідів хрому в зоні термічного впливу, що істотно знижує корозійну стійкість конструкції. Крім того, геометрія головки теплообмінника не дозволяє реалізувати цей спосіб через його обмеження в орієнтації та розмірах шва.

Ручне дугове зварювання (MMA, процес 111) допускається для виконання допоміжних або неосновних з'єднань, оскільки має невисоку продуктивність і потребує високої кваліфікації зварювальника. Для зварювання аустенітних нержавіючих сталей застосовують електроди з рутиловим або основним покриттям, які забезпечують стабільне горіння дуги, знижений вміст водню та високу стійкість до утворення тріщин.

Методи зварювання тиском або тертям у цьому випадку технічно нереалізовані через складну геометрію та просторове розташування з'єднань у головці теплообмінника.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		27

Серед усіх варіантів найбільш перспективними залишаються аргонодугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом (TIG, 141) та механізоване або автоматичне зварювання плавким електродом у середовищі інертного газу (MIG, 131). Обидва методи забезпечують збереження корозійної стійкості шва, високу якість з'єднань та контрольоване тепловкладення.

Для зварювання елементів головки теплообмінника товщиною 10 мм процес TIG (141) є малоефективним, оскільки у два проходи ним зварюють лише деталі до 6 мм. У нашому випадку необхідне виконання численних проходів, що знижує продуктивність, ускладнює контроль тепловкладення та підвищує ризик залишкових напружень. Крім того, процес потребує ретельної підготовки вольфрамового електрода, зокрема заточування під відповідним кутом залежно від сили струму, що додатково ускладнює технологію при серійному виробництві.

Натомість MIG-зварювання (131) є технологічно гнучким, ефективним і добре адаптованим до потреб серійного виробництва. Завдяки застосуванню інертного газу (аргону, гелію або їх сумішей) зона зварювання надійно захищена від атмосферного впливу, що унеможливорює утворення оксидних плівок і дозволяє зберегти хімічну чистоту металу. Метод характеризується високою швидкістю зварювання, мінімальним розбризкуванням, відсутністю шлаку та стабільністю дуги. Він легко автоматизується, що знижує вплив людського чинника та забезпечує повторюваність якості швів. У порівнянні з методом зварювання під флюсом (121), MIG не вимагає додаткових операцій зі збирання й обробки флюсу, що зменшує собівартість і спрощує виробничий процес.

Враховуючи просторову орієнтацію швів, геометрію головки теплообмінника, вимоги до герметичності, надійності та корозійної стійкості, а також необхідність забезпечення високої продуктивності й стабільності якості в умовах серійного виготовлення, найбільш доцільним вибором є механізоване або автоматичне зварювання плавким електродом у захисному інертному газі – MIG (131). Згідно з табл. 1.6, цей метод дозволяє ефективно з'єднувати листовий метал середньої та великої товщини в один або кілька проходів, що повністю відповідає технічним вимогам до даної конструкції.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Застосування MIG-зварювання забезпечує оптимальний баланс між якістю, економічною доцільністю та технологічною ефективністю, що робить його найбільш виправданим вибором для виробництва головки теплообмінника з високолегованої сталі AISI 304 .

Таблиця 1.6 – Орієнтовні товщини для зварювання різних способів зварювання [8]

Кількість проходів	Діапазон товщин металу, що допускається до зварювання обраним типом зварювання.			
	MMA	MIG	SAW	TIG
Один	від 1 мм до 4 мм	від 0,8 мм до 8 мм	від 2 мм до 20 мм	від 0,5 мм до 4 мм
Два	6 мм	12 мм	40 мм	6 мм
Багато	175 мм	120 мм	160 мм	20 мм

З аналізу представленої таблиці видно, що процес 131 – механізоване або автоматизоване зварювання плавким електродом у середовищі інертного газу (MIG) – охоплює широкий діапазон товщин металу, приблизно від 1 мм до 120 мм. Це свідчить про його універсальність і придатність для виконання як однопрохідного, так і багатопрохідного зварювання.

З огляду на товщину елементів головки теплообмінника, яка становить 10 мм, вибір цього способу зварювання є технічно обґрунтованим. Процес 131 повністю відповідає геометричним характеристикам з'єднання, забезпечує необхідну якість швів, стабільну продуктивність у межах серійного виробництва та відповідає вимогам табл. 1.7 щодо матеріалу, типу з'єднань і товщини металу.

Найбільш доцільним для зварювання головки теплообмінника є саме процес MIG (131), оскільки він оптимально поєднує вимоги до якості, надійності, технологічності та продуктивності.

Таблиця 1.7 – Типові положення під час зварювання за номером з'єднання [8]

Номер зварного з'єднання	Положення під час зварювання	Товщина, мм	Варіанти типових способів зварювання
1	ISO 6947-PA	10; 10	131 (авт.)
2	ISO 6947-PA	5; 5	131 (мех.)
3	ISO 6947-PA	50; 10	131 (авт.)
4	ISO 6947-PJ	5; 10	131 (мех.)
5	ISO 6947-PJ	10; 10	131 (мех.)
6	ISO 6947-PA	10; 10	131 (авт.)

1.6 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів

Для зварювання аустенітної нержавіючої сталі AISI 304 обґрунтованим є застосування зварювального дроту 308LSi (199 LSi) згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 14343:2017 [12]. Цей дріт має хімічний склад, узгоджений з основним металом, що забезпечує формування стабільної аустенітної структури в металі шва. Властивості дроту наведено в табл. 1.8.

Ключовою перевагою дроту є підвищений вміст кремнію у межах від 0,65 % до 1,20 %, що покращує змочуваність, стабільність горіння дуги та формування валика шва. Це критично важливо для механізованого зварювання плавким електродом у середовищі інертного газу (процес 131), застосовуваного в умовах серійного виробництва.

Крім того, вміст вуглецю обмежено до 0,03 %, що зменшує ризик утворення карбідів хрому в зоні термічного впливу й запобігає міжкристалічній корозії. Така комбінація властивостей забезпечує надійність з'єднання за умов високих термомеханічних навантажень, включаючи перепади температур і робочий тиск до 3,9 МПа.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 1.8 – Хімічний склад зварювального дроту 308LSi (19 9 LSi) [12]

Позначення за ISO 14343–A	Позначення за ISO 14343–B	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %	Cu, %
19 9 LSi	308LSi	0,03	від 0,65 до 1,2	від 1,0 до 2,5	до 0,03	до 0,02	від 19,0 до 21,0	від 9,0 до 11,0	0,5	0,5

Для зварювання аустенітної нержавіючої сталі AISI 304 у складі головки теплообмінника доцільно використовувати захисне газове середовище ІЗ Ar/He 75/25, яке належить до групи I згідно з ДСТУ EN ISO 14175:2008 [13]. Це середовище є сумішшю аргону та гелію у співвідношенні 75% до 25% за об'ємною часткою. Аргон як інертний газ забезпечує стабільне горіння дуги, захищає зварювальну ванну від контакту з киснем та азотом і сприяє формуванню чистої зони шва без оксидів.

Для зварювання сталі AISI 304 товщиною 10 мм застосовується захисна газова суміш ІЗ Ar/He 75/25, яка належить до групи I згідно з ДСТУ EN ISO 14175:2008 [13]. Вона складається з аргону та гелію у співвідношенні 75 % до 25 % за об'ємною часткою (табл. 1.9).

Додавання гелію до аргону підвищує теплопровідність газового середовища, що забезпечує глибше та стабільніше проплавлення без необхідності збільшення зварювального струму. Це критично важливо для забезпечення рівномірного з'єднання без дефектів типу непровару. Завдяки підвищеному тепловкладенню та кращій концентрації дуги формується чіткий і рівномірний шов.

Таблиця 1.9 – Склад технологічного газу Ar/He 75/25 (група I), % [13]

Група	Підгрупа	Ar	He
I	1	100	–
–	2	–	100
–	3	баланс	$0,5 \leq \text{He} \leq 95$

Суміш Ar/He 75/25 сприяє формуванню струменевого переносу металу, що зменшує розбризкування і покращує змочування крайок. Це позитивно впливає на формування шва та зменшує ймовірність утворення пор. Застосування такої суміші забезпечує високу якість з'єднання та стабільну продуктивність при механізованому зварюванні.

1.7 Вибір і обґрунтування режимів зварювання

Для зварювання елементів головки теплообмінника з аустенітної сталі із застосуванням механізованого та автоматизованого процесу 131 (MIG) підбір параметрів зварювання виконується з урахуванням нормативних рекомендацій і специфіки конструкції. Орієнтовні значення напруги, струму, швидкості подачі дроту та витрати газу наведено в табл. 1.10 [14], однак остаточні параметри встановлюються експериментально.

Контрольне зварювання виконується на зразках з ідентичного матеріалу з метою відпрацювання оптимальних режимів, визначення доцільного тепловкладення та забезпечення формування якісного зварного з'єднання без критичних дефектів. У процесі випробувань враховуються всі основні технологічні фактори: тип з'єднання, положення шва, підготовка крайок, характеристики дуги, склад захисного газу та умови тепловідведення. Режими зварювання та параметри процесу оформлюються у вигляді технологічної інструкції зварювання (WPS) відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 15609-1. Цей документ включається до виробничої документації як нормативна основа для виконання зварних робіт у серійному циклі. Такий підхід забезпечує відповідність зварних з'єднань нормативним вимогам, а також гарантує стабільну якість і відтворюваність результатів у реальному виробництві.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Таблиця 1.10 – Орієнтовні параметри режиму зварювання [14]

Товщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Сила струму, А	Напруга на дузі, В	Швидкість подачі дроту мм/с	Швидкість зварювання, мм/с	Витрати газу, л/хв
1	від 0,8 до 1,0	від 60 до 100	від 17 до 20	від 160 до 200	від 25 до 35	від 10 до 12
2	від 0,8 до 1,0	від 80 до 120	від 18 до 21	від 130 до 150	від 22 до 32	від 10 до 14
3	від 1,0 до 1,2	від 100 до 140	від 19 до 23	від 110 до 130	від 20 до 30	від 12 до 16
4	від 1,0 до 1,2	від 120 до 160	від 20 до 23	від 90 до 110	від 18 до 26	від 14 до 16
5	від 1,2 до 1,4	від 180 до 210	від 22 до 25	від 75 до 85	від 15 до 22	від 15 до 17
6	від 1,2 до 1,4	від 200 до 220	від 23 до 26	від 78 до 88	від 14 до 20	від 15 до 18
7	від 1,4 до 1,6	від 210 до 230	від 24 до 26	від 80 до 90	від 13 до 19	від 16 до 18
8	від 1,6 до 1,8	від 220 до 240	від 25 до 27	від 83 до 90	від 12 до 18	від 17 до 18
9	від 1,8 до 2,0	від 230 до 250	від 25 до 27	від 85 до 92	від 11 до 17	від 17 до 18
10	від 1,8 до 2,2	від 250 до 280	від 27 до 30	від 92 до 95	від 17 до 20	від 18 до 19
50	від 1,8 до 2,2	від 280 до 320	від 30 до 33	від 95 до 100	від 20 до 25	від 19 до 20

Подані параметри є орієнтовними й потребують уточнення з урахуванням умов конкретного виробництва. Фактичні значення залежать від матеріалу, просторового положення, типу захисного газу та характеристик обладнання. Для забезпечення стабільності процесу доцільно провести контрольні зварювання на зразках, наближених до реальної конструкції.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Під час оцінювання відповідності зварних з'єднань слід враховувати мінімальні розміри кутових швів згідно з табл. 1.11, що регламентує вимоги до з'єднань залежно від товщини основного металу.

Таблиця 1.11 – Мінімальні розміри кутових зварних швів [14]

Товщина основного металу T	Мінімальний розмір кутового шва
$T \leq 6$ мм	3 мм
$6 \text{ мм} < T \leq 12$ мм	5 мм
$12 \text{ мм} < T \leq 20$ мм	6 мм
$T > 20$ мм	8 мм

Примітка. Вибір мінімального розміру кутового зварного шва залежить від умов процесу зварювання. У випадках, коли не використовується розрахований підігрів або спеціальні процеси з обмеженням вмісту водню, за основу приймають товщину товщої з'єднуваної деталі. Якщо ж застосовується зварювання з контролем тріщиноутворення або процеси з низьким вмістом водню, орієнтуються на товщину тоншої деталі. При цьому мінімальний розмір шва не повинен перевищувати товщину тоншої деталі.

Остаточні встановлені параметри зварювання фіксуються в документі попередньої специфікації зварювального процесу (WPS), що відображає узгоджені значення режимів, підтвержені контрольними випробуваннями в умовах, наближених до реального виробництва.

2 ВИБІР ТА КОМПОНУВАННЯ СКЛАДАЛЬНО–ЗВАРЮВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ

2.1 Обґрунтування вибору устаткування та режимів обробки заготовок

Для внутрішньоцехового транспортування заготовок після виконання операцій різання застосовується комбінація стаціонарного й мобільного вантажопідйомного устаткування, адаптованого під умови обмеженої площі та змінну масу деталей. Щойно вирізані елементи укладаються в металеву сітчасту корзину, яка жорстко фіксується до вантажного гака кран-балки вантажопідйомністю 5 т [15]. Такий спосіб дає змогу швидко евакуювати комплект заготовок із зони термічного різання без додаткових ручних операцій, зберігаючи порядок і виключаючи деформацію крайок.

Подальше адресне переміщення в межах ділянки, зокрема до вальцювального або зварювального поста, здійснюється за допомогою електричного штабелера GTM PSE15L–C [36]. Завдяки своїй маневровості та точній гідравлічній системі підйому, штабелер забезпечує безпечну подачу навіть у вузьких проходах або до робочих зон, де кран–балка не має доступу. Його технічні характеристики наведено в табл. 2.1, що підтверджує відповідність устаткування вимогам до мобільності, вантажопідйомності та безпеки. Така транспортна логістика забезпечує безперервність технологічної послідовності й дозволяє раціонально розвантажити основні вантажопідйомні засоби у серійному виробництві.

Завдяки такому розподілу транспортних функцій між кран–балкою та електричним штабелером забезпечується оптимальне навантаження на логістичну інфраструктуру ділянки. Це дозволяє мінімізувати простой устаткування, зменшити кількість непотрібних переміщень і виключити скупчення напівфабрикатів у технологічних вузлах. Крім того, використання мобільного транспорту в поєднанні з фіксованим підйомом дає змогу дотримуватись принципу потокового виробництва, що суттєво підвищує продуктивність і ритмічність зварювального циклу.

					<i>ЗВ–п2106.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики електричного штабелера GTM PSE15L–C [36].

Показник	Значення
Маса, кг	713
Вантажопідйомність, кг	1500
Габарити, мм	1850 × 900 × 2250
Довжина вил, м	1,15
Зовнішнє розширення вил, мм	від 570 до 685
Максимальна робоча висота, м	3,2
Місткість акумулятора, А·год	50
Мінімальна робоча висота, м	0,085
Напруга акумулятора, В	48
Радіус повороту, мм	1540

Листоправильна машина Vendmak BPSM 30/50 призначена для вирівнювання листового металопрокату завширшки до 3000 мм і завтовшки до 50 мм, що є критично важливим етапом підготовки заготовок перед операціями вальцювання та зварювання. Конструкція машини базується на жорсткому зварному корпусі зі сталі St–52 та оснащена валками діаметром 570 мм. Їх кількість варіюється від 5 до 9 залежно від ступеня викривлення матеріалу, що впливає на кількість необхідних проходів. Технічні характеристики установки наведено в табл. 2.2, де узагальнено її основні експлуатаційні параметри.

Таблиця 2.2 – Характеристика листоправильної машини марки для Vendmak BPSM 25/35 [16]

Параметр	Значення
Робоча ширина	3000 мм
Товщина металу	до 50 мм
Діаметр правильних валків	570 мм
Потужність	150 кВт

Для розкрою листового прокату з нержавіючої сталі AISI 304 у технологічному процесі застосовується плазмовий верстат з ЧПК Vector 6015P. Він дозволяє обробляти заготовки розміром до 6000 мм × 1500 мм з точністю до 0,1 мм, що забезпечує якісну геометрію деталей для подальших операцій. Наявність водяного піддона сприяє зменшенню термічного впливу на матеріал, однак при повітряно–плазмовому різанні можливе часткове азотування крайок, що ускладнює формування повноцінного зварного з'єднання. Технічні характеристики верстата наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики верстата плазмового різання з ЧПК Vector 6015P [17]

Показник	Значення
Зона обробки (X × Y × Z), мм	6000 × 1500 × 250
Кріплення заготовки	механічне
Водяний піддон	для осаду шлаків
Швидкість переміщення, м/хв	від 1 до 35
Точність різання, мм	0,1
Привід переміщення	зубчата рейка
Тип направляючих	вал на опорі
Привід лінійних переміщень	кроковий двигун Nema 34 (4.2 A)
Контролери	YAKO YKD2608MH
Система управління	mach3
Маса, кг	2800

З огляду на це, після плазмового різання передбачено формування фаски з попереднім зняттям шару, який міг зазнати термічного впливу. Для цього використовується фаскознімач SKF 20 з характеристиками що наведені в табл. 2.4, який забезпечує регулювання кута обробки в діапазоні від 15° до 60°, глибину фаски до 4 мм та ширину до 20 мм. Устаткування ефективно працює з листами, трубами (від 160 мм) і профілями з різних металів.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики фаскознімача SKF 20 [18]

Показник	Значення
Потужність двигуна, Вт	1100
Швидкість обертання (без навантаження), об/хв	2850
Кут регулювання фаски, °	від 15° до 60°
Максимальна ширина фаски, мм	від 0 до 20
Габаритні розміри, мм	420 × 300 × 300
Маса, кг	22
Напруга живлення, В	110 / 220

Для підготовки поверхні після плазмового різання, з метою видалення термічної окалини та шлаку, у технологічному процесі застосовується очищувальний верстат 1300RR–М, що забезпечує двосторонню обробку заготовок шириною до 1300 мм і товщиною до 80 мм. Оброблення здійснюється із заданою швидкістю подачі до 5 м/хв, що дозволяє ефективно видаляти залишкові забруднення та підвищити якість крайок перед зняттям фаски. Основні технічні характеристики устаткування наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики верстата 1300RR–М [19]

Показник	Значення
Максимальна ширина обробки, мм	1300
Товщина оброблюваного матеріалу, мм	від 08 до 80
Швидкість подачі, м/хв	від 1 до 5
Діаметр роликів, мм	240
Сумарна потужність, кВт	40
Робочий тиск повітря, МПа	≥0.55
Габарити, мм	2400 × 1200 × 2400
Маса, кг	3350
Конвеєрна стрічка	Lawn / Golf conveyor belt
Система керування	PLC Chint/Delixi
Робоча напруга	380 В (трифазна)

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Для операції формування напівсферичної (кришки поз. 3 згідно ЗВ–п21.06.00.000) застосовується прес–машина глибокої витяжки TAITIAN чотириколонного типу, що відзначається високою стабільністю та точністю під час роботи з нержавіючими сталями. Конструкція преса виконана з високоміцної легованої сталі з хромованою поверхнею, що забезпечує зносостійкість та довговічність. Гідравлічна система керування побудована на основі високоточних картриджних клапанів типу TWIWAY (Тайвань), які гарантують надійну роботу при високому тиску без реверсивних ударів.

Електрична частина побудована на компонентах Schneider Electric, захищена від пилу, вологи та мастила, а логічне керування дозволяє точно контролювати всі фази витяжки. Передбачено систему демпфування, ежектори, а також змінні столики для швидкої заміни прес–форми. Технічні характеристики устаткування наведено в табл. 2.6, що підтверджує його придатність до роботи в умовах серійного виробництва корпусних елементів теплообмінників.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики преса глибокої витяжки TAITIAN (4–колонного типу) [20]

Показник	Значення
Тип конструкції	Гідравлічний прес з чотирма колонами
Матеріал корпусу	Легована сталь з хромованим покриттям
Гідросистема	Картриджний клапан TWIWAY (Тайвань)
Максимальний робочий тиск	Високий, стабільна робота при навантаженні
Електроустаткування	Schneider Electric (пило та вологозахищене)
Особливості	Швидкий хід, система демпфування, ежектор
Тип керування	Гідравлічна та електронна система з логічним управлінням
Призначення	Глибока витяжка, формування, обрізка металевих листів
Габаритні розміри, мм	Залежить від моделі (орієнтовно 2400 × 1200 × 2400)
Маса устаткування, кг	В межах від 3000 до 4000 залежно від конфігурації

Для виконання фрезерних та свердлильних операцій над фланцями поз. 2 та фланця патрубків поз 5. згідно ЗВ–п21.06.00.000) у процесі виготовлення вузлів головки теплообмінника застосовується універсальний фрезерний верстат Holzmann BF 1000DDRO. Завдяки комбінованій вертикально–горизонтальній компоновці шпинделів та потужній литій станині з антивібраційними властивостями, верстат забезпечує стабільну геометрію обробки, точне свердління та нарізання різьб. Широкий діапазон обертів, наявність пневмозатиску, T–подібні пази та великий стіл дозволяють закріплювати габаритні заготовки та виконувати складні контури отворів. Основні технічні характеристики верстата наведено в табл. 2.7, що підтверджує його відповідність вимогам до точності, універсальності та обробки сталевих заготовок.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики фрезерного верстата Holzmann BF 1000DDRO [21]

Показник	Значення
Напруга живлення, В	400
Потужність, кВт	1,5 / 2,2
Частота обертання горизонтального шпинделя, об/хв	від 40 до 1300
Частота обертання вертикального шпинделя, об/хв	від 90 до 2000
Хід пінолі вертикального шпинделя, мм	120
Кут нахилу головки	+/- 90°
Відстань між шпинделем і столом, мм	від 90 до 490
Відстань між шпинделем і колонною, мм	від 0 до 400
Тип фрезерного адаптера	ISO 40
Макс. продуктивність фрезерування, мм	30
Макс. діаметр свердління, мм	50 мм / M20
Переміщення стола по X, мм	900
Переміщення стола по Y, мм	300
Переміщення шпиндельної головки по Z, мм	400
Розмір стола, мм	1370 × 320
Габарити, мм	1500 × 1600 × 2220
Маса, кг	1490

					<i>ЗВ–п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Для розділення заготовок на сегменти з дотриманням високої точності та чистоти різку використовується стрікопильний верстат FDB Maschinen SGA 400G. Верстат належить до двоколонного типу з напівавтоматичним керуванням і призначений для різання металів різної твердості від алюмінію до нержавіючих сталей і нікелевих сплавів. Завдяки гідравлічним лещатам, багатоточковій системі подачі СОЖ, а також фіксованим швидкостям подачі полотна, верстат забезпечує стабільне позиціонування заготовки та рівномірне навантаження на ріжучий інструмент. Його використання дозволяє ефективно розкрюювати обичайки на сегменти шириною до 300 мм згідно з технічними умовами. Технічні характеристики устаткування наведено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики стрікопильного верстата FDB Maschinen SGA 400G [22]

Показник	Значення
Тип верстата	Двоколонний
Тип керування	Напівавтоматичне
Потужність, кВт	4.0
Кількість швидкостей	5
Швидкість руху стрічки, м/хв	19/30/50/65/80
Довжина стрічкової пилки, мм	5080
Ширина стрічкової пилки, мм	41
Товщина стрічкової пилки, мм	1.25
Зона обробки при 90°, мм	700 × 400
Розміри стола, мм	1370 × 320
Габарити (Д×Ш×В), мм	2740 × 1300 × 2200
Маса, кг	1740
Напруга, В	380
Частота, Гц	50
Система затиску	Гідравлічні лещата
Подача СОЖ	Багатоточкова

Для формування обичайки (поз. 1) згідно ЗВ–п21.06.01.000 застосовується 4–валковий листозгинальний верстат FACFIN 4HEL–1622. Це устаткування призначене для вальцювання циліндричних та криволінійних елементів із листового прокату з високою точністю та повторюваністю геометрії.

Машина забезпечує синхронне керування рухом нижнього і бічних валків, що дозволяє здійснювати попереднє згинання та формування за один прохід без необхідності повороту листа. Висока жорсткість конструкції та гідравлічне регулювання параметрів прокатки забезпечують надійну обробку нержавіючої сталі товщиною до 10 мм без втрати точності. Технічні характеристики верстата наведено в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики верстату FACFIN – 4HEL 1622 [35]

Параметр	Значення
Ширина прокату	1550 мм
Товщина прокатки 3х Ø топролу	10 мм
Товщина прокатки 5х Ø топролу	12 мм
Попереднє згинання товщини прокатки	8 мм
Верхній рулон Ø	215 мм
Нижній рулон Ø	215 мм
Бічний рулон Ø	165 мм
Регулювання нижнього крену	150 мм/хв
Регулювання бічних валків	150 мм/хв

Шарнірно важільний притискач ST–12130 застосовується для фіксації фланця поз. 2 згідно з ЗВ–п21.06.01.000 до опорного столика поз. 9 згідно з ЗВ–п21.06.03.000. Конструкція притискача передбачає вертикальне розташування ручки, регульований прижимний гвинт з обрешиненим наконечником та П–подібну штангу, що дозволяє точно встановити положення точки притиску. Завдяки компактним розмірам і достатньому зусиллю затискання пристрій ефективно використовується для стабільного закріплення заготовки під час складання та прихоплення [34].

Для виконання однобічного поздовжнього стикового зварювання обичайки застосовується автоматизована зварювальна установка BR 2500 [23], конструкція якої включає зварювальний модуль, закріплений на горизонтальній консолі. Консоль, у свою чергу, жорстко закріплена на вертикальній опорній колоні, що забезпечує стабільність переміщення зварювального вузла по осі шва.

Оснащення, зображене на рис. 2.1, призначене для точного встановлення та фіксації обичайки в зоні зварювання з метою формування поздовжнього стикового шва в автоматизованому режимі. Конструкція пристосування забезпечує жорстке й стабільне положення заготовки відносно осі зварювання, що є критично важливим для отримання рівномірного провару по всій довжині шва.

Особливістю конструкції є пружинний притискний елемент, який під час складання створює додаткове осьове зусилля, вирівнюючи обидві крайки обичайки в єдиній площині. Це гарантує точне суміщення зварюваних поверхонь ще до подачі пальника та усуває можливість сходження по висоті. Застосування такого притиску сприяє формуванню якісного, рівномірного шва з високою повторюваністю геометричних параметрів.

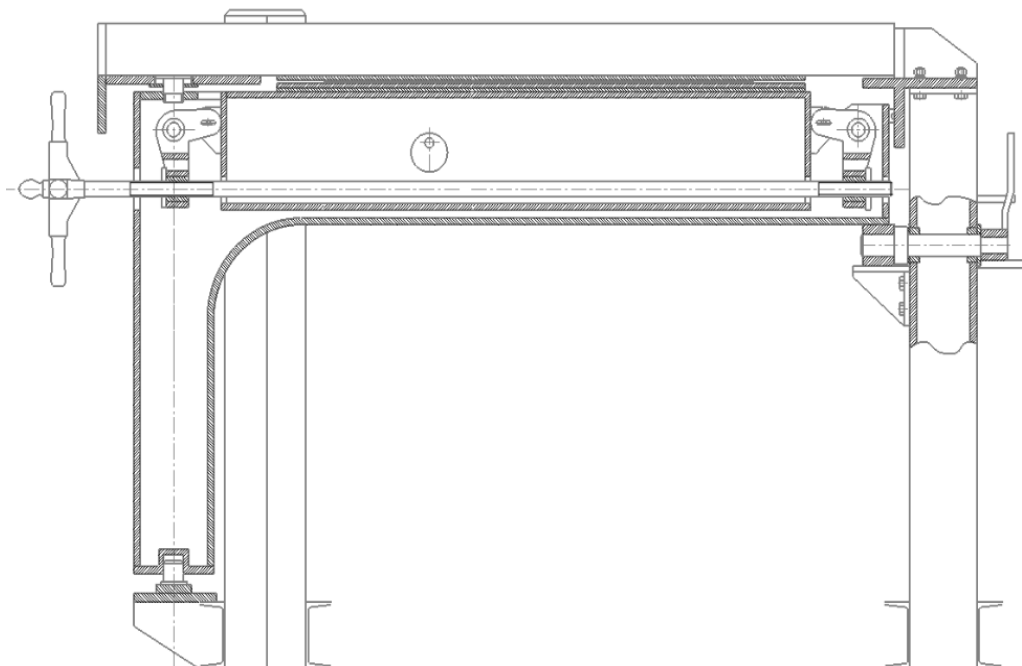


Рисунок 2.1 – Установка для зварювання поздовжнього шва [24]

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Живлення зварювального пальника забезпечується від джерела Jasic MIG–500 (N221), що представляє собою надійний трифазний інверторний апарат для напів автоматичного (MIG/MAG) і ручного дугового (MMA) зварювання. Джерело розраховане на струмове навантаження до 500 А та експлуатується в мережах з напругою 380 В із допустимими відхиленнями $\pm 15\%$, що забезпечує стійку роботу навіть за умов коливань у промисловій електромережі.

У базову комплектацію входить повноцінний зварювальний пост, що включає джерело струму, візок із платформою для балона, турель із можливістю обертання на 360° , блок подачі дроту із чотирма приводними роликками, а також пальник із рідинним охолодженням і довжиною шланг–пакета 5 м. Окремо виділяється блок примусового охолодження на 5 літрів, який забезпечує термостабільність при тривалому зварюванні високими струмами.

Апарат відзначається компактними габаритами, низьким рівнем шуму та системою стабілізації дугового процесу, яка компенсує коливання напруги до 15 %. Плати джерела покриті захисним лаком, що підвищує надійність в умовах пилових і вологих виробничих середовищ. Реалізовано режими 2Т/4Т, функцію керування кратером, а також можливість використання як порошкового, так і суцільного дроту. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Зварювальний напівавтомат Jasic MIG–500 [25]

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Для роботи з джерелом Jasic MIG–500 було використано зварювальний палик марки MB–36KD Welding Dragon, який відповідає вимогам до струмового навантаження та сумісності підключення. Палик рис. 2.3 приєднується через стандартний роз'єм KZ–2, що повністю узгоджується з конфігурацією механізму подачі дроту Jasic. Робочий діапазон струму палика становить до 450 А, що забезпечує стабільне функціонування під час зварювання обичайки при обраних режимах. Довжина шланг–пакета забезпечує вільне маневрування в межах зони зварювання, а рідинне охолодження гарантує термостабільність палика під навантаженням. Такий вибір забезпечує надійність роботи комплексу у виробничих умовах.



Рисунок 2.3 – Палик для напівавтоматичного зварювання MB–36KD Welding Dragon [26]

У технологічному процесі зварювання обичайки використовується редуктор БУД–25ДМ, призначений для подачі інертної газової суміші Ar/He 75/25 відсотків. Редуктор забезпечує зниження та стабілізацію тиску газу, що надходить із балона, і підтримує постійний робочий тиск протягом усього циклу зварювання.

Принцип роботи базується на двоступеневому редукуванні. На першому етапі тиск знижується з балонного до середнього рівня, а на другому стабілізується на виході для безпосередньої подачі в зону зварювання. Така схема дає змогу точно підтримувати заданий тиск, що особливо важливо для забезпечення рівномірного захисного середовища при автоматизованому зварюванні.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Редуктор характеризується високою пропускною здатністю до 417 літрів за хвилину, допускає вхідний тиск до 20 МПа та підтримує робочий тиск до 0,8 МПа. Завдяки компактним габаритам і стандартному різьбовому приєднанню редуктор легко інтегрується у зварювальний пост без додаткових адаптацій. Його застосування дозволяє забезпечити стабільну газову подачу, необхідну для отримання якісного зварного шва з високою повторюваністю в умовах серійного виробництва. Зовнішній вигляд і конструкція редуктора, що використовується у зварювальному процесі, наведені на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Редуктор двоступеневі БУД–25ДМ [27]

Зварювальний автомат А–1406 застосовується для дугового зварювання та наплавлення плавким електродом (суцільний або порошковий дріт) у середовищі захисних газів при постійному струмі. У даній конструкції використовується метод 131 (MIG) у газовій суміші аргону з гелієм у співвідношенні Ar 75 % і He 25 %.

Особливістю апарата є можливість плавного регулювання швидкості подачі дроту, що дозволяє точно налаштувати режим залежно від товщини металу, типу шва та просторового положення з'єднання. Передбачено можливість зміни передавальних шестерень, що дає змогу швидко адаптувати устаткування під різні режимні вимоги при зварюванні великогабаритних виробів.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Апарат працює від мережі 380 В із частотою 50 Гц. Діапазон регулювання зварювального струму становить від 60 А до 500 А, при номінальному струмі 500 А апарат забезпечує роботу при ПВ = 60 %. Діаметр дроту, що використовується, від 1,2 мм до 2,0 мм. Зовнішній вигляд установки наведено на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Зварювальна установка А–1406 [28]

Для виконання кільцевих зварних з'єднання на обичайці було застосовано позиціонер–обертач Tesla Weld ТПГ ПОЗ–300 [33], який забезпечує надійне фіксування й рівномірне обертання деталі навколо горизонтальної осі. Це дозволяє зварювальнику працювати у зручному положенні, зберігаючи постійну якість шва по всьому контуру виробу.

Платформа позиціонера має можливість регулювання кута нахилу від 0° до 90°, що забезпечує точне позиціонування виробу як у вертикальній, так і в горизонтальній площині. Завдяки цій функції забезпечується оптимальне розташування зварювальної зони для виконання стикових і кутових з'єднань незалежно від просторової конфігурації заготовки.

					ЗВ-п2106.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система приводу забезпечує регульовану швидкість обертання в діапазоні від 0,01 об/хв до 12 об/хв, що дозволяє адаптувати процес до конкретного режиму зварювання та геометрії виробу. Діаметр поворотного стола становить 300 мм, а діаметр планшайби 300 мм, що дозволяє розміщувати на ньому деталі різної конфігурації.

Застосування позиціонера Tesla Weld ТПГ ПОЗ–300 [37] дає змогу забезпечити оптимальні (рис 2.6) умови для виконання кільцевого зварного з'єднання обичайки за рахунок точного просторового розміщення деталі. Конструкція устаткування дозволяє змінювати кут нахилу планшайби в діапазоні від 0 до 90°, що забезпечує переведення заготовки з горизонтального положення у вертикальне і навпаки. Це критично важливо для формування якісного валика при зварюванні по замкненому контуру, оскільки дає змогу постійно тримати зону зварювання у найбільш зручному положенні для пальника.

Наявність регульованої швидкості обертання платформи в межах від 0,01 об/хв до 12 об/хв дозволяє адаптувати процес під різні режими зварювання та товщину матеріалу. Завдяки цьому зменшуються кількість зупинок дуги, знижується тепловий вплив на зону шва та забезпечується сталість геометрії з'єднання. Конструкція позиціонера витримує навантаження до 50 кг у горизонтальному положенні та до 25 кг при повороті в вертикаль, що повністю відповідає масі головці теплообмінника.



Рисунок 2.6 – Позиціонер–обертач для зварювання Tesla Weld ТПГ ПОЗ–300 [37]

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Під час складання головки теплообмінника було застосовано трьохкулачковий розтискний патрон моделі CWO–3661, який забезпечив точне центроване з'єднання основних елементів конструкції. Зокрема, патрон забезпечив співвісність між фланцем (поз. 2), обичайкою (поз. 1) та кришкою (поз. 3) відповідно до технічних вимог складального креслення ЗВ–п21.06.00.000.

Модель CWO–3661 призначена для роботи з внутрішніми діаметрами в діапазоні від 204 до 405 мм, що повністю охоплює габарити внутрішніх отворів елементів конструкції. Завдяки жорсткій посадці, надійному фіксуванню та точному самоустановленню, пристрій забезпечив стабільне положення вузла під час зварювання та виключив осьові і радіальні зміщення між деталями. Зовнішній вигляд та принцип дії патрона наведено на рис. 2.7.

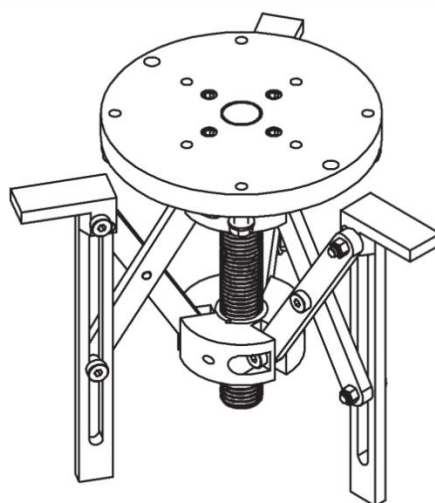


Рисунок 2.7 – Трьохкулачковий розтискний патрон моделі CWO–3661 [29]

Для з'єднання патрубка (поз. 4) з фланцем патрубка (поз. 5) згідно ЗВ–п21.06.00.000 використовується внутрішній ручний затискач серії ІМС, призначений для зварювання фланців до труб з діаметром у діапазоні від 56 до 140 мм. Конструкція центрального пристрою передбачає два ряди незалежно розширюваних напрямних, що дає змогу автоматично забезпечити співвісність двох циліндричних елементів навіть за наявності різного діаметра.

					<i>ЗВ–п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Перший ряд фіксується всередині труби обертанням ручки, другий притискає приєднаний фланець за допомогою спеціальної гайки-баранчика. Така система виключає зміщення під час зварювання та значно спрощує підготовку до складання. Контактні елементи затискача виготовлені з нержавіючої сталі, що дозволяє використовувати його з деталями з різних матеріалів без ризику пошкодження поверхні. Пристрій також ефективний для з'єднання важких або масивних вузлів, де необхідна стабільна фіксація з мінімальними допусками. Зовнішній вигляд і принцип роботи затискача показано на рис. 2.8.

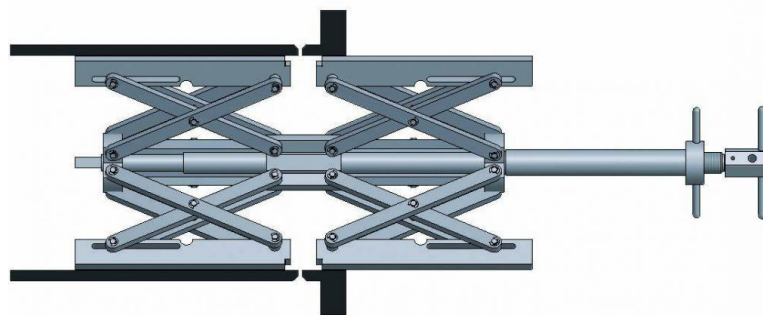


Рисунок 2.8 – Трубний центратор для внутрішньої фіксації труб [30]

2.2 Ультразвуковий контроль зварних з'єднань

З метою забезпечення надійності та довговічності зварних з'єднань у конструкції головки теплообмінника після завершення технологічних операцій виконується комплексний контроль якості. Він передбачає застосування як візуально-вимірювального контролю, так і ультразвукової дефектоскопії, що дозволяє виявити як зовнішні, так і внутрішні дефекти з високим рівнем точності.

На першому етапі проводиться візуальний контроль зварних швів, під час якого перевіряється цілісність з'єднань, геометричні параметри шва, а також відсутність видимих дефектів, таких як подрізи, пори, тріщини, напливи металу чи викривлення форми. Для вимірювання параметрів швів (наприклад, висоти підсилення, ширини провару) застосовуються шаблони зварника.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Після візуальної оцінки конструкція передається на другий етап ультразвуковий неруйнівний контроль, який дає змогу виявити внутрішні дефекти: несплавлення, непровари, тріщини та інші порушення з'єднання металів. Ультразвукове дослідження виконується за допомогою дефектоскопа DIO 1000 PA на фазованих решітках, зображеного на рис. 2.9.



Рисунок 2.9 – Ультразвуковий дефектоскоп DIO 1000 PA на фазованих решітках [38]

Даний прилад поєднує в собі переваги класичного ультразвукового методу та сучасних технологій візуалізації сигналу завдяки використанню фазованих решіток, TOFD-методу та безконтактної електромагнітно-акустичної емісії (ЕМА). Це дозволяє з високою точністю визначати місце розташування, орієнтацію та характер внутрішнього дефекту без руйнування конструкції. Автоматичне калібрування приладу скорочує час налаштування, а вбудовані цифрові функції забезпечують швидку інтерпретацію результатів та їх документування.

Ультразвуковий дефектоскоп DIO 1000 PA відзначається компактними розмірами (224 мм × 188 мм × 34 мм) і малою масою, що дозволяє проводити контроль навіть у важкодоступних місцях. Час автономної роботи до 10 годин забезпечує мобільність процесу обстеження в умовах виробництва.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

2.2 Обґрунтування вибору стандарту та вимог до листового прокату

Для виготовлення заготовок використовується гарячекатаний листовий прокат згідно з ДСТУ 8540:2015. Цей стандарт встановлює точні допуски на товщину, ширину та плоскість, що забезпечує стабільну геометрію й високу якість поверхні. Постачання здійснюється у вигляді листів товщиною від 0,4 мм до 160,0 мм або рулонів товщиною від 1,2 мм до 25,0 мм за умови ширини не менше 500 мм. За погодженням можливе виготовлення прокату нестандартних розмірів. Основні допуски на товщину листового прокату, застосованого для нашої конструкції, наведено в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Розміри прокату, виготовленого листа відповідно до ДСТУ 8540:2015 [31]

Назва параметра	Значення номінальних розмірів
Товщина	0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,63; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,90; 1,00; 1,20; 1,30; 1,40; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,2; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 12,5; 13,0; 13,5; 14,0; 14,5; 15,0; 15,5; 16,0; 16,5; 17,0; 17,5; 18,0; 18,5; 19,0; 19,5; 20,0; 20,5; 21,0; 21,5; 22,0; 22,5; 23,0; 23,5; 24,0; 24,5; 25,0; 25,5; 26,0; 26,5; 27,0; 28,0; 29,0; 30,0; 31,0; 32,0; 34,0; 36,0; 38,0; 40,0; 42,0; 45,0; 48,0; 50,0; 52,0; 55,0; 58,0; 60,0; 62,0; 65,0; 68,0; 70,0; 72,0; 75,0; 78,0; 80,0; 82,0; 85,0; 87,0; 90,0; 92,0; 95,0; 100,0; 105,0; 110,0; 115,0; 120,0; 125,0; 130,0; 135,0; 140,0; 145,0; 150,0; 155,0; 160,0
Ширина	500; 510; 600; 650; 670; 700; 710; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1100; 1250; 1400; 1420; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2100; 2200; 2300; 2400; 2500; 2600; 2700; 2800; 2900; 3000; 3200; 3400; 3600; 3800; 4000; 4200; 4400
Довжина	710; 1200; 1400; 1420; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2200; 2500; 2800; 3000; 3200; 3400; 3500; 3600; 4000; 4500; 5000; 5500; 6000; 6500; 7000; 7500; 8000; 8200; 8500; 9000; 10 000; 11 000; 12 000

Розкрій листового прокату виконується з урахуванням раціонального розміщення деталей на площині аркуша для мінімізації відходів і повної комплектації заготовок. Робота здійснюється на плазмовому верстаті з ЧПК Vector 6015P, що забезпечує високу точність позиціонування та формує вузьку різальну зону шириною від 0,15 мм до 0,50 мм. Це дозволяє отримати чистий різ без додаткової обробки. Типове розташування заготовок на листі з урахуванням припусків показано на рис. 2.10.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

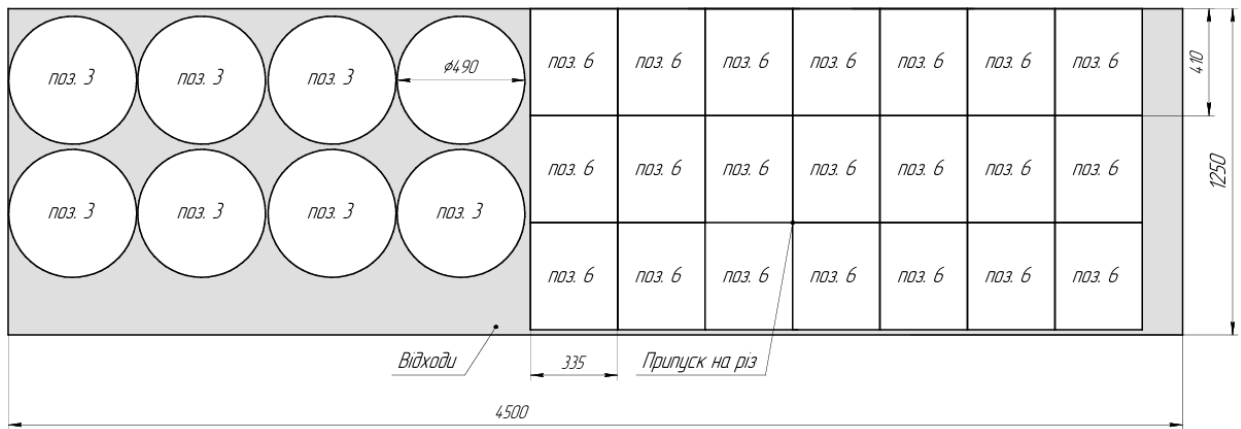


Рисунок 2.10 – Карта розкрою лист $\frac{10 \times 1250 \times 5500 \text{ ДСТУ 8540:2015}}{X5CrNi18-10 (1.4301) \text{ EN 10088-1:2014}}$
на деталі (поз. 3; поз 6 згідно ЗВ–п21.06.01.000)

Рисунок 2.11 ілюструє типове розташування заготовок на листовому матеріалі з урахуванням необхідних технологічних припусків.

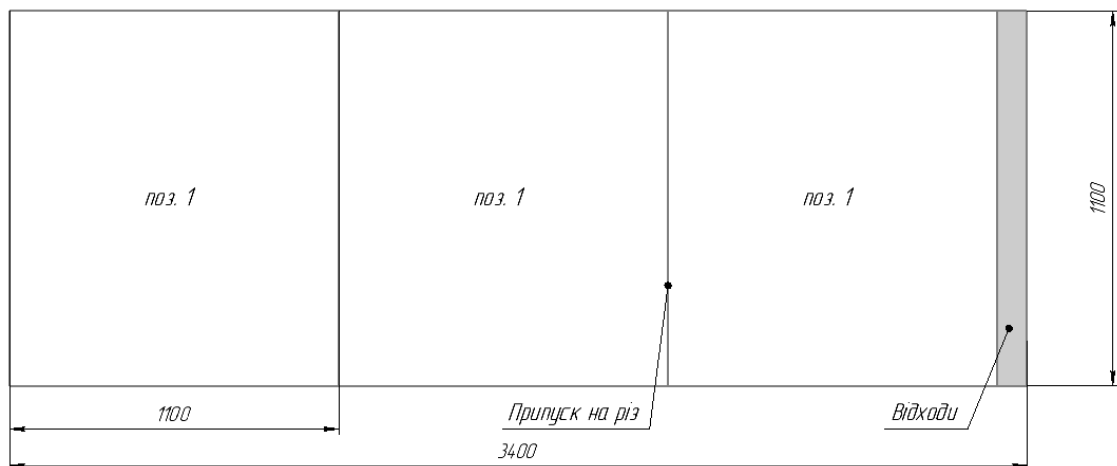


Рисунок 2.11 – Карта розкрою лист $\frac{10 \times 1100 \times 3400 \text{ ДСТУ 8540:2015}}{AISI 304 \text{ EN 10088-1:2014}}$
на деталі (поз. 1; згідно ЗВ–п21.06.01.000)

Для листового прокату товщиною 50 мм розкрій здійснюється методом плазмового різання із шириною різальної смуги в межах від 0,15 мм до 0,30 мм. Цей показник враховується як припуск на різ при підготовці креслень розкрою. Орієнтовне розташування заготовок на площині листа подано на рис. 2.11.

					<i>ЗВ–п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

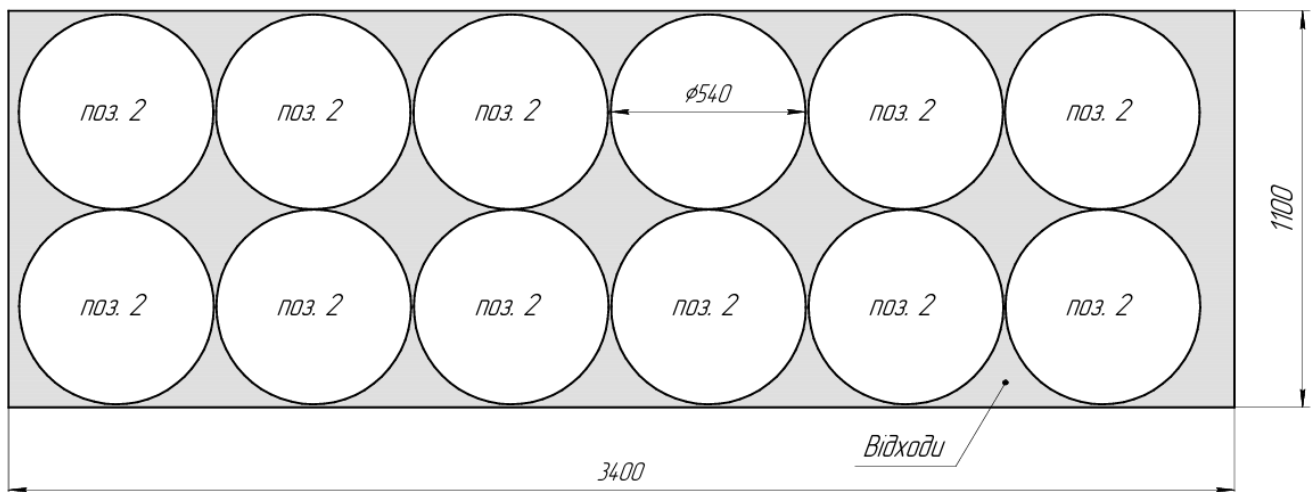


Рисунок 2.11 – Карта розкрою лист $\frac{50 \times 1100 \times 3400 \text{ ДСТУ 8540:2015}}{\text{AISI 304 EN 10088-1:2014}}$
на деталі (поз. 2; згідно ЗВ–п21.06.01.000)

Патрубок (поз. 4) виготовляється з нержавіючої труби відповідно до вимог складального креслення ЗВ–п21.06.01.000. Для забезпечення відповідності геометричних розмірів і масових характеристик деталей виготовляється згідно з ДСТУ ISO 1127:2005 [32], який регламентує номінальні розміри, граничні відхилення та стандартну масу труб з нержавіючої сталі

Фланець (поз. 2) та фланець патрубка (поз. 5) виготовляються з круглої металевої заготовки (біланки) з нержавіючої сталі відповідно до вимог складального креслення ЗВ–п21.06.01.000. Механічна обробка включає фрезерування торців, оброблення посадочних площин та свердління отворів згідно з конструкторською документацією. Для виготовлення зазначених елементів застосовуються поковки із корозійностійкої сталі, що відповідають вимогам ДСТУ EN 10222–5:2017 [33], який регламентує хімічний склад, механічні властивості та розміри поковок із аустенітних сталей, зокрема AISI 304.

					<i>ЗВ–п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

2.3 Технологічна послідовність виготовлення головки теплообмінника

Вихідний листовий прокат з нержавіючої сталі марки AISI 304 постачається на заготівельну дільницю кран–балкою вантажопідйомністю 5 тон [15].

лист $\frac{10 \times 1250 \times 5500 \text{ ДСТУ 8540: 2015}}{\text{AISI 304 EN 10088- 1: 2014}}$

лист $\frac{50 \times 1100 \times 3400 \text{ ДСТУ 8540: 2015}}{\text{AISI 304 EN 10088- 1: 2014}}$

лист $\frac{10 \times 1250 \times 3400 \text{ ДСТУ 8540: 2015}}{\text{AISI 304 EN 10088- 1: 2014}}$

Для усунення хвилястості поверхні виконується правка листового прокату на листопрямильній машині Bendmak BPSM 35/55 [16]. Після правки матеріал транспортується на дільницю плазмового різання, де на верстаті з числовим програмним керуванням Vector 6015P [17]. виконується розкрій заготовок згідно з розробленою картою розкрою.

Отримані після плазмового різання заготовки направляються на підготовчу дільницю, де піддаються обробці з метою очищення їхньої поверхні від термічних залишків, що утворилися внаслідок різання. На цьому етапі виконується механічне видалення термічної окалини та шламу. Обробка здійснюється на спеціалізованому універсальному верстаті для обробки поверхонь 1300RR–М [19], який забезпечує двостороннє очищення поверхні. Це дозволяє досягти стабільної якості обробки і ефективно підготувати країки до наступних технологічних операцій.

Після очищення виконується формування фаски на крайках заготовок, необхідної для забезпечення якісного зварювання. Фаску знімають під кутом 40° на деталях обичайка поз. 1, фланець поз. 2, кришка поз. 3, патрубков поз. 4 та розпірна пластина поз. 6 згідно з кресленням ЗВ–п21.06.01.000. Для виконання цієї операції використовується фаскознімач SKM-20 [18]. Перед початком роботи устаткування налаштовується відповідно до технічних вимог, встановлюється необхідна ширина фаски та параметри подачі.

Формування виконується з обов'язковим притупленням, що запобігає надмірному проплавленню крайок під час зварювання.

					<i>ЗВ–п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Якість фаски та загальна підготовка поверхні після обробки мають вирішальне значення для міцності, герметичності та довговічності майбутніх зварних з'єднань. Після завершення обробки перевіряється стан крайок, їх рівномірність і відповідність кресленням. Підготовлені заготовки транспортуються на наступну дільницю вальцювання фрезерування та пресування.

Вальцювання заготовки обичайки виконується на дільниці листозгинання відповідно до креслення ЗВ–п21.06.01.000. Заготовку встановлюють у чотиривалкову листозгинальну машину FACFIN 4HEL-162 [34]. Перед початком процесу здійснюється центрування заготовки відносно валків і налаштування устаткування згідно з товщиною матеріалу 10 мм.

Після цього заготовку подають у зону вальцювання. Операція виконується поступово із контролем тиску валків та поступового згинання до необхідної геометрії. Формується циліндрична обичайка діаметром 360 мм згідно з технічними вимогами. У процесі обробки контролюється рівномірність згинання та співвісність країв.

Після завершення вальцювання перевіряється геометрична відповідність отриманої обичайки кресленню зокрема точність діаметра паралельність крайок та відсутність деформацій. Підготовлена обичайка транспортується за допомогою електричного штабелера GTM PSE15L–C [36] на складально–зварювальну дільницю №1.

Наступною операцією є штампування кришки поз.3. Цей процес виконується згідно з кресленням ЗВ–п21.06.01.000. Заготовку встановлюють у прес глибокої витяжки моделі TAITIAN [20], який обладнаний відповідною напівсферичною прес–формою для формування кришки з нержавіючої сталі.

Перед початком штампування оператор перевіряє товщину заготовки та її відповідність габаритам, визначеним у технічній документації. Заготовка центровано встановлюється в матрицю для забезпечення точного формування геометрії. Після цього забезпечується рівномірне зусилля витяжки по всій поверхні деталі з контролем глибини витягування.

					<i>ЗВ–п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

У процесі пресування слідкують за відсутністю зморшок, розтягів або тріщин на поверхні. Після завершення операції виконується візуальна перевірка та вимірювання основних розмірів кришки. У разі відповідності технічним умовам заготовка передається на склад напівфабрикатів.

Транспортування виконаних кришок до складу напівфабрикатів здійснюється за допомогою електричного штабелера GTM PSE15L–C [36] з дотриманням вимог безпеки та уникненням пошкоджень крайок і поверхні.

Наступною операцією є фрезерування фланців. Цей процес виконується на універсальному фрезерному верстаті Holzmann BF 1000DDRO [21]. До обробки подаються заготовки фланця поз. 2 та фланців патрубків поз. 5 згідно з кресленням ЗВ–п21.06.01.000.

Перед початком фрезерування здійснюється точне базування заготовок на основі обраної технологічної бази. Заготовки надійно фіксуються на столі верстата з урахуванням напрямку різання та особливостей конструкції. Оператор перевіряє точність установки та закріплення, щоб уникнути зсувів або вібрацій у процесі обробки. Фрезерування виконується з дотриманням встановлених параметрів подачі, глибини різання та частоти обертання шпинделя відповідно до типу матеріалу та вимог креслення. Проводиться обробка отворів і торців фланців, а також підготовка поверхонь для зварного з'єднання.

Після завершення обробки виконується візуальний контроль точності фрезерованих поверхонь, перевіряється розмір отворів, співвісність елементів та відповідність геометрії технічним вимогам. У разі відповідності фланці передаються на подальше складання.

На складально–зварювальній дільниці обичайку поз.1 встановлюють і закріплюють у спеціальному складально–зварювальному пристосування відповідно до креслення ЗВ–п21.06.01.000. Монтаж здійснюється з дотриманням співвісності та стабільного положення деталі для забезпечення точності зварювання.

					<i>ЗВ–п21.06.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

Пальник установки BR 2500 [23] встановлюється перпендикулярно до твірної поверхні обичайки. На зварювальному апараті JASIC MIG-500 [25] задаються режими відповідно до WPS ЗВ-п21.06.00.000. Зварювальний струм встановлюється в межах від 220 А до 250 А, напруга від 25 В до 27 В, подача дроту від 5,0 м/хв до 5,5 м/хв, лінійна швидкість зварювання від 0,25 м/хв до 0,3 м/хв, виліт дроту становить 16 мм. Витрата захисного газу (суміш Ar 75 % + He 25 %) від 17 л/хв до 18 л/хв.

Перед зварюванням проводиться холостий прохід для перевірки руху і позиціонування пальника без подачі струму. Після цього виконується поздовжнє стикове зварне з'єднання у суміші захисного газу відповідно до ДСТУ ISO 4063, процес 131.

Після завершення зварювання здійснюється візуальний контроль зварного шва. Перевіряється його цілісність та відповідність технічній документації. Особлива увага приділяється відсутності підрізів, пор, тріщин, непроварів і деформацій. У разі виявлення дефектів проводиться усунення недоліків відповідно до встановленої процедури.

Обичайка транспортується на ділянку стрічкового різання за допомогою кран-балки. Перед початком обробки заготовку встановлюють у робочу зону стрічкопильного верстата FDB Maschinen SGA 400G [22], вирівнюють за розміткою та технологічною віссю, після чого фіксують у притискному пристрої.

Після перевірки правильності кріплення і співвісності з полотном виконується розрізування обичайки на сегменти шириною по 300 мм згідно з технічними умовами. Контролюється точність різання, якість торців, а також відсутність викришувань і механічних дефектів на крайках.

На цій самій ділянці додатково виконується різання патрубка поз. 5 відповідно до креслення ЗВ-п21.06.01.000. Заготовка патрубка встановлюється та ріжеться з урахуванням розмірів, необхідних для наступного складання. Дотримання точних розмірів та якості різку є критичним для подальшої точності з'єднання в складальному вузлі.

					<i>ЗВ-п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Після завершення різання виконується візуальна перевірка отриманих заготовок та повторна оцінка стану попередніх зварних швів на предмет можливих дефектів, таких як тріщини, пори, непровари або деформації.

Після виконання різання окремі деталі вузла транспортуються на відповідні складально-зварювальні дільниці. Фланець поз. 2, кришка поз. 3, розпірна пластина поз. 6 та фланець патрубка поз. 5 подаються на складально-зварювальну дільницю №2. Обичайка поз. 1 транспортується за допомогою кран-балки на складально-зварювальну дільницю №1.

На дільниці фланець поз. 2 закріплюється на опорному столі за допомогою двох шарнірно-важільних притискачів [34] з обох боків. Обичайка орієнтується вертикально і встановлюється перпендикулярно до площини фланця. Виконується перевірка співвісності стикувальних поверхонь.

Далі на обичайку насаджується верхня кришка поз. 3. Центрування здійснюється за допомогою трьохкулачкового розтискного патрона CWO-3661 [29]. Після центрування кришка фіксується штанговим притискачем. Перевіряється відсутність зазорів і перекосів по всьому периметру стику.

Для виконання прихоплення встановлюються режими зварювання відповідно до WPS ЗВ-п21.06.00.000. Зварювальний струм встановлюється від 220 А до 220 А, напруга 25 В, подача дроту 5,0 м/хв, лінійна швидкість 0,25 м/хв, виліт дроту 16 мм. Витрата газу (суміш Ar 75 % + He 25 %) 17 л/хв.

Прихоплення виконується механізовано в захисному газовому середовищі з контролем рівномірності та якості з'єднання. Після завершення операції здійснюється візуальна перевірка правильності складання вузла, точності посадки та стану з'єднань.

Наступним етапом є зварювання вузла в планшайбі з фіксацією та кантуванням під кутом 45 градусів. Після завершення прихоплення з'єднаних елементів вузол від'єднується від притискних і розпірних пристроїв. Готову складальну одиницю транспортують за допомогою електричного штабелера на зварювальну дільницю.

					<i>ЗВ-п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Виріб встановлюється в планшайбу позиціонера-обертача марки Tesla Weld ТПГ ПОЗ-300 [37] та фіксується через фланець поз. 2 болтовими притискачами. Виставляється кут кантування 45° , що дозволяє виконати зварювання в положенні РА, яке забезпечує оптимальні умови для формування якісного шва.

На зварювальному апараті JASIC MIG-500 [26] встановлюються параметри відповідно до WPS ЗВ-п21.06.00.000. Режими зварювання задаються такі: зварювальний струм 250 А, напруга 25 В, подача дроту 5,0 м/хв, виліт дроту 16 мм, витрата захисного газу (Ar 75 % + He 25 %) 18 л/хв. Швидкість обертання планшайби встановлюється 15 об/хв.

Перед початком зварювання проводиться холостий прохід для перевірки точності позиціонування пальника та правильності встановлення виробу. Після успішної перевірки виконується основне зварювання з дотриманням зазначених параметрів. По завершенні операції деталь від'єднується від планшайби. Далі вона за допомогою електричного штабелера подається на складально-зварювальну дільницю №2 для виконання наступних етапів складання.

Після зварювання в планшайбі виріб встановлюється на опорний столик складально-зварювальної дільниці №2 для подальшого монтажу внутрішніх елементів.

Спочатку всередину обичайки подається і встановлюється елемент патрубка поз. 4. Його фіксація виконується за допомогою трубного центратора для внутрішньої фіксації труб [30], що забезпечує надійне утримання під час наступних операцій.

Після цього подається фланець патрубка поз. 5. Він встановлюється у задане кресленням положення та фіксується аналогічним способом, що дозволяє зберегти точність розміщення при зварюванні. Після остаточного вирівнювання всіх компонентів виконується прихоплення з'єднань.

Прихоплення та подальше зварювання проводяться механізованим способом у захисному газовому середовищі Ar 75 % + He 25 % згідно з вимогами WPS ЗВ-п21.06.00.000 та стандарту ДСТУ ISO 4063-131.

					<i>ЗВ-п21.06.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Для прихоплення застосовуються режими, ідентичні тим, що були використані під час попереднього складання: зварювальний струм від 220 А до 220 А, напруга 25 В, подача дроту 5,0 м/хв, лінійна швидкість 0,25 м/хв, виліт дроту 16 мм, витрата газу 17 л/хв.

Після цього подається розпірна пластина поз. 6, яка встановлюється всередину обичайки згідно з кресленням. Вона також прихоплюється та зварюється в захисному середовищі за тим же режимом. Після завершення зварювання виконується контроль правильності складання та якості швів згідно з технічною документацією.

Після завершення складання та зварювання внутрішніх елементів виріб транспортується на контрольну ділянку для проведення остаточної перевірки якості. Транспортування виконується за допомогою кран-балки з дотриманням вимог безпеки та обережності, щоб уникнути пошкоджень зварних швів або деформації конструкції.

На контрольній ділянці здійснюється візуальний контроль зварних швів із використанням зварювального шаблона. Перевіряється цілісність швів, дотримання геометрії, відсутність подрізів, тріщин, пор, непроварів і викривлень. У разі виявлення відхилень вони фіксуються і, за необхідності, призначається повторна обробка або ремонтне зварювання.

Крім візуального огляду, виконується ультразвуковий неруйнівний контроль за допомогою дефектоскопа марки DIO 1000 PA [38], відповідно до вимог нормативної документації. Метод дозволяє виявити внутрішні дефекти зварних з'єднань, невидимі при зовнішньому огляді, зокрема несплавлення, шлакові включення та газові порожнини.

Після успішного проходження всіх етапів контролю виріб транспортується на склад готової продукції. Для цього знову використовується кран-балка. На складі виріб розміщується згідно з інструкцією по зберіганню, забезпечується захист від вологи та механічного впливу до моменту відвантаження або подальшого використання.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

2.4 Вибір установчих баз і обґрунтування схеми базування заготовок

У процесі виготовлення головки теплообмінника точність взаємного розташування елементів та якість зварних з'єднань значною мірою залежать від правильного вибору установчих баз. Базування заготовок забезпечує стабільне положення деталі під час виконання обробки, мінімізує похибки між операціями та створює умови для технологічної спадкоємності.

Під час фрезерування фланця (поз. 2) та фланців патрубків (поз. 5) в якості установчих баз використовуються попередньо оброблені циліндричні поверхні і торці. Це дозволяє точно орієнтувати деталь на столі верстата і забезпечити правильне положення отворів та площин, що підлягають обробці. Закріплення здійснюється за допомогою механічних притискачів із протилежного боку від бази.

Для операції вальцювання листової заготовки (поз. 1) установчою базою слугує одна з поздовжніх крайок. Вона вводиться в ролики листозгинальної машини та задає початкову лінію згину. Після формування циліндричної обичайки перевірка точності здійснюється за діаметрально протилежними точками по торцях.

Під час складання обичайки з фланцем та кришкою базування здійснюється по зовнішній поверхні обичайки, що фіксується в спеціальному пристосуванні. Фланець центрується по зовнішньому діаметру, а торцева площа використовується як упорна база. Кришка (поз. 3) встановлюється на обичайку (поз. 1) згідно з ЗВ-п21.06.00.000. Трьохкулачковий патрон забезпечує співвісність і щільне прилягання без перекосів.

Монтаж елементів, таких як патрубків (поз. 4), фланець патрубка (поз. 5) і розпірна пластина (поз. 6), виконується із базуванням по внутрішній осі обичайки. Для фіксації застосовуються розтискні елементи, які забезпечують правильне положення до моменту зварювання. У всьому технологічному процесі дотримано принципу повторного використання установчих поверхонь. Це знижує ризик накопичення похибок та підвищує точність виготовлення.

					<i>ЗВ-п21.06.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62

Схема базування зображена на рис. 2.12 вона побудована так, щоб забезпечити надійне положення заготовки на кожному етапі, з мінімальними втратами часу на переналаштування устаткування та пошук нових баз.

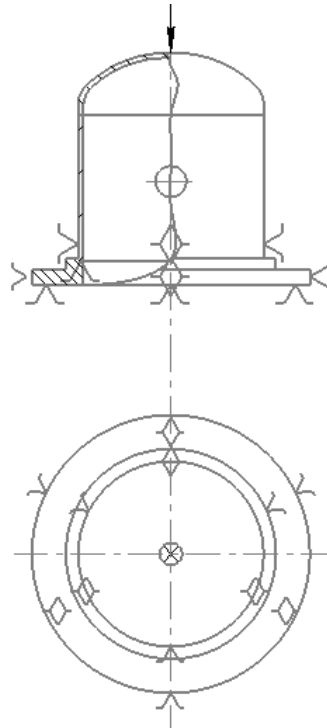


Рисунок 2.12 – Схема базування деталей

Завдяки такому підходу зберігається узгодженість усіх позицій елементів конструкції, що суттєво спрощує складання та гарантує точне суміщення осей і площин при зварюванні. Це також дозволяє забезпечити стабільну якість кінцевого виробу при серійному або повторюваному виготовленні.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

З РОЗРАХУНОК ОДНОСТОЯКОВИХ КАНТУВАЧІВ З НАХИЛЕНИМ ШПИНДЕЛЕМ. КІНЕМАТИЧНА ПАРА НА ПЛАНШАЙБІ

Швидкість обертання може бути розрахована на підставі даних про колову лінійну швидкість зварювання під час обертання. Зобразимо розрахункову схему кантувача на (рис 3.1). Треба звернути увагу на те, що така схема кантувача приймається, якщо кут нахилу вісі задано в діапазоні від 30° до 60°.

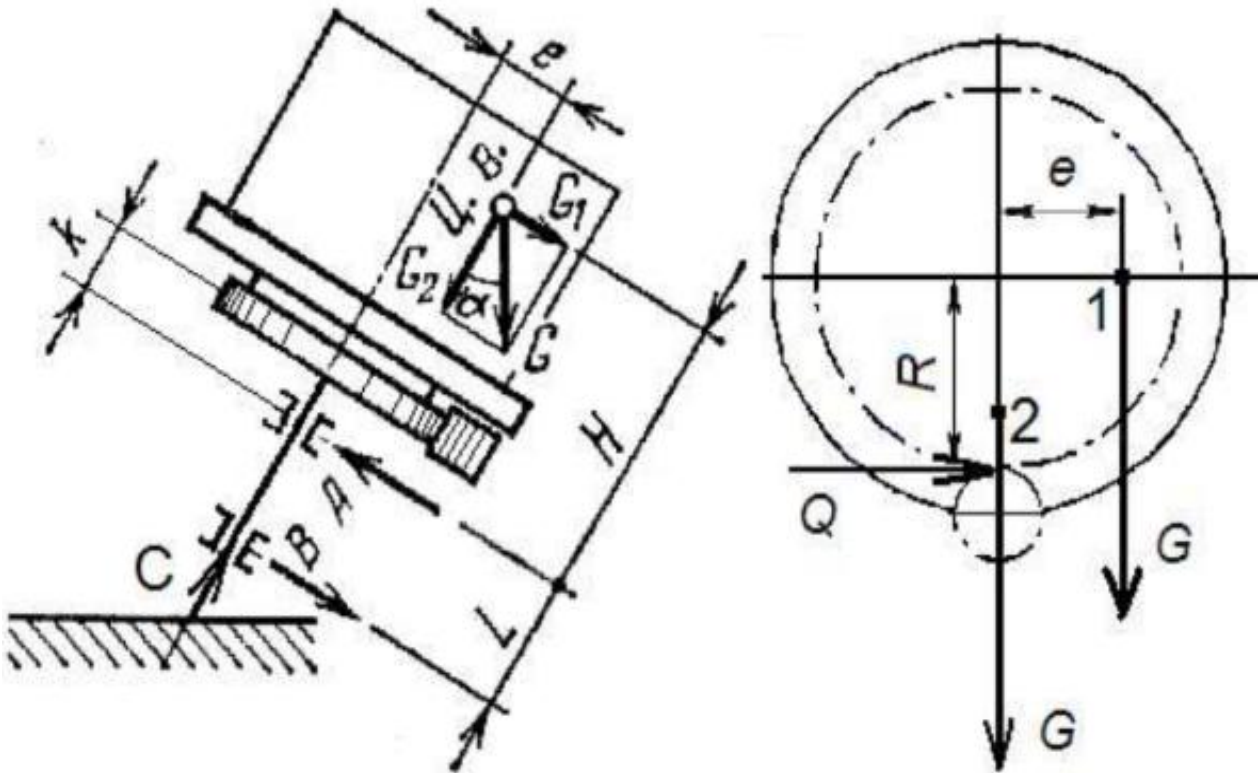


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема одностоякового кантувача з нахиленим шпинделем та кінематичною парою на планшайбі [24]

Задаємо кількісні значення геометричних параметрів кантувача та виробу:
 Вага виробу $G = 370$ (Н); діаметр виробу $D = 0,54$ (м) $R = 0.6$ (м) ; $e = 0,17$ м;
 $H = 0,4$; $L = 1,3$ (м); $k = 0,13$; кут нахилу шпинделя $\alpha = 45$ deg (град).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗВ-п2106.00.000 ПЗ

Арк.

64

Розрахунок треба вести для двох положень планшайби (1 та 2), оскільки у положенні 1 шпindel сприймає максимальний крутний момент. Згинальний момент у цьому положенні не дорівнює 0. В положенні 2 на шпindel діє максимальний згинальний момент, а крутний момент дорівнює моменту тертя $M_{\text{тер}}$:

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{тер}}$$

Але при розрахунку потужності двигуна у величині крутного моменту треба враховувати вантажний момент:

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{вант}} + M_{\text{тер}}$$

Розрахунку підлягають опорні реакції, діаметри шпинделя у опорах, потужність приводного двигуна.

Потужність приводного двигуна визначається формулою:

$$N_{\text{д}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{\eta_{\text{заг}}}$$

де $M_{\text{кр}}$ – крутний момент на валу

n – частота обертання планшайби

$\eta_{\text{заг}}$ – загальний ККД приводного механізму

Привод складається з циліндричного та черв'ячного редукторів тому:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_3 \cdot \eta_4$$

Розглянемо положення центру ваги у найнижчому положенні (у точці 2). У цьому положенні планшайби:

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{тер}}$$

$$M_{\text{тер}} = 0.5 \cdot f \cdot (A \cdot d_A + B \cdot d_B) \cdot 10^{-3} + 0.5 \cdot C \cdot d_C \cdot f_{\text{уп}} \cdot 10^{-3}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Колове зусилля на зубчастому вінці, згідно з формулою:

$$Q = \frac{M_{\text{тер}}}{R}$$

Для визначення $M_{\text{тер}}$ необхідно мати значення опорних реакцій А, В та С, а також діаметри валів (підшипників) d_A , d_B , d_C .

Опорні реакції, що діють у вертикальній площині викликані дією сили G_1 та моментом $M = G_2e$:

$$A_B = \frac{G}{L} \cdot [(L + H) \cdot \sin(\alpha) + e \cdot \cos(\alpha)]$$
$$B_B = \frac{G}{L} \cdot (H \cdot \sin(\alpha) + e \cdot \cos(\alpha))$$

У той же час в опорах виникають горизонтальні реакції від дії сили Q :

$$A_r = Q \cdot \frac{L + k}{L}$$
$$B_r = Q \cdot \frac{k}{L}$$

Повні реакції у опорах А і В дорівнюватимуть:

$$A = \sqrt{A_B^2 + A_r^2}$$
$$B = \sqrt{B_B^2 + B_r^2}$$
$$C = G \cdot \cos(\alpha)$$

Визначення цих складових неможливо, оскільки не відомою є величина Q .

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Діаметри підшипників приймаємо однаковими та визначимо за виразом:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{екв}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{Д}} \cdot 10^6}}$$

де $M_{\text{екв}}$ – еквівалентний згинальний момент у небезпечному перерізі. В опорі А діють два згинальних моменти – у вертикальній площині – M_1 від дії зусилля G_1 та M_2 від дії зусилля G_2 :

$$M_1 = G \cdot H \cdot \sin(\alpha)$$

$$M_2 = G \cdot e \cdot \cos(\alpha)$$

В опорі А діє також згинальний момент від сили Q , який діє у перпендикулярній нахиленій площині. Величина цього моменту дорівнюватиме:

$$M_Q = Q \cdot k$$

$$Q = \frac{M_{\text{тер}}}{R}$$

Сумарний згинальний момент в опорі А:

$$M_{3\Gamma} = M_1 + M_2$$
$$M_{3\Gamma} = \sqrt{(M_1 + M_2)^2 + M_Q^2}$$

Крім того, шпindel ь знаходиться під дією крутного моменту, який при цьому положенні планшайби дорівнює $M_{\text{тер}}$. Еквівалентний момент, що діє на шпindel ь у опорі А буде дорівнювати:

$$M_{\text{еквА}} = \sqrt{M_{3r^2}^2 + M_{\text{тер}}^2}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Визначити значення цього моменту немає можливості, бо не відомим є $M_{\text{тер}}$. Таким чином, ми не маємо можливості визначити всі необхідні параметри тому, що кількість невідомих величин перебільшує кількість можливих рівнянь. Отже, використаємо метод послідовних наближень. У першому наближенні знехтуємо моментом тертя $M_{\text{тер}}$.

Перше наближення

До позначень додаємо індекс 1:

$$M_{\text{тер}1} = 0$$

$$M_{\text{кр}1} = M_{\text{тер}2}$$

Згідно з формулою:

$$Q_1 = \frac{M_{\text{кр}1}}{R} = \frac{0}{0,27} = 0$$

Радіальні опорні реакції у вертикальній площині:

$$A_{B_1} = \frac{G}{L} \cdot [(L + H) \cdot \sin(\alpha) + e \cdot \cos(\alpha)]$$

$$A_{B_1} = \frac{370}{0,16} \cdot [(0,16 + 0,8) \cdot \sin(45^\circ) + 0,17 \cdot \cos(45^\circ)] = 1,848 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$B_{B_1} = \frac{G}{L} \cdot H \cdot \sin \alpha + e \cdot \cos(\alpha)$$

$$B_{B_1} = \frac{370}{0,16} \cdot 0,4 \cdot \sin 45^\circ + 0,17 \cdot \cos(45^\circ) = 1,586 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Горизонтальні опорні реакції у нахиленій площині:

$$A_{\Gamma_1} = Q_1 \cdot \frac{L - k}{L}$$

$$A_{\Gamma_1} = 0 \cdot \frac{0,16 - 0,13}{0,16} = 0 \text{ Н}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$B_{\Gamma_1} = Q_1 \cdot \frac{k}{L}$$

$$B_{\Gamma_1} = 0 \cdot \frac{0,13}{0,16} = 0 \text{ Н}$$

Повні реакції у опорах А, В та С, згідно з формулами (10), (11), (12) дорівнюватимуть:

$$A_1 = \sqrt{A_{B1}^2 + A_{\Gamma_1}^2}$$

$$A_1 = \sqrt{(1,848 \cdot 10^3)^2 + (0)^2} = 1,848 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$B_1 = \sqrt{B_{B1}^2 + B_{\Gamma_1}^2}$$

$$B_1 = \sqrt{(1,586 \cdot 10^3)^2 + (0)^2} = 1,586 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$C_1 = G \cdot \cos \alpha \text{ (H)}$$

$$C_1 = 370 \cdot \cos 45^\circ = 2,612 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Згинальні моменти у вертикальній та у нахиленій площині:

$$M_1 = G \cdot H \cdot \sin \alpha$$

$$M_1 = 370 \cdot 0,8 \cdot \sin 45^\circ = 209,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_2 = G \cdot e \cdot \cos \alpha$$

$$M_2 = 370 \cdot 0,17 \cdot \cos 45^\circ = 44,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Згинальний момент, який викликається силою Q:

$$M_{Q1} = Q_1 \cdot k$$

$$M_{Q1} = 0 \cdot 0,13 = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Сумарний згинальний момент:

$$M_{зг} = \sqrt{(M_1 + M_2)^2 + M_{Q1}^2} \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$M_{зг} = \sqrt{(209,3 + 44,4)^2 + 0^2} = 2,538 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Еквівалентний момент у опорі А:

$$M_{еквА1} = \sqrt{M_{зг}^2 + M_{тер1}^2}$$

$$M_{еквА1} = \sqrt{2,538 \cdot 10^2 + 0^2} = 2,538 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначимо з умов міцності визначимо діаметр шпинделя в небезпечному перерізі А. Вважатимемо, що діаметр шпинделя у опорах А, В і С однаковий.

Для розрахунку діаметру шпинделя визначимо допустимі напруження на згин для обраної марки сталі, враховуючи коефіцієнт запасу.

Приймаємо сталь С40 та $n_T = 6$.

Згідно з (табл. 3.1) для сталі С40 межа текучості $\sigma_T = 400$.

Таблиця 3.1 – Межа текучості матеріалів

Марка сталі	Межа текучості МПа
С35	270
40	400
С45	540
40Х	750
35ХМ	790
40ХНМА	980

Тоді:

$$\sigma_D = \frac{\sigma_T}{n_T} = \frac{400}{6} = 66,6$$

Визначаємо діаметр:

$$d_{A1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{екв}A1}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}}$$

$$d_{A1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 253,78}{\pi \cdot 66,66 \cdot 10^6}} = 0,0338 \text{ м}$$

Отримаємо $d_{A1} = 34 \text{ мм}$ $d_{B1} = 34 \text{ мм}$ $d_{C1} = 34 \text{ мм}$

Друге наближення

До позначень додаємо індекс 2

Отримали можливість визначити момент тертя у другому наближенні. Вважаємо що всі опори на підшипниках ковзання $f = 0,1$; $f_{\text{уп}} = 0,1$.

Тоді, згідно з формулою:

$$M_{\text{тер}2} = 0,5 \cdot f \cdot (A1 \cdot d_{A1} + B1 \cdot d_{B1}) \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot C1 \cdot d_{C1} \cdot f_{\text{уп}} \cdot 10^{-3}$$

$$M_{\text{тер}2} = 0,5 \cdot 0,1 \cdot (1,848 \cdot 10^3 \cdot 34 + 1,586 \cdot 10^3 \cdot 34) \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 2,612 \cdot 10^3 \times \\ \times 34 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 7,11 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{тер}2} = M_{\text{кр}2}$$

Колове зусилля на зубчастому вінці згідно формулою:

$$Q_2 = \frac{M_{\text{кр}2}}{R}$$

$$Q_2 = \frac{7,11}{0,27} = 26,34 \text{ Н}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Радіальні опорні реакції у вертикальній площині, згідно з формулами:

$$A_{B2} = \frac{G}{L} \cdot ((L + H) \cdot \sin \alpha)$$

$$A_{B2} = \frac{370}{0.27} \cdot ((0,16 + 0,8) \cdot \sin 45^\circ) = 1,848 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$B_{B2} = \frac{G}{L} \cdot (H \cdot \sin(\alpha) + e \cdot \cos(\alpha))$$

$$B_{B2} = \frac{370}{0.27} (0.16 \cdot \sin 45^\circ + 0.17 \cdot \cos(45^\circ)) = 1,568 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Горизонтальні опорні реакції у нахиленій площині:

$$A_{\Gamma2} = Q_2 \cdot \frac{L - k}{L}$$

$$A_{\Gamma2} = 26,34 \cdot \frac{0,16 - 0,3}{0.16} = 4,94 \text{ Н}$$

$$B_{\Gamma2} = Q_2 \cdot \frac{k}{L}$$

$$B_{\Gamma2} = 26,34 \cdot \frac{0,13}{0,16} = 21,4$$

Повні реакції у опорах А,В та С, згідно з формулами дорівнюють:

$$A_2 = \sqrt{A_{B2}^2 + A_{\Gamma2}^2}$$

$$A_2 = \sqrt{(1.848 \cdot 10^3)^2 + (4,94)^2} = 1.848 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$B_2 = \sqrt{B_{B2}^2 + B_{\Gamma2}^2}$$

$$B_2 = \sqrt{(1568 \cdot 10^3)^2 + (21,40)^2} = 1568 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$C_2 = G \cdot \cos(\alpha)$$

$$C_2 = 370 \cdot \cos(45^\circ) = 2,61^2 \text{ Н}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Згинальні моменти в опорі А:

$$M_1 = G \cdot H \cdot \sin(\alpha) \text{ (H} \cdot \text{м)}$$

$$M_1 = 370 \cdot 0,8 \cdot \sin(45^\circ) = 2,093 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_2 = G \cdot e \cdot \cos(\alpha)$$

$$M_2 = 370 \cdot 0,17 \cdot \cos(45^\circ) = 44,47 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Згинальний момент, який викликається силою Q:

$$M_{Q2} = Q_2 \cdot k$$

$$M_{Q2} = 26,36 \cdot 0,13 = 3,425 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сумарний згинальний момент, згідно формулою:

$$M_{3Г2} = \sqrt{(M_1 + M_2)^2 + M_{Q2}^2}$$

$$M_{3Г2} = \sqrt{(209,30 + 44,47)^2 + 3,425^2} = 2,538 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Еквівалентний момент згідно з формулою у опорі А:

$$M_{\text{екв}A2} = \sqrt{M_{3Г2}^2 + M_{\text{тер}2}^2}$$

$$M_{\text{екв}A2} = \sqrt{(2,538 \cdot 10^2)^2 + 7,11^2} = 2,539 \cdot 10^2$$

Діаметри підшипників визначаємо згідно з формулою:

$$d_{A2} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{екв}2}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2,539 \cdot 10^2}{\pi \cdot 66,66 \cdot 10^6}} = 0,0338$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$d_{A2} = 0.034$$

Оскільки величина діаметру змінилась а саме стала менше відповідно сила з якою може обертатися вал зменшилась тому обираю попередній діаметр що рівен 65 мм.

$$d_{A2} = 34 \text{ мм} \quad d_{B2} = 34 \text{ мм} \quad d_{C2} = 34 \text{ мм}$$

Розглянемо друге положення планшайби

До позначень додаємо індекс 1:

$$M_{\text{тер}_{1}} = 0$$

$$M_{\text{кр}_{1}} = M_{\text{тер}_{2}}$$

Колове зусилля:

$$Q_1 = \frac{M_{\text{тер}_{1}}}{R} = \frac{0}{0.27} = 0$$

Радіальні опорні реакції у вертикальній площині:

$$A_{B_{1}} = \frac{G}{L} \cdot [(L + H) \cdot \sin(\alpha) + e \cdot \cos(\alpha)]$$

$$A_{B_{1}} = \frac{370}{0,16} \cdot [(0,16 + 0.8) \cdot \sin(45^\circ)] = 1,57 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$B_{B_{1}} = \frac{G}{L} \cdot H \cdot (\sin \alpha) + e \cdot \cos(\alpha)$$

$$B_{B_{1}} = \frac{370}{0,16} \cdot 0,8 \cdot (\sin 45^\circ) = 1,308 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Горизонтальні опорні реакції у нахиленій площині:

$$A_{\Gamma_1} = G \cdot \frac{e \cdot \cos \alpha}{L} + Q_1 \cdot \frac{L + k}{L}$$
$$A_{\Gamma_1} = 370 \cdot \frac{0,17}{0,16} + 0 \cdot \frac{0,16 + 0,13}{0,16} = 2,78 \cdot 10^2 \text{ Н}$$

$$B_{\Gamma_1} = G \cdot \frac{e \cdot \cos \alpha}{L} + Q_1 \cdot \frac{L + k}{L}$$
$$B_{\Gamma_1} = 370 \cdot \frac{0,17}{0,16} + 0 \cdot \frac{0,16 + 0,13}{0,16} = 2,78 \cdot 10^2 \text{ Н}$$

Повні реакції у опорах А, В та С, згідно з формулами (10), (11), (12) дорівнюватимуть:

$$A_{_1} = \sqrt{A_{B_1}^2 + A_{\Gamma_1}^2}$$
$$A_{_1} = \sqrt{(1,57 \cdot 10^3)^2 + (2,78 \cdot 10^2)^2} = 1,594 \cdot 10^3 \text{ Н}$$
$$B_{_1} = \sqrt{B_{B_1}^2 + B_{\Gamma_1}^2}$$
$$B_{_1} = \sqrt{(1,308 \cdot 10^3)^2 + (2,78 \cdot 10^2)^2} = 1,337 \cdot 10^3 \text{ Н}$$
$$C_1 = G \cdot \cos \alpha (H)$$
$$C_{_1} = 370 \cdot \cos 45^\circ = 2,616 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Згинальні моменти у вертикальній та у нахиленій площині:

$$M_{_1} = G \cdot H \cdot \sin \alpha$$
$$M_{_1} = 370 \cdot 0,8 \cdot \sin 45^\circ = 209,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$
$$M_{_2} = G \cdot e \cdot \cos \alpha$$
$$M_{_2} = 370 \cdot 0,17 \cdot \cos 45^\circ = 44,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Сумарний згинальний момент, згідно з формулою (17):

$$M_{зг_1} = \sqrt{(M_1 + M_2)^2 + M_{Q1}^2}$$
$$M_{зг_1} = \sqrt{(209,3 + 44,4)^2} = 2,14 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Еквівалентний момент у опорі А:

$$M_{еквА1} = \sqrt{M_{зг_1}^2 + M_{тер_1}^2}$$
$$M_{еквА1} = \sqrt{2,14 \cdot 10^2 + 0^2} = 2,14 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо діаметр:

$$d_{A1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{еквА1}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}}$$
$$d_{A1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 213,97}{\pi \cdot 66,66 \cdot 10^6}} = 0,0319 \text{ м}$$

Отримаємо $d_{A1} = 34 \text{ мм}$, $d_{B1} = 34 \text{ мм}$, $d_{C1} = 34 \text{ мм}$.

Друге наближення.

До позначень додаємо індекс 2:

$$M_{тер_2} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$
$$M_{кр_2} = M_{тер_2} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Колове зусилля на зубчастому вінці згідно формулою:

$$Q_2 = \frac{M_{кр.2}}{R}$$
$$Q_2 = \frac{0}{0,27} = 0 \text{ Н}$$

Радіальні опорні реакції у вертикальній площині, згідно з формулами:

$$A_{B.2} = \frac{G}{L} \cdot ((L + H) \cdot \sin \alpha)$$
$$A_{B.2} = \frac{370}{0,16} \cdot ((0,16 + 0,8) \cdot \sin 45^\circ) = 1,57 \cdot 10^3 \text{ Н}$$
$$B_{B2} = \frac{G}{L} \cdot (H \cdot \sin(\alpha) + e \cdot \cos(\alpha))$$
$$B_{B2} = \frac{370}{0,16} (0,8 \cdot \sin 45^\circ + 0,17 \cdot \cos(45^\circ)) = 1,308 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Горизонтальні опорні реакції у нахиленій площині:

$$A_{\Gamma.2} = G \cdot \frac{e \cdot \cos \alpha}{L} + Q_2 \cdot \frac{L + k}{L}$$
$$A_{\Gamma.2} = 370 \cdot \frac{0,17}{0,16} + 26,34 \cdot \frac{0,16 + 0,13}{0,16} = 3,25 \cdot 10^2 \text{ Н}$$
$$B_{\Gamma.2} = G \cdot \frac{e \cdot \cos \alpha}{L} + Q_2 \cdot \frac{L + k}{L}$$
$$B_{\Gamma.2} = 370 \cdot \frac{0,17}{0,16} + 26,34 \cdot \frac{0,16 + 0,13}{0,16} = 2,99 \cdot 10^2 \text{ Н}$$

Повні реакції у опорах А,В та С, згідно з формулами дорівнюють:

$$A_{.2} = \sqrt{A_{B2}^2 + A_{\Gamma2}^2}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

$$A_{2} = \sqrt{(1.848 \cdot 10^3)^2 + (3,25 \cdot 10^2)^2} = 1,603 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$B_{2} = \sqrt{B_{B2}^2 + B_{Г2}^2}$$

$$B_{2} = \sqrt{(1308 \cdot 10^3)^2 + (2,99 \cdot 10^2)^2} = 1.342 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$C_{2} = G \cdot \cos(\alpha)$$

$$C_{2} = 370 \cdot \cos(45^\circ) = 2 \cdot 61^2 \text{ Н}$$

Згинальні моменти:

$$M_{1} = G \cdot H \cdot \sin(\alpha) \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$M_{1} = 370 \cdot 0.8 \cdot \sin(45^\circ) = 2,093 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{2} = G \cdot e \cdot \cos(\alpha) + Q_2 \cdot k$$

$$M_{2} = 370 \cdot 0.17 \cdot \cos(45^\circ) + 26,34 = 44,90 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сумарний згинальний момент, згідно формули

$$M_{3Г2} = \sqrt{(M_{1} + M_{2})^2}$$

$$M_{3Г2} = \sqrt{(2,093 \cdot 10^2)^2 + 47,90^2} = 2.147 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Еквівалентний момент згідно з формулою у опорі А

$$M_{\text{еквА2}} = \sqrt{M_{3Г2}^2 + M_{\text{кр}2}^2}$$

$$M_{\text{еквА2}} = \sqrt{(2.147 \cdot 10^2)^2 + 0^2} = 2,147 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Діаметри підшипників визначаємо згідно з формулою

$$d_{A_2} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{екв2}}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2,147 \cdot 10^2}{\pi \cdot 66,66 \cdot 10^6}} = 0,0338 \text{ м}$$

$$d_{A2} = 0,034 \text{ м}$$

Оскільки величина діаметру стала менше, то і сила з якою може обертатися вал теж зменшилась, тому округлюємо та обираємо діаметр рівний 34 мм.

$$d_{A2} = 34 \text{ мм}; d_{B2} = 34 \text{ мм}; d_{C2} = 34 \text{ мм}$$

3 ряду нормальних лінійних розмірів (Ra) обираємо найближчий розмір, округлюючи його до більшої величини (табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Значення 1-го ряду Ra [24]

1 ряд Ra, мм:	10; 10,5; 11; 11,5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50; 53; 56; 60; 63; 67; 71; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 120; 125; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200
---------------	---

Обираємо:

$$d_A = 34 \text{ мм}; d_B = d_{A1} \text{ мм}; d_C = d_{A1} \text{ мм}; d_D = d_A \text{ мм}.$$

Визначим остаточний максимальний крутний момент, з урахуванням отриманих в результаті розрахунків даних:

$$M_{\text{тер}} = 0.5 \cdot f \cdot (A_{2} \cdot d_A + B_{2} \cdot d_B) \cdot 10^{-3} + 0.5 \cdot C_{2} \cdot d_C \cdot f_{yn} \cdot 10^{-3}$$

$$M_{\text{тер}} = 0.5 \cdot 0.1 \cdot (1.603 \cdot 10^3 \cdot 34 + 1.341 \cdot 10^3 \cdot 34) \cdot 10^{-3} + \\ + 0.5 \cdot 261,62 \cdot \cos(45^\circ) \cdot 34 \cdot 0.1 \cdot 10^{-3} = 5,32 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Сумарний крутний момент:

$$M_{кр} = G \cdot e + M_{тер}$$

$$M_{кр} = 370 \cdot 0.17 + 5,32 = 68,22 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність приводного двигуна визначимо, обравши частоту обертання планшайби на маршовій швидкості та за пишемо до табл. 3.3:

$$N_{дв} = \frac{M_{кр} \cdot n}{\eta_{об}}$$

$$N_{дв} = \frac{68,22 \cdot 0,1}{0,45} = 15,16 \text{ Вт}$$

Таблиця 3.3 – Значення ККД для передач [24]

Типорозмір двигуна	Потужність, кВт	При навантаженні	
		Ковзання, %	ККД, %
AP50A2	0,09	11,5	60

4 ПРОЄКТУВАННЯ ПЛАНУ ВИРОБНИЧОЇ ПЛОЩІ

4.1 Визначення типу виробництва

Типізація виробництва здійснюється з урахуванням конструктивної складності виробу, його маси та передбаченого річного обсягу випуску. Це дозволяє віднести дільницю до певного типу виробництва: одиничного, дрібносерійного, серійного, великосерійного або масового.

У даному проєкті об'єктом виготовлення є головка теплообмінника масою $m = 40$ кг, при запланованому обсязі виробництва $N=500$ штук на рік. На основі цих даних визначаємо загальне річне навантаження на виробничу дільницю.

Таблиця 4.1 – Залежність типу виробництва від маси і випуску продукції [39]

Маса одного комплекту зварних вузлів, кг	Річний випуск по виробництвам							
	Одиничне, дрібносерійне (не більше)		Серійне		Крупносерійне		Масове (понад)	
	Тис. т.	Тис. шт	Тис. т.	Тис. шт	Тис. т.	Тис. шт	Тис. т.	Тис. шт
До 25	до 0,125	до 5	від 0,125 до 5	від 5 до 200	від 5 до 10	від 200 до 400	10	400
25 – 100	0,2	від 2 до 8	від 0,2 до 2	від 2 до 100	від 10 до 20	від 130 до 800	20	200
100 – 500	0,25	від 0,5 до 2,5	від 0,25 до 15	від 0,5 до 150	від 15 до 35	від 30 до 350	35	70
500 – 1000	0,3	від 0,3 до 0,6	від 0,3 до 5	від 0,3 до 10	від 5 до 50	від 5 до 100	50	50

Згідно з таблицею 4.1, для діапазону маси від 25 кг до 100 кг і річного обсягу продукції в межах від 2 т до 20 т, виробництво класифікується як серійне. Таким чином, з урахуванням показників маси одного комплекту та прогнозованої кількості виготовлення, тип виробництва в даному проєкті визначено як серійний, що відповідає характеру повторюваності процесів і обсягу виготовлення головок теплообмінника [40].

									Арк.
									81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ЗВ-п2106.00.000 ПЗ

Організація виробництва передбачає випуск виробів у стабільних партіях, що повторюються за єдиним циклом, з переважним використанням універсального технологічного оснащення, яке доповнюється стандартними пристосуваннями. Прийнята логіка побудови виробничого процесу відповідає вимогам серійного типу, передбачаючи застосування напівавтоматизованих систем подачі прокату, механізоване транспортування заготовок і чітке розділення етапів складання та зварювання.

4.2 Визначення кількості устаткування

Кількість основного технологічного устаткування для складально-зварювальної дільниці визначалась на основі маршрутної технології виготовлення балки змінного перерізу. У розрахунках враховано річну верстатомісткість кожної операції, трудомісткість налагодження відповідного устаткування, ефективний річний фонд часу роботи устаткування, а також рекомендований коефіцієнт завантаження, характерний для умов серійного виробництва.

Потреба в устаткуванні визначалась окремо для кожної операції з урахуванням характеру виробничого процесу, технічних характеристик застосовуваного устаткування та періодичності повторення технологічного циклу. Особливу увагу приділено операціям зварювання та складання як найбільш трудомістким і критичним з точки зору точності виконання.

Крім того, під час визначення номенклатури устаткування враховано необхідність збереження безперервності технологічного потоку, скорочення простоїв між операціями та можливість обслуговування кількох вузлів паралельно. До складу устаткування включено як спеціалізовані, так і універсальні одиниці, здатні працювати в автономному або напівавтоматичному режимі.

Узагальнені результати наведено в табл. 4.2, де зазначено загальну кількість устаткування для кожного етапу виробничого циклу.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		82

Таблиця 4.2 – Перелік основного технологічного устаткування

Найменування устаткування	Кількість, од.	Призначення
Кран-балка вантажопідйомністю 5 т	1	Переміщення обичайок і вузлів на різних етапах складання
Електричний штабелер GTM PSE15L-C	2	Маневрове транспортування обичайок між дільницями
Листопрямильна машина Vendmak BPSM 25/55	1	Вирівнювання листового прокату перед розкромом
Верстат лазерного різання з ЧПК Vector 6015P	1	Високоточне лазерне різання деталей згідно карти розкрому
Фаскознімач SKM-20	1	Формування фасок перед зварюванням
Вальцювальний верстат FACCIN 4HEL-162	1	Вальцювання листа в обичайку
Універсальний верстат для оброблення поверхні 1300RR-M	1	Служить для очищення поверхні заготовок після термічного різання та видалення окалини.
Прес глибокої витяжки TAITIAN	1	Формування кришки з напівсферичним профілем
Чотирьох валковий листозгинальний верстат FACCIN- 4HEL 1622	1	Виконує згинання листового металу в обичайки або циліндричні форми з високою точністю.
Стрічкопилний верстат FDB Maschinen SGA 400G	1	Призначений для прямолінійного різання металевих заготовок на потрібну довжину.
Автоматизована зварювальна установка BR 2500	1	Виконує поздовжні зварних швів на циліндричних заготовках з високою точністю.
Зварювальний апарат JASIC MIG-500	2	Зварювання в суміші Ar/He відповідно до WPS
Зварювальна установка А-1406	1	Виконує автоматизоване зварювання кільцевих швів.
Позиціонер-обертач для зварювання Tesla Weld ТПГ ПОЗ-300	1	Забезпечує обертання виробу для зручного доступу до зони зварювання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗВ-п2106.00.000 ПЗ

Арк.

83

4.3 Обґрунтування необхідної чисельності персоналу цеху

Чисельність змінного персоналу визначено відповідно до типу виробництва, прийнятої маршрутної технології та складу устаткування. З огляду на серійний характер виготовлення, до складу персоналу включено основних робітників, допоміжний персонал, працівників технічного контролю та інженерно-технічних фахівців.

Основні робітники обслуговують устаткування на всіх стадіях технологічного процесу від правлення та різання до формування, складання і зварювання. Зокрема, передбачено окремих операторів для листопрямильної машини, лазерного верстата, устаткування для зняття задирок, листозгинального верстата тощо. У зварювальних зонах із кантувачами та позиціонерами працюють бригади з кількох фахівців, відповідальних за установку, орієнтацію і зварювання конструкцій.

Допоміжний персонал виконує завдання з налагодження устаткування, переміщення матеріалів і обслуговування внутрішньоцехового транспорту (кран-балки, штабелер, електровізок). Його чисельність становить від 20 % до 25 % від кількості основних робітників у межах нормативних значень для серійного виробництва.

Функції контролю якості виконує представник служби ВТК, який здійснює перевірку зварних з'єднань на відповідність технічним умовам. Організаційне управління дільницею забезпечує інженер-технолог.

Додатково передбачається участь слюсарів-складальників, які виконують підготовку елементів до зварювання, встановлення допоміжних пристроїв і здійснення прихоплень. Їхня роль особливо важлива на етапі просторового формування конструкції, де необхідне забезпечення точного взаємного розташування деталей перед основним зварюванням. Взаємодія слюсарів з операторами зварювального устаткування дозволяє досягти високої якості з'єднань та мінімізувати обсяг подальших рихтувальних робіт. Зведену чисельність змінного персоналу дільниці представлено в табл. 4.3.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Технічні та функціональні вимоги до планування цеху

Планування складально зварювального цеху це продумане впорядкування простору з урахуванням технологічної послідовності, зручності обслуговування та вимог безпеки. Основу компонування становлять габарити будівлі, зокрема ширина прольоту від 18 м до 36 м, крок колон від 6 м до 12 м.

Важливо враховувати не лише розміри виробу, а й параметри устаткування на всіх етапах обробки. Мінімальні відстані між одиницями устаткування мають становити від тильної сторони не менше 1 м, між фронтальними сторонами від 1 м до 2 м. Узагальнені норми наведено в табл. 4.4. Допустимі відстані при розміщенні устаткування у виробничих прольотах [39].

Таблиця 4.4 – Допустимі відстані при розміщенні устаткування у виробничих прольотах [39]

Визначальна відстань	Допустимі межі значень, м
Від колон, або стін будівлі до бічної сторони устаткування	від 1 до 3
Від колон, або стін будівлі до тильної сторони устаткування	від 1 до 2,5
Від колон, або стін будівлі до фронту устаткування	від 1 до 2,5
Між фронтом і тильною стороною устаткування	від 1 до 2
Між тильною і бічною сторонами устаткування	від 1 до 2
Між тильними сторонами устаткування	1
Між бічними сторонами устаткування	від 1 до 1,4
Між устаткуванням, розташованим фронтом одне до одного	від 1 до 2
Від фронту устаткування до складського місця	від 1 до 1,6
Між складськими місцями	від 1 до 1,4
Між тильною стороною устаткування і складським місцем	до 1
Між бічною стороною устаткування і складським місцем	від 1 до 1,2

Залежно від типу устаткування, габаритів деталей та виду внутрішньоцехового транспорту, встановлюються нормативні ширини проїздів і проходів. Якщо на дільниці використовуються електрокари, ширина проїзду повинна бути від 2,5 м до 3,0 м, що забезпечує безпечний рух і маневреність техніки з урахуванням умов експлуатації [39].

4.5 Організація площі та розміщення складу металопрокату, заготовок і готових виробів

Щоб забезпечити безперервну роботу складально–зварювальної дільниці, важливо своєчасно організувати зберігання основних ресурсів металопрокату, заготовок та готових виробів. Підтримання достатнього запасу матеріалів дозволяє уникнути простоїв і гарантує стабільний темп виконання виробничих завдань.

Кількість необхідних матеріалів визначається на основі планового обсягу випуску продукції та норм запасу, які залежать від типу виробництва і специфіки деталей. Запаси розраховуються з урахуванням середньодобового споживання матеріалу та нормативу зберігання для кожного типу складу.

Орієнтовні значення запасів і коефіцієнтів завантаженості площ для складу металу, проміжного зберігання заготовок та готової продукції наведено у табл. 4.4. Ці дані є основою для планування площ зберігання в межах виробничого простору.

Запас матеріалу (Q) розраховується за формулою:

$$Q = H_x \cdot q$$

$$Q = 6 \cdot 0,151 = 0,906 \text{ год}$$

де H – норма запасу металу на складі встановлюється, виходячи з кількості робочих змін. Для серійного виробництва, як правило, приймають 10 змін, керуючись даними з табл. 4.5;

q – темп виробництва, т / год.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		87

Таблиця 4.5 – Норми запасу та завантаженості площ для цехових складів [39]

Назва цехового складу	Норми запасу на число робочих змін виробництва			Групи завантаженості корисної площі (т/м ²), що займають матеріали з щільністю (т/м ³)	
	Одиничне та дрібносерійне	Серійне	Масове	До 4 т/м ²	Понад 4 т/м ²
Склад металу (листового, сортового)	від 10 до 8	6	від 4 до 2	1	2,5
Проміжний склад деталей, напівфабрикатів					
великих	від 6 до 4	3	від 2 до 1	1 (0,6)	2,5 (1,5)
Середніх та дрібних	від 12 до 8	6	від 4 до 2	0,4	1
Склад зварених виробів цеху					
Великих	від 6 до 4	3	від 2 до 1	0,6	1,5
Середніх та дрібних	від 12 до 8	6	від 4 до 2	0,4	1

Темп виробництва визначається за формулою:

$$q = 0,001 \cdot m_k \cdot v$$

$$q = 0,001 \cdot 500 \cdot 0,275 = 0,137 \text{ т/год}$$

де m_k – маса одного комплексу зварного виробу, кг;

v – швидкість виробництва визначається як кількість виробів, що виготовляються за одну годину ефективного робочого часу. Вона розраховується як відношення річного обсягу випуску продукції до загального річного фонду робочого часу. Наприклад, для виготовлення 500 виробів на рік за умови роботи по 8 годин у зміну протягом 250 робочих днів, річний фонд становить 2000 годин $v = 500 / 2000 = 0,25$ один./год.

Необхідну площу складу металу визначають на основі розрахункової навантаженості корисної площі σ_0 , значення якої залежать від густини збережуваного матеріалу:

– $\sigma_0 = 1 \text{ т} \cdot \text{м}^{-2}$ для металів із густиною понад $4 \text{ т} \cdot \text{м}^{-3}$;

– $\sigma_0 = 0,4 \text{ т} \cdot \text{м}^{-2}$ для металів із меншою густиною.

										Арк.
										88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>					

Оскільки густина сталі AISI 304 становить приблизно $\rho = 7,9 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, що перевищує $4 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, у розрахунках приймаємо нормативне навантаження на площу складу $\sigma_0 = 1 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$. Для визначення необхідної площі зберігання металу, заготовок і готових виробів враховується норма запасу на 10 змін, що відповідає типовим умовам серійного виробництва, із завантаженістю складу $1 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$.

$$F_p = \frac{q \cdot 8 \cdot 10}{\sigma_0}$$

$$F_p = \frac{0,137 \cdot 8 \cdot 10}{1} \approx 11,0 \text{ м}^2$$

де q – величина запасу зберігання металу, т;

σ_0 – норма вантажонапруженості корисної площі, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$

Зважаючи на потребу в додатковій площі для проїздів і проходів, яка становить близько 50% від корисної площі, загальна площа складу визначається так:

$$F_c = F_p + 0,5 \cdot F_p$$

$$F_c = 11 + 0,5 \cdot 11 = 16,5 \text{ м}^2$$

У підсумку, для організації належного зберігання металопрокату, заготовок та готової продукції на складально–зварювальній ділянці доцільно передбачити приблизно 16 м^2 площі. Такий обсяг забезпечить зручне розміщення матеріальних ресурсів, вільний доступ до них та сприятиме безперебійному виконанню виробничих операцій.

Визначення необхідної площі для складування на ділянці складально–зварювального виробництва здійснювалось з урахуванням габаритів зварного виробу головки теплообмінника, що становлять $600 \text{ мм} \times 450 \text{ мм}$. Невеликі розміри виробу дозволяють організувати компактне, але розосереджене зберігання, яке забезпечує зручний доступ до кожної одиниці без ущільненого штабелювання.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Також враховано технологічні зазори для безпечного проходження персоналу та маневрування транспортного устаткування.

Площа проміжного складу визначалася з урахуванням потреби у зберіганні щонайменше від 8 до 10 комплектів деталей одночасно. У розрахунок включено вільний простір для їх переміщення та обслуговування.

Площа складу готової продукції обчислювалася на основі габаритів одного виробу з урахуванням проходів. Враховуючи норму запасу на 10 змін, остаточна розрахункова площа складала 12 м², з урахуванням допоміжних площ і коефіцієнта заповнення 1,5.

Для організації раціонального складського зберігання на ділянці передбачено такий розподіл площ:

- площа зберігання напівфабрикатів – 10 м²;
- площа проміжного складу – 10 м²;
- площа складу готової продукції – 12 м².

Такий підхід забезпечує чітке зонування, зручне обслуговування та знижує ризик затримок у виробничому процесі.

4.6 Вибір устаткування для механізації підіймально–транспортних операцій та нормування внутрішньоцехових переміщень.

Щоб забезпечити безперебійну логістику всередині складально–зварювального цеху, особливу увагу приділено організації вантажопідіймальних операцій. Враховуючи масу та габарити переміщуваних виробів, ключову роль у транспортуванні відіграє опорна кран–балка, яка інтегрується в технологічну інфраструктуру з урахуванням зон зварювання, подачі та зняття заготовок.

Проектування простору для її роботи здійснюється з огляду на стандартні параметри виробничої будівлі. Так, згідно з табл. 4.6, при ширині прольоту 18 м, мінімальна висота до нижньої частини перекриття повинна бути не менше 8,4 м, а рівень прокладки рейок підкранового шляху не нижче 6,15 м.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

Таблиця 4.6 – Розміри прольотів в складально–зварювальних цехах [39]

Крок колон, м	Ширина прольоту, м	Висота до низу перекриття (водноповерховій будівлі), м	Висота до відмітки основи рейки підкранового шляху, м	Вантажопідйомність підйомно транспортних машин, кН	Вантажопідйомність підйомно транспортних машин, кН
				Напольний транспорт	Електричні крани
Одноповерхові будівлі					
Обладнанні мостовими кранами загального призначення					
12	18	8,4	6,15	–	100
12	18	9,6;10,8	6,95;8,15	–	100,200
12	18	12,6;14,4	9,65;11,45	–	100,200,300
12	24	8,4	6,15	–	100
12	24	9,6;10,8	6,95;8,15	–	100,200
12	24	12,6;14,4	9,65;11,45	–	100,200,300
12	24	16,2;18	12,65;14,45	–	300,500
12	30	8,4	6,15	–	100
12	30	11,45	9,65	–	200,300
12	30	14,4	11,45	–	200,300
12	30	16,2;18	12,65;14,45	–	300,500

Такі значення забезпечують не лише зручність і безпечність виконання всіх підйомно-транспортних операцій, а й гарантують відповідність умовам санітарно-будівельним, технічним і експлуатаційним вимогам до використання підйомного устаткування.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

ВИСНОВОК ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗДІЛУ

У межах виконання технологічного розділу проведено детальний конструктивно–технологічний аналіз головки теплообмінника, виготовленої з аустенітної нержавіючої сталі AISI 304. Розглянуто геометричні характеристики виробу, вимоги до експлуатаційної міцності, герметичності зварних з'єднань та вплив середовища експлуатації. З урахуванням умов високотемпературного і високонапірного режиму експлуатації обґрунтовано доцільність використання зварювання плавким електродом у середовищі інертного газу (процес MIG 131) як основного способу з'єднання елементів конструкції. Для забезпечення повторюваності параметрів та відповідності вимогам стандарту ДСТУ EN ISO 15609–1 розроблено зварювальну інструкцію WPS.

На основі вивчених конструктивних обмежень та технологічних вимог сформовано раціональний маршрут виготовлення виробу, що передбачає послідовне виконання заготівельних, слюсарно–монтажних, складально–зварювальних і контрольних операцій. Особливу увагу приділено стабільності геометричних параметрів, точності стикування елементів та контролю теплового впливу на зону термічного впливу. З метою забезпечення високої точності позиціонування розроблено спеціалізовану технологічну оснастку. Вона включає опорний столик, на якому монтуються шарнірно–важільні притискачі, центрувач трубчастих заготовок, пневмопритиск для фіксації елементів у необхідному положенні, а також обмежувальні упори. Така конструкція оснастки дозволяє мінімізувати похибки встановлення, підвищити швидкість складання і забезпечити стабільність якості зварного з'єднання. Визначено основне зварювальне обладнання, засоби механізації та типові інструменти, необхідні для організації процесу.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		92

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

5.1 Опис ідеї стартап-проєкту виготовлення головки теплообмінника

Стартап-проєкт спрямований на організацію серійного виробництва зварної головки теплообмінника з корозійностійкої сталі AISI 304 призначеної для роботи в умовах підвищеного тиску та температури. Конструкція виробу включає обичайку, фланець і патрубкові елементи, що з'єднуються за допомогою кутових та стикових зварних швів, виконаних механізованим способом у захисному середовищі аргону. Це дозволяє досягти високої герметичності, тріщиностійкості та стабільності з'єднань, необхідних для експлуатації в умовах хімічно агресивного середовища та температурних коливань.

Основною ідеєю є використання стандартного листового та трубного прокату зі сталі AISI 304, з подальшим формуванням геометрично точної конструкції з використанням автоматизованих зварювальних систем. Це забезпечує стабільну якість швів, високу повторюваність технологічних параметрів і скорочення тривалості виготовлення кожної одиниці продукції. Короткий опис змісту ідеї, сфер застосування та основних переваг наведено в табл. 5.1.

Продукт орієнтований на підприємства хімічної, енергетичної, фармацевтичної, харчової та машинобудівної галузей. Головка може використовуватись у складі вертикальних теплообмінників або реакторів, де є вимоги до антикорозійних властивостей, термостійкості та герметичності.

Ключовими вигодами для замовника є зниження експлуатаційних витрат за рахунок тривалого ресурсу роботи виробу, спрощення монтажу завдяки уніфікованій фланцевій системі, підвищення технологічної сумісності з існуючими трубопроводами, а також зменшення маси конструкції у порівнянні з литими аналогами.

					<i>ЗВ-п21.06.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Стартап проєкт</i>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Помагайдо В.С</i>					<i>93</i>	<i>13</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Глуценко Я. І.</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Лисак В. В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Квасницький В. В.</i>						
						<i>КПІ ім. Ізоря Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона</i>		

На відміну від традиційних рішень, запропонована конструкція головки виготовляється повністю з прокатного матеріалу без литих вузлів, що дає змогу уникнути усадочних дефектів, зменшити ймовірність появи прихованих порушень структури металу та забезпечити вищу якість кінцевого виробу [40].

Висока корозійна стійкість сталі AISI 304 у поєднанні з автоматизованою технологією зварювання забезпечують конкурентоспроможність запропонованого рішення на ринку. Ідея проєкту є технічно здійсненою, з огляду на доступність технологій виготовлення, наявність серійного устаткування та можливість масштабування процесу у разі зростання попиту. Завдяки сукупності технічних, економічних і виробничих факторів, реалізація даного стартапу має перспективу успішного виходу на ринок промислового устаткування для систем теплообміну (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап–проєкту

№	Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
1	Серійне виготовлення головки теплообмінника з корозійностійкої сталі AISI 304 з використанням механізованого зварювання плавким електродом у захисному газі	Виробництво теплообмінного устаткування для хімічної та енергетичної промисловості	Забезпечення герметичності при роботі під тиском до 1,6 МПа; висока корозійна та термостійкість
2	Застосування конструкції, сформованої з листового і трубного прокату без литих елементів	Установки з агресивними середовищами та змінними температурами	Зменшення ризиків внутрішніх дефектів; прогнозована якість зварних з'єднань
3	Використання уніфікованих фланцевих вузлів згідно зі стандартами EN 1092–1	Устаткування трубопровідних систем, фармацевтичні установки, харчова галузь	Сумісність з існуючими вузлами, зниження витрат на адаптацію й монтаж

5.2 Аналіз потенційних техніко–економічних переваг стартап–проекту

З метою комплексної оцінки ринкової життєздатності стартап–проекту виконано аналіз основних техніко–економічних параметрів запропонованого виробу – зварної головки теплообмінника у порівнянні з наявними аналогами, що представлені на ринку промислового устаткування. Для порівняння обрано три компанії, які спеціалізуються на виготовленні резервуарних та теплообмінних апаратів із використанням корозійностійких сталей і мають підтверджений досвід серійного виробництва.

SECESPOL (Польща) – виробник високотехнологічного теплообмінного устаткування, відомий широким застосуванням аустенітних сталей серій AISI 316L та 304 у фармацевтиці, харчовій промисловості та енергетиці. Компанія спеціалізується на компактних зварних конструкціях, але має обмежену гнучкість щодо модифікацій і локалізації.

Wärtsilä Serck Como GmbH (Німеччина) – структурний підрозділ корпорації Wärtsilä, що виробляє апарати тиску, кожухотрубчасті та пластинчасті теплообмінники з нержавіючих сталей, із використанням автоматичного дугового зварювання під флюсом і електрошлакових технологій. Основною цінністю продукції є витривалість до високих температур і тисків, однак собівартість устаткування значно перевищує середньоринкову.

ТОВ «ЕНЕРГОМОНТАЖВЕНТИЛЯЦІЯ» (Україна) – регіональний виробник нестандартного устаткування для вентиляційних систем та локальних теплотехнічних установок. Використовує зварювання ручним методом, виготовляє головки баків, патрубки, фланці з вуглецевої сталі та спрощених марок нержавіючої сталі. Має доступну ціну, однак обмежений технічний контроль і повторюваність продукції.

Порівняльний аналіз параметрів охоплює характеристики матеріалів, допустимий робочий тиск, товщину зварюваних деталей, метод зварювання, ремонтпридатність, вартість виробу, сумісність із фланцевими стандартами, рівень автоматизації та можливість локалізації виробництва.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

На основі результатів аналізу визначено сильні, нейтральні та слабкі сторони розробленої конструкції у порівнянні з аналогами, що подано в табл. 5.2. Це дозволяє сформулювати комплексне уявлення про конкурентоспроможність технічного рішення, виявити напрями технологічного вдосконалення та обґрунтувати вибір виробничої стратегії в умовах серійного випуску.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

№ з/п	Критерій оцінювання	SECESPOL (PL)	Wärtsilä (DE)	ЕНЕРГО–МОНТАЖВЕНТ (UA)	Запропонована технологія
1	Економічність виробництва	W	W	N	S
2	Точність виготовлення	S	S	W	S
3	Гнучкість конструктивних рішень	N	W	W	S
4	Рівень автоматизації	N	S	W	S
5	Енерго–споживання процесу зварювання	W	W	N	S
6	Можливість масштабування	N	W	N	S
7	Надійність та ремонт–придатність	N	W	N	S

Примітка. S – сильна позиція (кращий рівень, ніж у конкурентів); N – нейтральна позиція (рівень аналогічний ринку); W – слабка позиція (гірше, ніж у конкурентів).

Запропоноване технічне рішення демонструє високий рівень економічності, що проявляється на всіх етапах життєвого циклу виробу від підготовки виробництва до його експлуатації. Основним чинником зниження витрат є оптимізація конструкції балки, яка дозволяє зменшити витрату матеріалу без втрати міцності та функціональності.

Додаткову економію забезпечує використання сталі класу AISI 304 та зварювального дроту марки 308LSi (19 9 LSi) доступних матеріалів, які не потребують спеціалізованих постачальників чи складного контролю якості. На відміну від зарубіжних аналогів, де часто використовуються дорогі леговані сталі або вузькоспеціалізоване устаткування, у цьому проекті технологія орієнтована на використання локальних ресурсів, що дозволяє адаптувати виробництво на різних рівнях від майстерень до підприємств середньої потужності. Ще одним важливим аспектом є скорочення тривалості технологічного циклу завдяки впровадженню автоматизованих етапів: застосування кондукторів, позиціонерів, двостоякових кантувачів і оптимізованих маршрутних карт дозволяє зменшити кількість операцій ручного контролю та підвищити стабільність результату. Зниження витрат на оплату праці висококваліфікованих зварювальників, а також скорочення обсягу післязварювальної обробки сприяють зменшенню загальної собівартості продукції. Таким чином, економічність запропонованої технології базується не лише на вартості матеріалів, а й на комплексному підході до організації виробничого процесу з акцентом на ефективність, стабільність і повторюваність.

Енергоспоживання процесу зварювання є важливою перевагою запропонованої технології. Використовується механізоване дугове зварювання в середовищі інертного газу (MIG), що відповідає процесу 131 за ISO 4063, і забезпечує стабільну дугу при раціональному використанні електроенергії. Режимми зварювання (струм, напруга, швидкість подачі дроту) підбрано так, щоб гарантувати якісний проплав без перевитрат енергії. Економії також сприяє застосування газової суміші Ar/He 75/25, що стабілізує процес і зменшує розбризкування металу. Зварювальний дріт 308LSi (19 9 LSi) забезпечує стабільне горіння дуги та знижує потребу в зачистці, що скорочує допоміжні витрати на обробку. Чітка маршрутна технологія з мінімізацією переміщень виробу зменшує час роботи устаткування в холостому режимі й непродуктивне споживання енергії.

У результаті досягається економія енергоресурсів на рівні від 15% до 20% порівняно з ручним дуговим зварюванням, що є суттєвим фактором в умовах зростання тарифів і вимог до енергоефективності.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

5.3 Технологічна здійсненність і виробнича реалізація конструкції

Ключовим фактором, що забезпечує інвестиційну привабливість запропонованої інженерної ідеї, є її висока технологічна реалізованість у межах стандартної виробничої інфраструктури. Виріб спеціально спроектовано для серійного виготовлення з урахуванням можливостей наявного устаткування та персоналу. Реалізація не вимагає залучення нетипових технологічних процесів, що дає змогу швидко перейти від дослідного зразка до організованого випуску з контрольованою собівартістю. Зведені результати аналізу подано в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Технологічна реалізованість ідеї проекту

Суть рішення	Технології	Функціональний стан	Готовність до впровадження
Виготовлення зварної головки теплообмінника	Механізоване зварювання плавким електродом у середовищі захисного газу (MAG, процес 131)	Технологія освоєна в серійному виробництві	Забезпечує стабільну якість з'єднань при великих об'ємах
	Застосування обертача з центруванням фланця та обичайки	Реалізовано у виробничому середовищі	Дає необхідну точність стикування та зменшує похибки при збиранні
	Використання фаскознімача для підготовки крайок перед зварюванням	Оснащення впроваджене	Забезпечує правильну геометрію шва та рівномірне проплавлення
	Виконання двопрохідного стикового шва	Технологічно забезпечено	Сумісне з конфігурацією корпусу і товщиною деталей
	Зварювання патрубків і встановлення фланців	Відпрацьовано на ділянці	Сумісне з геометрією виробу
	Контроль якості швів візуально-оптичним та ультразвуковим методом	Регламентовано в техпроцесі	Реалізується відповідно до вимог ISO та внутрішніх норм підприємства

Конструкція головки теплообмінника базується на використанні листового і трубного прокату сталі AISI 304. Виріб не містить литих або кованих деталей, що спрощує постачання матеріалів і виключає потребу у високовартісному ливарному обладнанні.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

Всі етапи виготовлення повністю узгоджуються з логікою маршрутного виробництва, зокрема розкроювання, формування, зварювання та контроль. Це суттєво знижує вхідний бар'єр для впровадження й мінімізує технологічні ризики.

Основний процес з'єднання елементів реалізується механізованим дуговим зварюванням у захисному середовищі за процесом 131. Цей метод широко застосовується для виробів з аустенітних сталей у серійному виробництві. Він забезпечує глибоке проплавлення, стабільну якість швів і високу швидкість виконання, що є критично важливим для досягнення виробничої рентабельності.

Конструкція передбачає уніфіковані вузли приєднання згідно з EN 1092–1. Це дозволяє змінювати геометричні параметри виробу без впливу на базовий технологічний процес. Підготовка крайок і формування патрубків виконуються за допомогою фаско знімачів та очищувальних верстатів, а зварювання на порталному обладнанні з програмним керуванням. Контроль герметичності здійснюється методами візуально–оптичного та капілярного контролю.

Масштабування виробництва досягається без перебудови технічної бази. За зростання попиту достатньо додатково залучити зварювальні пости або розширити виробничий графік.

5.4 Перспективи виходу на ринок розробленого виробу

Вихід на ринок зварної головки теплообмінника зі сталі AISI 304 розглядається як реалістичний крок за наявності поєднання технологічної готовності виробу, попиту з боку споживачів промислового устаткування та рентабельної моделі серійного виготовлення. Застосування уніфікованих з'єднувальних вузлів, використання корозійностійких матеріалів і відповідність нормам ISO та EN створює основу для міжгалузевого використання виробу, що розширює його комерційний потенціал. Ринок теплообмінного устаткування стабільно демонструє попит на технічно прості, але надійні рішення для локальних вузлів тиску, що застосовуються в хімічній, фармацевтичній, енергетичній, харчовій та машинобудівній галузях [41].

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

У цьому сегменті ключовими критеріями для клієнтів є герметичність, довговічність, ремонтпридатність та адаптивність до конкретних умов експлуатації. Перелік основних ринкових передумов, що обґрунтовують потенціал виведення виробу на комерційний рівень, структуровано у табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Загальна оцінка ринкових передумов для реалізації проєкту

№ з/п	Показник	Характеристика
1	Кількість активних виробників	На внутрішньому ринку функціонує від 3 до 6 підприємств, орієнтованих переважно на нестандартизовані або індивідуально розроблені вироби. Системних постачальників уніфікованих вузлів тиску з високим рівнем автоматизації виявлено не було.
2	Оціночний обсяг попиту	Потенційна місткість ринку становить від 450 до 600 одиниць на рік у межах теплоенергетичного, хімічного, харчового і комунального секторів. Попит підтримується тенденціями модернізації устаткування та переходу до локального виробництва.
3	Характеристика цільового замовника	Цільовими користувачами виступають підприємства, що експлуатують трубопровідні системи, резервуари та теплообмінники. Вони висувають вимоги до уніфікації приєднань, ремонтпридатності, стійкості до агресивного середовища та оперативності постачання.
4	Конкурентне середовище	Ринок представлений імпортними виробами з високою вартістю логістики та термінами постачання, а також локальними малосерійними виробниками. Відсутність комплексних рішень створює умови для ринкової ніші.
5	Вимоги до відповідності та сертифікації	Виріб відповідає положенням стандарту EN 1092–1, ДСТУ ISO 3834 щодо якості зварних з'єднань, а також дозволяє інтеграцію у типові техпроцеси без потреби адаптацій.
6	Очікуваний рівень рентабельності	Розрахунковий рівень рентабельності у межах від 12 % до 14 % досягається при обсязі реалізації не менше 300 одиниць на рік. За умов масштабування рентабельність зростає внаслідок оптимізації логістики, скорочення витрат на одиницю та стабілізації виробничого циклу.

Виробнича технологія, закладена в основу виготовлення головки теплообмінника, передбачає використання доступного серійного устаткування без потреби у додатковій модернізації. Такий підхід забезпечує гнучке масштабування та оперативне реагування на зміну обсягів замовлень, зберігаючи ритмічність виготовлення у межах стислих виробничих термінів. Відмова від литих елементів, застосування уніфікованих вузлів приєднання та стандартизація зварювальних операцій гарантують повторювану якість з'єднань і технологічну стабільність при серійному або проектному виробництві. За умови повного завантаження дільниці цикл виготовлення однієї одиниці становить від 1 до 2 робочих днів.

Запропонована концепція не обмежується задоволенням короткострокового попиту, а передбачає створення довгострокової платформи для взаємодії з підприємствами, які потребують надійного джерела постачання стандартизованих зварних вузлів. Завдяки поєднанню високого рівня технічної готовності, низького бар'єра входу та економічно доцільної моделі виробництва, проект має потенціал утвердитися в сегменті, який характеризується дефіцитом локалізованих рішень.

Крім внутрішнього попиту, слід враховувати також зовнішні перспективи. Сегмент вузлів тиску з фланцевими приєднаннями у межах країн Центральної та Східної Європи демонструє сталу потребу в сертифікованих, конструктивно простих виробках. Завдяки відповідності технічним регламентам ЄС, головка може бути адаптована до типових трубопровідних систем без ускладнень, пов'язаних з інженерною несумісністю. Це створює підґрунтя не лише для розширення масштабів виробництва, а й для виходу на суміжні ринки у форматі техніко–комерційної експансії.

Для успішного виходу виробу на ринок важливо чітко визначити особливості цільових споживачів. Галузева приналежність, умови експлуатації, вимоги до з'єднань та обслуговування суттєво впливають на структуру запитів. Розуміння цих параметрів дає змогу адаптувати технічну специфікацію виробу, налаштувати виробничу логіку та сформулювати цільову стратегію просування. Узагальнену характеристику ключових груп споживачів представлено в табл. 5.5.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>101</i>

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних споживачів виробу

№ з/п	Сегмент споживачів	Основні вимоги до виробу	Комерційна привабливість
1	Підприємства теплоенергетики	Герметичність, термостійкість, ремонтпридатність	Висока. Великий обсяг устаткування, що підлягає модернізації
2	Харчова та переробна промисловість	Використання нержавіючих сталей, відповідність санітарним вимогам, уніфікація приєднань	Стабільний попит для заміни та модернізації технологічних вузлів
3	Хімічні та фармацевтичні виробництва	Стійкість до агресивних середовищ, стандартизовані фланцеві з'єднання	Перспективний сегмент з підвищеним контролем якості
4	Будівельно–монтажні організації	Швидкість постачання, можливість комплектної закупівлі, доступна ціна	Висока при локальних проєктах і модернізації інфраструктури
5	Експортно–орієнтовані підприємства	Відповідність стандартам ЄС, сумісність із імпортом устаткуванням	Потенційна зона росту за рахунок ринків Східної Європи

Профіль основних споживачів виробу свідчить про його універсальність і придатність до впровадження у різних виробничих середовищах. Найбільш значущим фактором на етапі виходу на ринок є здатність конструкції витримувати високі термомеханічні навантаження, працювати у хімічно агресивному середовищі та зберігати герметичність при циклічному впливі тиску. Ці характеристики є критичними для підприємств, що експлуатують або проєктують трубопровідні системи, теплообмінники, резервуарне устаткування чи вузли з підвищеним ресурсним навантаженням.

Технологічна адаптованість до серійного виробництва та модульна уніфікація вузлів роблять виріб привабливим для інтеграції у стандартизовані інженерні рішення, де важлива повторюваність, взаємозамінність і швидкість монтажу. Водночас конструктивна простота, використання серійного металопрокату та можливість локалізованого сервісу підвищують доступність виробу для середнього підприємницького сегменту.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗВ-п2106.00.000 ПЗ					102

5.6 Ключові можливості для реалізації проєкту

Аналіз середовища реалізації проєкту дозволяє виокремити низку зовнішніх факторів, які формують сприятливі умови для запуску і масштабування виробництва зварної головки теплообмінника. У сучасних умовах промислового розвитку ключову роль відіграють інституційні механізми підтримки модернізації, орієнтація підприємств на технічну сумісність із міжнародними стандартами, а також курс на автоматизацію процесів зварювання й уніфікацію конструктивних рішень.

Зростання попиту на стандартизовані елементи трубопровідних систем, насамперед у теплоенергетичному та переробному секторах, забезпечує стабільний ринковий інтерес до виробу. Водночас доступ до програм підтримки (грантів, кредитування, кластерних ініціатив) створює додаткові передумови для оновлення технологічної бази з мінімальними капіталовкладеннями. Автоматизація процесів зварювання та впровадження цифрового моніторингу якості дозволяють зменшити собівартість одиниці продукції та підвищити повторюваність результатів.

Крім того, відповідність виробу вимогам EN 1092–1 і ISO 3834 [42] забезпечує безперешкодну інтеграцію у зовнішні технологічні ланцюги, що робить можливим його просування на ринки країн Східної Європи. Таким чином, стратегічне використання наявних можливостей дозволяє не лише зміцнити позиції підприємства всередині країни, а й сформувати підґрунтя для виходу на нові сегменти та експортні напрямки.

У табл. 5.6 наведено узагальнену оцінку ключових можливостей та рекомендованих дій підприємства для підвищення ефективності проєкту.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>103</i>

Таблиця 5.6 – Ключові можливості для реалізації проєкту

№ з/п	Фактор середовища	Характер впливу на реалізацію проєкту	Рекомендовані дії підприємства
1	Зростання попиту на елементи трубопровідних систем	Підвищений інтерес до стандартизованих фланцевих з'єднань у промисловості, модернізація старих систем	Організація серійного виробництва з коротким циклом постачання; створення резерву готової продукції
2	Програми підтримки модернізації	Можливість залучення фінансування на оновлення зварювального та вимірювального устаткування	Участь у державних і галузевих програмах, подання заявок на гранти, партнерство з індустріальними кластерами
3	Впровадження сучасних технологій зварювання	Застосування автоматизованих зварювальних процесів забезпечує стабільну якість з'єднань, скорочує виробничий цикл і підвищує продуктивність	Модернізація зварювальних постів, інтеграція ПЛК–керованих систем, актуалізація технологічних карт і технічної документації
4	Автоматизація виробництва	Зменшення впливу людського фактора, підвищення точності зварювання, зниження собівартості	Впровадження механізованих зварювальних постів, навчання персоналу, інтеграція ПЛК–керування

Попри наявність сприятливих ринкових умов, впровадження проєкту вимагає комплексної оцінки зовнішніх і внутрішніх викликів, що здатні вплинути на стійкість виробничого процесу, динаміку масштабування та економічну доцільність. До них належать ризики, пов'язані з волатильністю постачань матеріалів, техніко–технологічними бар'єрами, нестачею кваліфікованого персоналу й коливанням нормативно–правових вимог у сфері технічного регулювання. Ідентифікація та своєчасне реагування на ці загрози є критично важливими для формування стійкої моделі виробництва й захисту інвестицій.

Окремо слід відзначити можливі виклики, пов'язані з виходом на нові ринки, де від підприємства вимагатиметься не лише відповідність стандартам якості, а й здатність адаптувати логістику, сервісну підтримку та маркетингову стратегію до регіональних особливостей. Крім того, ризики коливання курсу валюти, зростання вартості енергоносіїв і інфляційний тиск можуть впливати на цінову політику і загальну рентабельність проєкту. Узагальнений аналіз основних ризиків реалізації наведено в табл. 5.7

											Арк.
											104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>						

Таблиця 5.7 – Критичні загрози для реалізації проєкту

№ з/п	Фактор ризику	Суть загрози	Рекомендовані дії підприємства
1	Дестабілізація логістики	Порушення постачання матеріалів і готової продукції через інфраструктурні обмеження або транспортні ризики	Диверсифікація маршрутів, створення резервного запасу матеріалів, контракти з локальними перевізниками
2	Перебої з енергопостачанням	Нестабільна робота устаткування внаслідок аварійного або обмеженого енергоживлення	Встановлення джерел резервного живлення, оптимізація енергоємності технологічного процесу
3	Дефіцит кваліфікованих кадрів	Втрата персоналу через міграцію, старіння кадрів, недостатню підготовку нових фахівців	Формування внутрішньої системи підготовки кадрів, мотиваційні програми, співпраця з технічними навчальними закладами
4	Цінова нестабільність на сировину	Коливання вартості нержавіючої сталі та комплектуючих можуть впливати на собівартість продукції	Закупівлі великими партіями, укладання довгострокових контрактів з постачальниками, аналіз альтернативних джерел
5	Обмеження інвестицій у модернізацію	Недостатній доступ до фінансування стримує оновлення устаткування та розширення виробництва	Участь у державних та галузевих програмах підтримки, підготовка інвестпроєктів для залучення партнерів
6	Регуляторні бар'єри при виході на зовнішні ринки	Невідповідність продукції вимогам міжнародної сертифікації ускладнює експорт	Проходження сертифікацій згідно з ISO та EN, адаптація технічної документації
7	Фізичне зношення устаткування	Збільшення частоти поломок, нестабільна точність обробки та зниження якості зварних з'єднань	Аудит технічного стану, планове оновлення критичних вузлів, капітальний ремонт
8	Фрагментованість технологічного процесу	Висока трудомісткість ручних операцій, низька синхронізація дій між дільницями	Впровадження ПЛК-систем управління, маршрутизація процесів, стандартизація переходів і операцій

5.7 Стратегічна оцінка проєкту (SWOT–аналіз)

Для повноцінної оцінки життєздатності стартап–проєкту необхідно враховувати не лише технічні характеристики виробу та внутрішні можливості підприємства, а й ті зовнішні умови, в яких відбуватиметься запуск та реалізація проєкту. Це охоплює як економічну ситуацію, так і поведінку споживачів, дії конкурентів, доступність ресурсів та інші важливі фактори. Саме тому використання SWOT–аналізу є доцільним кроком. Цей інструмент дозволяє комплексно проаналізувати сильні й слабкі сторони проєкту, а також зрозуміти, які можливості варто використати і які загрози потрібно врахувати.

Основою такого аналізу є вивчення низки важливих аспектів, зокрема техніко–економічних характеристик виробу, наявних виробничих потужностей, кадрового забезпечення, відповідності нормативним вимогам та поточного стану ринку. У цьому контексті важливо розуміти, наскільки підприємство здатне швидко адаптуватися до змін, масштабувати виробництво, контролювати залежність від постачальників та задовольняти очікування споживачів згідно з технічними умовами.

Після аналізу було прийнято рішення зосередитися на ST–стратегії, яка передбачає використання внутрішніх переваг для активної протидії зовнішнім загрозам. Такий підхід виглядає найдоцільнішим в умовах економічної нестабільності, цінових коливань на сировину, зростання конкуренції з боку імпорту, логістичних труднощів та проблем з енергопостачанням.

В основі стратегії лежить раціональне використання сильних сторін проєкту. Однією з них є уніфікована конструкція вузла згідно зі стандартом EN 1092–1, що дає змогу легше виходити на міжнародні ринки, проходити сертифікацію та забезпечувати відповідність технічним вимогам потенційних партнерів. Надійність і довговічність конструкції гарантує використання нержавіючої сталі з підвищеною корозійною стійкістю, що є критично важливим для клієнтів, які працюють у складних умовах, зокрема в промисловому секторі.

					<i>ЗВ–п2106.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>106</i>

Проект має ще одну очевидну перевагу – це короткий виробничий цикл, який триває від одного до двох робочих днів. Це дає можливість оперативно виконувати замовлення, швидко реагувати на зміни в попиті та мінімізувати ризики, пов’язані з перебоями в глобальних логістичних ланцюгах. Часткова локалізація постачання матеріалів зменшує залежність від імпорту та валютних коливань, що особливо актуально в умовах нестабільного ринку.

Застосування MIG–зварювання, яке відповідає процесу 131, підвищує енергоефективність виробництва, що не лише знижує собівартість продукції, а й забезпечує стійкість до підвищення тарифів та можливих перебоїв в енергопостачанні. Крім того, цей технологічний процес дозволяє досягти стабільної якості зварного шва при зменшенні витрат на витратні матеріали, що додатково підвищує конкурентоспроможність продукції на ринку.

Завдяки автоматизованому режиму виконання зварювальних операцій скорочується потреба у висококваліфікованому ручному персоналі, що позитивно впливає на оптимізацію виробничих витрат і спрощує навчання нового персоналу. Це особливо важливо в умовах кадрового дефіциту, характерного для багатьох галузей, пов’язаних із металообробкою.

ST–стратегія, яка обрана як базова для розвитку проекту, базується на активному використанні наявних сильних сторін для протидії реальним і потенційним зовнішнім загрозам. У практичному вимірі це означає системне зміцнення технологічної та операційної стійкості підприємства, розвиток адаптивної моделі виробництва, орієнтованої на гнучке реагування на зміни в попиті та умовах постачання.

Зокрема, ця стратегія спрямована на підвищення рівня локалізації та стандартизації виробів, що спрощує логістику та зменшує часові й фінансові витрати при сертифікації на різних ринках. Іншими словами, підприємство орієнтується на універсальність і швидкість, не втрачаючи при цьому якісних характеристик продукції. Це дозволяє залишатися конкурентоспроможним навіть в умовах значної цінової конкуренції, яка посилюється з боку імпортних виробників.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>107</i>

5.8 Альтернативи ринкового впровадження стартап–проєкту

У межах стратегічного планування проєкту розглянуто кілька альтернативних варіантів ринкового впровадження. Метою такого аналізу є вибір найбільш ефективної моделі комерціалізації, яка забезпечить оптимальний баланс між техніко–економічною ефективністю, гнучкістю масштабування та рівнем ризику. Такий підхід відповідає вимогам методичних рекомендацій щодо оцінки життєвого циклу інженерного стартапу, зокрема на етапі виведення виробу на ринок.

Перший варіант передбачає самостійне впровадження виробу з повною локалізацією виробництва, реалізацією продукції через власні канали збуту і контролем над усіма етапами життєвого циклу. Цей сценарій дозволяє зберігати максимальну технологічну незалежність і забезпечує високу якість виготовлення, проте вимагає значного обсягу початкових інвестицій та ресурсного забезпечення.

Другий варіант базується на створенні партнерської моделі з підприємством, яке вже має налагоджену збутову мережу та досвід у виробництві подібної продукції. Така форма реалізації дозволяє зменшити бар'єри входу на ринок, скоротити час на налагодження логістичних процесів і водночас забезпечити доступ до усталених клієнтських зв'язків. Разом з тим, вона частково обмежує стратегічну самостійність у питанні подальшого розвитку.

Третій варіант передбачає продаж технології або ліцензування технічної документації компаніям, що володіють виробничими ресурсами. Такий підхід дає змогу мінімізувати операційні витрати та отримати швидкий прибуток без потреби в утриманні виробничої інфраструктури, однак супроводжується втратою контролю над якістю реалізації виробу і залежністю від зовнішнього виконавця [43]. Порівняльну характеристику альтернативних підходів до комерціалізації проєкту наведено в табл. 5.8.

					<i>ЗВ–п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

ВИСНОВОК ДО СТАРТАП-ПРОЄКТУ

Запуск зварної головки теплообмінника на ринок базується на технологічно обґрунтованій і структурованій послідовності дій, що враховують як внутрішні виробничі особливості, так і зовнішні ринкові умови. Обрана логіка впровадження відповідає сучасним принципам керування інженерними проєктами, які передбачають системний підхід до ресурсного планування, ризик-менеджменту та контрольованого масштабування.

План реалізації охоплює повний цикл від розроблення конструкторсько-технологічної документації до серійного виготовлення та введення в експлуатацію. Кожен етап має чітке функціональне призначення, часову орієнтацію й узгоджений рівень готовності. Це забезпечує високу передбачуваність у термінах реалізації та знижує ймовірність виникнення непередбачених виробничих збоїв або затримок.

Особлива увага зосереджена на етапах дослідного виготовлення, внутрішнього тестування та сертифікації відповідно до галузевих стандартів. Такий підхід дозволяє забезпечити відповідність продукту технічним регламентам і гарантувати його безпечність та надійність в умовах експлуатації під тиском.

Технологічна простота конструкції, модульний принцип складання та мінімізація трудомістких операцій сприяють скороченню виробничого циклу від 1 до 2 робочих днів на одиницю продукції. Це, своєю чергою, підвищує конкурентоспроможність виробу в умовах серійного типу виробництва з прогнозованим річним обсягом на рівні від 300 до 500 одиниць.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що проєкт демонструє високий рівень технологічної готовності, гнучкість адаптації до ринку та здатність до масштабування без істотних капіталовкладень. Виведення даного продукту на ринок здійснюється на основі збалансованої інженерної стратегії, що поєднує вимоги технічної безпеки, виробничої ефективності та економічної доцільності.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		110

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Визначення факторів ризику під час виготовлення головки теплообмінника

Процес виготовлення головки теплообмінника з нержавіючої сталі марки AISI 304 супроводжується низкою небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Виявлення цих факторів є необхідним для розроблення ефективних заходів охорони праці [44].

До основних фізичних факторів належать опромінення зварювальною дугою інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання, які можуть спричинити опіки шкіри й ушкодження органів зору. Для захисту зору працівників використовують світлофільтри згідно з ДСТУ EN 169:2001 [48]. До фізичних ризиків також належить виробничий шум, що створюється при роботі стрічкових пилок, вентиляторів, фрезерного устаткування. Відповідно до ДСН 3.3.6.037–99 рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБА, однак у виробничих умовах це значення часто перевищується, що вимагає використання засобів захисту слуху [47].

Механічні фактори включають загрозу травм при роботі з листовим металом, різальними інструментами, а також при транспортуванні заготовок кран-балками. Неналежне закріплення деталей або порушення правил роботи з підймальними механізмами може спричинити затискання кінцівок, падіння деталей та інші нещасні випадки [44].

Хімічні небезпеки представлені в основному аерозолями й парами металів, які утворюються під час зварювання особливо хрому та нікелю. Ці речовини мають токсичну дію і можуть викликати хронічні захворювання органів дихання. Вони підлягають контролю відповідно до гігієнічних регламентів хімічних речовин у повітрі робочої зони (Наказ МОЗ України №741 від 03.08.2020) [65].

					<i>ЗВ-п21.06.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разроб.</i>		<i>Помагайдо В.С</i>			<i>Охорона праці</i>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Левченко О.Г</i>					111	13
<i>Н. контр.</i>		<i>Лисак В. В.</i>				<i>КПІ ім. Ізгоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е.О. Патона</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Квасницький В. В.</i>						

Електротехнічні фактори ризику зумовлені роботою зварювального та електромеханічного устаткування під напругою. При пошкодженій ізоляції або за відсутності заземлення виникає загроза ураження електрострумом. Застосування електроустановок повинно відповідати вимогам ПУЕ–2017 [49] та НПАОП 40.1–1.21–98 [57].

Психофізіологічні навантаження під час виготовлення головки теплообмінника зумовлені необхідністю тривалого зосередження уваги, точного позиціонування деталей і роботи у статичних, часто незручних позах, особливо в процесі зварювання. Висока відповідальність за якість з'єднань, постійна візуальна концентрація та повторюваність операцій можуть спричинити емоційне й нервово перенапруження. Ці чинники посилюються впливом мікрокліматичних умов виробничого середовища: підвищеної температури, вологості або недостатнього повітрообміну (табл. 6.1) [45].

Таблиця 6.1 – Шкідливі та небезпечні виробничі чинники при автоматичному зварюванні головки теплообмінника зі сталі AISI 304 [44 – 47]

№ п/п	Фактор	Джерело впливу	Нормативне регулювання	Рівень впливу
1	УФ та ІЧ випромінювання	Зварювальна дуга	ДСТУ EN 169:2005; ДСТУ EN ISO 11611:2015	Високий
2	Аерозоль металів	Розплав дроту та основного металу	N 741/35024	Високий
3	Озон, NOx, CO	Зона дуги та плавлення	N 741/35024	Середній
4	Висока температура	Металева ванна, зварювальні вузли	ДСН 3.3.6.042–99	Високий
5	Електричний струм	Зварювальний контур, електроди	НПАОП 0.00–1.32–01	Високий
6	Шум	Робота механізмів, витяжки	ДСН 3.3.6.042–99	Середній
7	Вібрація	Робота з устаткуванням	ДСН 3.3.6.042–99	Середній
8	Мікроклімат	Невідповідність температурних режимів	ДСН 3.3.6.042–99	Середній
9	Фізичне навантаження	Утримання пальника, підключення шлангів	–	Середній
10	Механічна безпека	Робота з патронами, кантувачами	ДСТУ EN ISO 12100:2014	Середній

6.2 Оцінка санітарно–гігієнічних умов праці

Оцінка санітарно гігієнічних умов праці є невід’ємним етапом аналізу безпечності діяльності працівників у процесі виготовлення головки теплообмінника з нержавіючої сталі. Дотримання норм та стандартів, регламентованих законодавством і галузевими нормативами, визначає ефективність заходів з профілактики професійних захворювань і збереження працездатності персоналу [46].

Відповідно до ДСН 3.3.6.042 99 [51] для оцінки умов праці необхідно проаналізувати ключові фактори що впливають на організм працівника

Мікроклімат є одним із теплових чинників небезпечності. Під час зварювальних підігрівальних та термообробних операцій температура в робочій зоні може перевищувати нормативні значення. Надмірне тепло і вологість створюють умови теплового дискомфорту що призводить до підвищеної пульсації подразнення слизових оболонок і зниження працездатності. ДБН В.2.5–67:2013 [52] передбачає застосування ефективною витяжної вентиляції що забезпечує збільшення обмінного повітрообміну. Температура не повинна перевищувати 28 °С при інтенсивній роботі вологість 60 % швидкість руху повітря не більше 0,2 м/с

Шум на дільницях зварювання шліфування та різання часто перевищує допустимі рівні встановлені стандартом ДСТУ ISO 1999:2009 [53]. Рівень вище ніж 85 дБА сприяє швидкому зносу вестибулярного апарату розвитку професійної туговухості психоемоційному напруженню і зниженню концентрації уваги. При виявленні перевищення шумових норм необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту слуху використовувати шумозахисні гарнітури та проводити шумоізоляцію устаткування.

Шкідливі хімічні речовини мають особливе значення в процесі зварювання та різання. У зоні обробки нержавіючої сталі можуть накопичуватися аерозолі хрому та нікелю. Відповідно до Наказу МОЗ № 1596 від 14.07.2020 [54] гранично допустимі концентрації для цих металів не повинні перевищувати 0,05 мг/м³.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		113

Перевищення цього рівня спричиняє подразнення дихальних шляхів алергічні реакції бронхоспазм і підвищений ризик онкологічних захворювань. Обов'язковим є встановлення локальних витяжних систем і застосування респіраторів класу РЗ згідно з ДСТУ EN 143:2004 [63].

Освітленість робочої зони регламентується ДСН 3.3.6.039–99 [55]. Загальне освітлення на зварювальних дільницях має бути не нижче 300 люкс. Недостатній рівень освітлення спричиняє зорове перенапруження зниження точності позиціонування підвищення ймовірності помилок і зниження виробничої якості. Регулярна перевірка справності світильників і очищення світлових приладів забезпечують відповідність умов нормативам.

Фізичне навантаження при переміщенні і монтажі заготовок особливо вручну може призводити до перевантаження опорно рухового апарату порушень постави та м'язової втоми. Відповідно до ДСН 3.3.2.007–98 [56] максимальна маса переміщуваного вантажу не повинна перевищувати 25 кг. Для зменшення навантаження необхідно застосовувати кран балки роликові конвеєри або механізовані засоби транспортування.

Оснащення виробничого приміщення засобами пожежного захисту згідно з НАПБ Б.01.008–2018 [58] а також забезпечення необхідної кількості вогнегасників є обов'язковою умовою безпеки. Наявність аварійного освітлення пожежної сигналізації та заземлення електроустаткування відповідно до ПУЕ–2017 [49] і НПАОП 40.1–1.21–98 [57] дозволяє запобігти виникненню аварійних ситуацій.

6.3 Захист працівника при виконанні зварювальних робіт

У процесі виготовлення головки теплообмінника з нержавіючої сталі працівники зазнають впливу численних небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Для забезпечення безпечних умов праці важливим є правильний підбір і застосування засобів індивідуального захисту ЗІЗ відповідно до вимог чинного законодавства галузевих нормативів і стандартів охорони праці [46–52].

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

Особливої уваги потребують зварювальні операції у ході яких працівник контактує з тепловим випромінюванням електричною дугою парами металів і механічними факторами. Згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 11611:2014 спецодяг для зварювальників має забезпечувати захист від бризок розплавленого металу ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювання а також відповідати класу термозахисту [62]. Захист очей і обличчя здійснюється за допомогою зварювальних масок або щитків зі змінними світлофільтрами які блокують ультрафіолетові та інфрачервоні промені

У виробничих приміщеннях де виконується зварювання нержавіючих сталей у повітря потрапляють токсичні аерозолі хрому й нікелю. Для запобігання ураженню органів дихання працівники повинні використовувати респіратори або напівмаски з фільтрами класу P2 або P3 відповідно до ДСТУ EN 143:2004 [63]. У разі підвищеної концентрації шкідливих речовин необхідне застосування примусової вентиляції з витяжним відсмоктуванням у зоні зварювання [46]

У практиці зварювальних робіт також застосовуються комбіновані засоби індивідуального захисту зокрема зварювальні маски з вбудованими системами подачі повітря. Прикладом сучасного засобу індивідуального захисту органів дихання та зору є маска Jasic Artotic SUN 20B з вбудованим блоком очищення повітря яка забезпечує його фільтрацію та подачу безпосередньо в дихальну зону зварювальника через внутрішній повітропровід. Маска має автоматичне затемнення бічні віконця для кращого огляду та регульоване ергономічне кріплення (рис. 6.1).



Рисунок 6.1 – Маска зварювальника Jasic Artotic SUN 20 з системою автозатемнення та примусовою подачею очищеного повітря [59]

									Арк.
									115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗВ-п2106.00.000 ПЗ				

Руки працівника потребують надійного захисту від механічних ушкоджень, опіків і дії електричного струму, особливо під час зварювання, шліфування та роботи з нагрітими деталями. Рекомендується використовувати зварювальні рукавиці з термостійкого матеріалу, зокрема зі шкіри. Наприклад, рукавиці типу MIG Welding Dragon (рис. 6.2) забезпечують підвищений захист у зоні долоні та зап'ястя, мають подовжену манжету, добре переносять високі температури.



Рисунок 6.2 – Зварювальні рукавиці зі шкіри типу MIG Welding Dragon для захисту рук від термічних і механічних впливів [60]

Використання таких засобів є обов'язковим компонентом комплексної системи безпеки під час виконання технологічних операцій що супроводжуються високими температурами та ризиком порізів чи ударів.

Захист ніг забезпечується спеціальним взуттям з металевими підносками антипрокольною устілкою та термостійкою підошвою. Таке взуття має відповідати ДСТУ EN ISO 20345:2016 і забезпечувати стійкість до механічного хімічного та термічного впливу [61].

Голова працівника має бути захищена захисною каскою особливо під час виконання робіт із застосуванням кран балок і вантажопідйомного устаткування. Каски повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 397:2001 і бути оснащені внутрішньою амортизаційною підвіскою що поглинає удари [64].

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		116

Усі засоби індивідуального захисту мають бути сертифікованими справними та підібраними індивідуально відповідно до типу виконуваних робіт. Працівники мають проходити первинний та повторний інструктаж з охорони праці навчання правильному користуванню ЗІЗ а також регулярні медичні огляди згідно з вимогами чинного законодавства.

6.4 Безпека технологічного процесу та експлуатації устаткування

Зварювальні роботи належать до категорії підвищеної небезпеки тому допускаються лише кваліфіковані працівники віком від 18 років які пройшли обов'язковий медичний огляд інструктаж з охорони праці та мають посвідчення зварника ДНАОП 0.00–1.21–98 [57]. Для виконання робіт у замкнутому просторі або на висоті понад 5 метрів вимагається проходження спеціального навчання зокрема з верхолазних робіт. Залучення жінок до таких робіт обмежено ДСН 3.3.6.042–99 [51].

Робоче місце повинне бути обладнане за вимогами електробезпеки НПАОП 40.1–1.32–01 [50] пожежної безпеки НАПБ Б.01.008–2018 [58] а також мати вентиляцію освітлення та комплекти індивідуального захисту. Електрозварювальне устаткування повинне бути заземлене оснащене справними елементами захисту та відповідати технічним умовам ПУЕ–2017 [49].

Організація освітлення здійснюється відповідно до вимог санітарних норм ДСН 3.3.6.039–99 [55] які встановлюють мінімально допустимі рівні освітленості. Вентиляція зварювальних постів повинна забезпечувати локалізацію та відведення шкідливих газів згідно з ДБН В.2.5–67:2013 [52].

Під час роботи зварювальника виникають шкідливі виробничі фактори зокрема іонізуюче випромінювання аерозолі металів підвищений шум. Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати значень установлених МОЗ України Наказ №741 від 03.08.2020 [65].

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		117

Використання засобів індивідуального захисту є обов'язковим. Зокрема зварювальна маска повинна відповідати вимогам ДСТУ EN 169:2001 [48] захисні рукавички ДСТУ EN 388:2005 одяг і взуття ДСТУ EN ISO 11611:2014 [62] та ДСТУ EN ISO 20345:2016 [61] відповідно. Для захисту органів дихання рекомендовано застосовувати фільтри згідно з ДСТУ EN 143:2004 [63]. З метою зниження впливу шуму під час тривалої роботи доцільно застосовувати засоби захисту органів слуху що узгоджується з вимогами ДСТУ ISO 1999:2009 [53] та ДСН 3.3.6.037–99 [47].

6.5 Вимоги до освітлення, вентиляції та мікроклімату

На зварювальних дільницях мають бути забезпечені умови праці що відповідають нормативним вимогам до рівня освітлення мікроклімату та повітрообміну. Освітлення є критично важливим фактором що безпосередньо впливає на точність виконання зварювальних операцій візуальний контроль якості шва та зменшення втоми зору. Нормовані значення освітленості на робочих місцях у відповідності до ДСН 3.3.6.039–99 становлять 300 лк при загальному освітленні і 500 лк при комбінованому освітленні для робіт підвищеної точності [55].

Важливою вимогою є також підтримання оптимальних параметрів мікроклімату відповідно до ДБН В.2.5–67:2013. Для холодного періоду року рекомендовано температуру в межах від 16 °С до 22 °С відносну вологість від 40% до 60 % швидкість повітря до 0,3 м/с. В теплий період допускається температура до 28 °С вологість до 70 % а швидкість повітря не повинна перевищувати 0,5 м/с [52].

Для видалення газів парів металів і диму що утворюються під час зварювання застосовуються як загальнообмінні так і локальні вентиляційні системи. Ефективність загальнообмінної вентиляції залежить від обсягу повітрообміну кратність якого має забезпечувати від 5 до 7 обмінів повітря на годину. Однак у випадках коли основне джерело забруднення розташоване поблизу дихальної зони працівника доцільним є впровадження локальних витяжних пристроїв.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		118

Одним з ефективних засобів локального повітрообміну є панель рівномірного всмоктування яка являє собою перфорований екран з рівномірно розподіленими всмоктувальними отворами по площині (рис. 6.3). Вона встановлюється безпосередньо над джерелом утворення зварювальних аерозолів або інтегрується у конструкцію робочого столу. Завдяки такому розміщенню забезпечується захоплення шкідливих компонентів повітря ще до їхнього потрапляння у зону дихання працівника. Ця система також виключає формування турбулентних зворотних потоків знижує забрудненість повітря робочої зони та ефективно працює під час зварювання з використанням сумішей захисних газів [52].

З метою контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі необхідно орієнтуватися на гранично допустимі концентрації визначені наказом МОЗ України №741 від 03.08.2020 [65]. При перевищенні встановлених нормативів має бути передбачено автоматичне увімкнення аварійної вентиляції або припинення технологічного процесу. Такі заходи у поєднанні з ефективними локальними витяжними пристроями зокрема панелями рівномірного всмоктування дозволяють дотримуватись вимог промислової гігієни знижують рівень забруднення повітря та підвищують безпеку персоналу.



Рисунок 6.3 – Панель рівномірного всмоктування [66]

					ЗВ-п2106.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

Забезпечення нормативних параметрів мікроклімату та чистоти повітря дозволяє не лише зберегти здоров'я працівників, а й покращити умови праці, зменшити кількість браку в зварних з'єднаннях і, як наслідок, підвищити загальну продуктивність виробничого процесу.

Для досягнення відповідного рівня повітрообміну важливо правильно розрахувати об'єм повітря, яке необхідно видалити з робочої зони за допомогою місцевої витяжної вентиляції. Такий розрахунок виконується за встановленими санітарно-гігієнічними методиками з урахуванням потужності джерела забруднення, кратності обміну та параметрів середовища. Обчислення здійснюється відповідно до нормативної формули.

$$L_M = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0,$$

$$L_M = 3600 \cdot 0,0177 \cdot 32 \approx 2040 \text{ м}^{-3} \cdot \text{год},$$

де L_M – витрата повітря, $\text{м}^{-3} \cdot \text{год}$;

F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору, м^2 ;

V_0 – швидкість всмоктування у прорізі, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

У даному випадку для круглого отвору без екрана швидкість всмоктування повітря V_0 визначається з формули [66]:

$$V_0 = 16 \cdot V_x \cdot \left(\frac{X}{d}\right)^2$$

$$V_0 = 16 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{0,3}{0,15}\right)^2 = 32 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$$

де $V_x = 0,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ – необхідна швидкість повітря в зоні зварювання;

$X = 0,3 \text{ м}$ – відстань від центра отвору до точки зварювання;

$d = 0,15 \text{ м}$ – діаметр отвору.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

Площа отвору (круглий отвір):

$$F_0 = \pi \cdot \frac{(d^2)}{4}$$

$$F_0 = \pi \cdot \frac{(0,15^2)}{4} \approx 0,0178 \text{ м}^2$$

6.6 Заходи забезпечення пожежної та вибухопожежної безпеки

У зварювальному виробництві має комплексний характер і базується на чітко визначених технічних та організаційних заходах регламентованих нормативно правовими актами а також методичними рекомендаціями з охорони праці.

На всіх дільницях зварювання передбачено наявність ефективної системи протипожежного захисту що включає автоматичні системи виявлення загорянь пожежної сигналізації локального пожежогасіння а також наявність первинних засобів гасіння вуглекислотних порошкових вогнегасників бочок з піском азбестових покривал тощо. Відповідно до вимог НАПБ Б.01.008–2018 та НПАОП 40.1–1.21–98 ці засоби повинні бути розміщені у легкодоступних місцях поблизу кожного зварювального посту а їх технічний стан підлягає регулярному контролю [57, 58].

Особливу увагу приділяють місцям виконання зварювальних робіт за межами стаціонарних дільниць. У таких випадках робота дозволяється лише за спеціальним нарядом допуском який передбачає підготовку зони видалення легкозаймистих речовин встановлення металевих екранів забезпечення чергування відповідального персоналу та оснащення робочого місця додатковими засобами пожежогасіння. Протипожежні бар'єри між зварювальними постами а також вогнестійке облицювання конструкцій мають обмежити поширення полум'я у разі виникнення надзвичайної ситуації. Усі матеріали що використовуються у зварювальному середовищі повинні відповідати вимогам пожежної безпеки згідно з ДСТУ EN ISO 11611:2014 [62] зокрема до одягу спецзасобів та організації робочого простору.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

Під час аналізу умов праці при виготовленні головки теплообмінника з корозійностійкої сталі AISI 304 виявлено низку основних виробничих ризиків. Серед них утворення аерозолів з небезпечними сполуками хрому, нікелю й марганцю, інтенсивне світлове випромінювання дуги, локальне теплове перевантаження, високий рівень шуму та небезпека ураження електричним струмом.

Для зниження інгаляційного навантаження передбачено застосування локальної витяжної вентиляції безпосередньо із зони зварювання, а також загальнообмінної системи, що забезпечує нормативну кратність повітрообміну. Параметри мікроклімату (температура, вологість, швидкість повітря) підтримуються в межах норм, а працівники забезпечуються регламентованими перервами.

Освітлення організовано з урахуванням вимог безпечної зорової роботи: рівномірне, без тіней та осліплення. Для захисту від електричного струму застосовуються діелектричний одяг, заземлення, ізольоване устаткування та відповідне взуття. Проводиться регулярна перевірка технічного стану зварювальних установок.

З метою запобігання займанням у зоні патрубків та фланців виконується попереднє знежирення та очищення, а також використовується система допуску до вогневих робіт. Пожежна безпека підтримується через наявність вогнегасників та навчання персоналу діям у надзвичайних ситуаціях.

Ураховано ергономічні фактори, пов'язані зі складною формою виробу. Використання поворотних пристроїв для обертання обичайки та патрубків дозволяє зменшити фізичне навантаження на зварювальника та підвищити якість з'єднань.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення головки теплообмінника з корозійностійкої нержавіючої сталі AISI 304, призначеної для роботи в умовах підвищеного тиску, температури та впливу агресивного середовища. Проведено конструктивно-технологічний аналіз виробу з урахуванням експлуатаційних навантажень, геометричних особливостей та вимог до якості зварних з'єднань

Обрано спосіб механізованого зварювання плавким електродом у середовищі інертного газу (MIG, процес 131), як найбільш придатний для аустенітної нержавіючої сталі з урахуванням вимог до якості, герметичності та корозійної стійкості з'єднання. На основі обраного способу зварювання сформовано WPS з урахуванням властивостей матеріалу та вимог до якості з'єднання.

Опрацьовано маршрут виготовлення виробу, визначено технологічні переходи, обрано раціональні складально-зварювальні позиції та запропоновано конструкцію спеціалізованої оснастки для центрування, фіксації й стабілізації деталей під час зварювання.

Сформовано компонування виробничої дільниці із розрахунком необхідної кількості устаткування, персоналу, площі та допоміжної інфраструктури. Проведено аналіз витрат часу, трудомісткості та визначено показники ефективності. Особливу увагу приділено забезпеченню безпечних умов праці, включаючи вентиляцію, освітлення, протипожежний захист, контроль мікроклімату та рівня забруднення повітря.

Економічне обґрунтування доводить доцільність впровадження запропонованого технологічного процесу з огляду на його конкурентні переваги, зниження собівартості, підвищення стабільності якості та надійності конструкції.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		123

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Устаткування хімічних виробництв: конспект лекцій / укладач М. П. Юхименко. – Суми: Сумський державний університет, 2015. – 119 с.
2. EN 10088–1:2014. Stainless steels – Part 1: List of stainless steels. – Brussels : European Committee for Standardization (CEN), 2014. – 67 p.
3. Хімічний склад сталі AISI 304 <https://westa.kiev.ua/standarty/marki-stali/stal-aisi-304> (дата звернення: 25.05.2025). – Назва з екрана.
4. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів: метод. вказівки до практич. занять з дисципліни для студ. спец. 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» / О. А. Сливінський. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 39 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/20ffb01d-6fba-4e9c-82fa-ae0574eba72e/content> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.
5. Гапонова О. П., Будник А. Ф. Сталі та сплави з особливими властивостями :навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2014. 240 с. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/34052/1/Stali.pdf;jsessionid=43040362AD75012E05DABF9983541727> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.
6. Криль Я.А., Геворкян Е.С., Луцак Д.Л. Матеріалознавство. Сталь: класифікація, виробництво, споживання, маркування. За редакцією професора Я.А. Криля: Навчальний посібник. – Львів: «Новий Світ–2000», 2020. – 267с.
7. 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.
8. Технологія та устаткування зварювання плавленням : метод. вказівки до курсової роботи з дисципліни для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» / Бойко В. П., Котик В. Т., Корінець І. П. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 58с. URL: <https://studfile.net/preview/3748068/> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

9. ISO 6947:2019. *Welding and allied processes – Welding positions = Soudage et techniques connexes – Positions de soudage*. Geneva: International Organization for Standardization, 2019.

10. ISO 5817:2014. *Welding. Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded). Quality levels for imperfections*. Geneva: International Organization for Standardization, 2014. 33 с.

11. ISO 9692-1:2013. *Welding and allied processes. Types of joint preparation. Part 1: Manual metal arc welding, gas-shielded metal arc welding, gas welding, TIG welding and beam welding of steels*. Geneva : International Organization for Standardization, 2013. 26 с.

12. ISO 14343:2017. *Welding consumables. Wire electrodes, strip electrodes, wires and rods for arc welding of stainless and heat resisting steels. Classification*. Brussels : International Organization for Standardization, 2017. 23 с.

13. ISO 14175:2008. *Welding consumables. Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes*. Brussels: International Organization for Standardization, 2008. 12 с.

14. American Welding Society. *Structural welding code. Steel: (AWS D1.1/D1.1M:2000)*. Miami (FL): American Welding Society, 2000. 482 p. URL: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/aws.d1.1.2000.pdf> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

15. Кран–балка опорна 1т, 2т, 3т, 5т, 10т, 12т. ООО НПФ "ТКС" Харків. URL:https://sdm-group.com.ua/krany-mostovye-odnbalochnye-opornye/?gad_source=1&gad_campaignid=363746576&gclid=CjwKCAjw9anCBhAWEiwAqBJ-c1NFNbJNzHdWQNLEtweb_CiZLQ5obj48Lo-ALyFhpQ8ZDvnNm4-iLRoC4qQQA_vD_BwE (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

16. Листопрямильна машина Bendmak BPSM 25/55. SVARTECH. URL: <https://svartech.com.ua/ua/p1183680546-listopravilnaya-mashina-bendmak.html> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

					ЗВ-п2106.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		125

17. Верстат плазмового різання з ЧПК Vector 6015P. URL: <https://vector-cnc.com.ua/6015p#!/tab/508233864-2> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

18. Ручний фаскознімач SKM-20. URL: https://qz.dp.ua/p14892458-agregat-dlya-snyatiya.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=22306219346&gclid=CjwKCAjwo4rCBhAbEiwAxxJICRj_e5fmK5Zpskay382gvmrVzPnj-vl-lpK6THZ3tRwBJXmEcIbRnRoClZMQAvD_BwE (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

19. Універсальний верстат для оброблення поверхні 1300RR-M. URL: https://www.lxlasercutting.com/uk/lx-rr-m-1000-factory-price-800mm-1000mm-1300mm-big-small-burrs-metal-deburring-polishing-grinding-machine-for-laser-cutting-parts-aluminum-mild-stainless-steel-plate-product/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

20. Прес-машина глибокої витяжки TAITIAN. URL: <https://uk.tt-machine.com/four-column-deep-drawing-press-machine.html> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

21. Фрезерний верстат Holzmann BF 1000DRO. URL: https://budetop.com.ua/ru/frezernyi-standok-holzmann-bf-1000ddro/?gad_source=1&gad_campaignid=21914969709&gclid=CjwKCAjwo4rCBhAbEiwAxxJICfrenlQnOXsBDjEunyFGLVu5bUFgpg8_19G9zclWbur2ftdfzJBjhBoC0HMQAxD_BwE (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

22. Стрічкопильний верстат FDB Maschinen SGA 400G. URL: <https://stanmaster.com.ua/ua/p869270985-lentochnaya-pila-metallu.html> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

23. Автоматизована зварювальна установка BR 2500 URL: https://www.alibaba.com/product-detail/The-New-Inverter-Longitudinal-Mig-Welding_1601288169100.html?spm=a2700.find_similar.normal_offer.d_image.b4a05f93eHsbH7 (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		126

24. Лисак В. В. Виробництво зварних конструкцій – 3. Засоби механізації зварювального виробництва : метод. вказівки до практ. занять з кредитного модулю навч. дисципліни «Виробництво зварних конструкцій» для студентів спец. 131 «Прикладна механіка», спец. «Технології та інжиніринг у зварюванні». — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 110 с.

25. Зварювальний напівавтомат Jasic MIG-500 URL: https://jasic.com.ua/svarochnyij-poluavtomat-jasic-mig-500-n221?gclid=CjwKCAjw9anCBhAWEiwAqBJ-c7eYCCurLhqGFvHa3rlKAbRBgxewrCMOqly7G-ObEzzIG61wxAT4gRoCx6gQAvD_BwE (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

26. Пальник марки MB-36KD Welding Dragon URL: <https://jasic.ua/ua/product/svarochnaya-gorelka-mb-36kd-wdr-5m-992> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

27. Редуктор двоступеневі БУД-25ДМ URL: https://prom.ua/ua/p868652181-reduktor-dvuhstupenchatye-bud.html?utm_source=google_product&utm_medium=cpc&utm_content=pla&utm_campaign=KT_cpc_1_5297199152&gad_source=1&gad_campaignid=20983226771&gclid=CjwKCAjw9anCBhAWEiwAqBJ-cztwJ-CDI0os_xxq-7boHz3slhMevXaTUfw_UWM8ufjIFzIi22YbyRoCcncQAvD_BwE (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

28. Каховський завод електрозварювального устаткування URL: <https://kzeso.com/ru/catalog/electric-welding-equipment/machines-for-arc-welding-and-facing/a-1406> (дата завершення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

29. CWP-7 CIRCLE WELDER. Instructions and Parts manual. URL: https://bugo.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2019/09/CWP-7_ipm_2_18.pdf (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

30. Центратор трубний для внутрішній фіксації труб URL: <https://svartech.com.ua/ua/p789842784-tsentrator-trubnyj-dlya.html> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		127

31. ДСТУ 8540:2015. Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент. (Проект, перша редакція). Вид. офіц. Київ : Національний стандарт України, 2015. 15 с. URL: <https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/28-dstu-8540-2015-prokat-listovij-goryachekatanij-sortament.pdf> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

32. ДСТУ ISO 1127:2005. Труби з нержавкої сталі. Розміри, допуски і стандартна маса на одиницю довжини (ISO 1127:1992, IDT). – [Чинний]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2006. – 11 с.

33. ДСТУ EN 10222–5:2017 Поковки з нержавіючої сталі. Технічні умови постачання. Частина 5. Аустенітні та аустенітно–феритні сталі (EN 10222–5:2017, IDT). – [Чинний від 2018–01–01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 20 с.

34. Вертикальний шарнірно–важільний затискач ST–12130: URL: https://stancomplect.com/vertikalniy-vazhilniy-zatiskach-st-12130-navantazhennya-227-kg/?gclid=Cj0KCQjwgIXCBhDBARIsAE_LC9Zg3r74KsEa_rTIL9wFxxvuneDlePmKsoYjU3KgnohY4_tnYHj3QPtlaAjdweALw_wcB (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

35. 4-валковий листозгинальний верстат FACCIN-4HEL 1622 URL: https://mach4metal.com/ua/listoprokatni-verstati/4-rol/faccin-4hel-1622-3?_gl=1*3qfxxk6*_up*MQ..*_ga*MTcwOTY4NDYwMi4xNzQ5MjUwNzk0*_ga_SN6NJE6WN7*czE3NDkyNTA3OTQkbzEkZzEkdDE3NDkyNTA4OTAkajYwJGwwJGgxMjA0MDQzNTYy (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

36. Штабелер електричний GTM PSE15L–C URL: https://оксамит-вин.com.ua/p2534362648-shtabeler-elektrichnij-gtm.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=17293997166&gclid=CjwKCAjwo4rCBhAbEiwAxxhJICUL7Qn0jdINYUrJ3JcbgIOIDhbhc3Pz4bPrHm9eQfZPmRbPsl9tKnRoCZisQAvD_BwE (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		128

37. Поозиціонер–обертач для зварювання Tesla Weld ТПГ ПОЗ–300 URL: https://ua.teslaweld.com/pozicioner-vraschatel-dlya-svarki-tesla-weld-tpg-poz-300?gad_source=1&gad_campaignid=21801913357&gclid=Cj0KCQjwgIXCBhDBARIsAELC9ZjEm1pmxlJkVTSAAsDB-Z8JZVsO-KxynOWPv6d-PXms-GDpMKb1-iQgaAm1QEALw_wcB (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

38. Дефектоскоп ультразвуковий на фазованих решітках DIO 1000 PA URL: <https://ukrintech.com.ua/defektoskop-ul-trazvukovij-na-fazovanikh-reshitkakh-dio-1000-pa> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.

39. Технологічне проектування виробничих площ : електронні метод. вказівки до практич. занять, домаш. контроль. та самоств. роботи з кредит. модулю для студ. спец. 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» / В. О. Гаєвський. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 48 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/8ea9af0e-cc07-4f25-94f1-9a8de50ac20a/content> (дата звернення: 25.05.2025). – Назва з екрана.

40. Економіка і організація виробництва: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за технічними та інженерними спеціальностями / Петренко К. В., Скоробогатова Н. Є. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 177 с.

41. Розробка стартап проєкту: Методичні рекомендації до написання економічної частини дипломної роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра денної форми навчання за ОПП спеціальності галузі знань / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Глущенко Я.І. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,365 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 18 с. – Назва з екрана.

42. ДСТУ EN ISO 3834–1:2022. Вимоги до якості для зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 1. Критерії вибору належного рівня вимог до якості (EN ISO 3834–1:2021, IDT; ISO 3834–1:2021, IDT). — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. –15 с.

43. Організація виробництва : підручник / А. І. Яковлев [та ін.] ; ред.: А. І. Яковлев, С. П. Сударкіна, М. І. Ларка ; Нац. техн. ун–т "Харків. політехн. інт". – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – 436 с.

					ЗВ-п2106.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		129

44. Демиденко Г. П. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. / Г. П. Демиденко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2008. – 300 с.
45. Ткачук К. Н. Основи охорони праці : підручник / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний. – Київ : Основа, 2011. – 474 с.
46. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві : навч. посіб. / О. Г. Левченко. – Київ : Основа, 2010. – 240 с.
47. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Електронний ресурс]. – Київ : МОЗ України, 1999. – 30 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99> (дата звернення: 24.05.2025). – Назва з екрана.
48. ДСТУ EN 169:2001. Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри під час виконання зварювання та споріднених процесів. Вимоги до пропускання та рекомендації щодо використання. – Київ : Держспоживстандарт України, 2001.
49. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ–2017. – Київ : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
50. НПАОП 40.1–1.32–01. Правила будови електроустановок. Електроустаткування спеціальних установок [чинний від 21.06.2001] Міністерство праці та соціальної політики України. – Київ : Мінпраці України, 2001.
51. ДСН 3.3.6.042–99. Державні санітарні норми. Гігієнічна класифікація праці. – Київ : МОЗ України, 1999. – 40 с.
52. ДБН В.2.5–67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. – 86 с.
53. ДСТУ ISO 1999:2009. Акустика. Визначення впливу виробничого шуму на слух. – Київ : Держспоживстандарт України, 2010. – 68 с.
54. МОЗ України. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони : наказ № 1596 від 14.07.2020 / МОЗ України. – Київ : МОЗ України, 2020. – 658 с. – Зареєстр. в Мін'юсті України 03.08.2020 за № 741/35024.
55. ДСН 3.3.6.039–99. Санітарні норми освітлення робочих місць. – Київ : МОЗ України, 1999. – 20 с.

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		130

ДОДАТКИ

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>132</i>

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	-
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	Стор./Page:	-
		Дата/Date	-
		WPQR	-

1.Замовник/Custom(er)	Кафедра зварювального виробництва	2. Об'єкт/Object	Зразок/Sample Головка теплообмінника		
3. Основний матеріал /Parent materials					
Поз./Item	Марка/Trade mark	Категорія/Grade	Товщина/Thickness ,мм	max C, %	max Ce, %
A	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	10	0,08	-

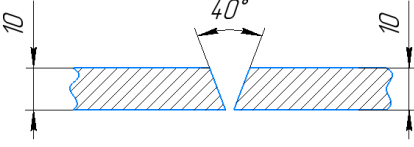
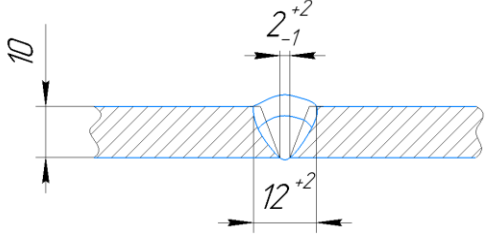
4. Підготування крайок, що зварюються /Edge preparation					
Термічне різання/Thermal cutting	Мех. обробка/Machining Подрібнення /Chopping		Зачищення/Grinding	Інші методи/Other methods	
-	-		металева щітка	знежирення	

5. Тип зварного з'єднання /Type of welding joint	Стикове / BW (butt-joint)				
--	---------------------------	--	--	--	--

6. Прихоплення/Tacking							
Процес прихоплення/ Tacking process	Тип та розмір зварювального матеріалу/ Type and size of filler material	Струм/ Current, A	Напруга/ Voltage, B	Витрата газ /Gas expense, л/хв.	Довжина прихоплення/ Length tacking, мм	Крок/ Step, мм	Підігрів/ Preheat
-	-	-	-	-	-	-	-

7. Положення при зварюванні/ Welding position	Сторона1/ Side1	РА (1G) (ДСТУ ISO 6947)	Сторона2/Side2		-
--	--------------------	----------------------------	----------------	--	---

8. Температура попереднього підігрівання / Preheat temperature	-	9. Температура поміж проходами/ Intrapass temperature	-
---	---	--	---

10. Підготування крайок / Joint preparation 1.9.2 ДСТУ ISO 9692-1:2009	11. Ескіз з'єднання / Sketch of joint
	

12. Параметри зварювання/Welding parameters								
№ проходу/ N run	Спосіб зварювання/ Welding type	Діам. звар. матеріалу/ Diameter welding material,мм	Струм/ Current, A	Напруга/ Voltage, B	Швидкість зварювання/ Welding speed, м/хв.	Подача дроту/ Wire speed, м/хв	Тепло-вкладення/ Heat input, кДж/мм	Полярність/ Polarity
1	131	1,6	від 200 до 250	від 20 до 25	від 0,25 до 0,3	від 5 до 5,5	-	DC+
2	131	1,6	від 200 до 250	від 20 до 25	від 0,25 до 0,3	від 5 до 5,5	-	DC+

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗВ-п2106.00.000 ПЗ	Арк.
						133

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	–	
		Стор./Page:	–	
		Дата/Date	–	
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	WPQR	–	

13. Зварювальні матеріали / Filler materials:				
Індекс/Index	Тип/Type	Марка/Trade mark	Виробник/Manufacturer	
1. Дріт	ДСТУ EN ISO 14343:2017 308LSi (Ø 1,6 мм)	308LSi	–	
2. Газ	ДСТУ EN ISO 14175:2008 – І3 ArHe–25	Ar/He	–	
14. Вимоги до якості зварювання /Welds quality demands		ДСТУ ISO 5817 - B		
15. Кваліфікація зварника/Welders qualification		ДСТУ EN ISO 9606-1		
16. Термооброблення/ PWHT	Швидкість підігрівання/ Heating rate, °C/год.	Температура витримки/ Soak temperature, °C	Час витримки/ Soak time, год.	Швидкість охолодження/ Cooling rate, °C/год.
	–	–	–	–
17. Примітки/ Notes:				

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		134

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	-
		Стор./Page:	-
		Дата/Date	-
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	WPQR	-

1.Замовник/Custom(er)	Кафедра зварювального виробництва	2. Об'єкт/Object	Зразок/Sample Головка теплообмінника
-----------------------	-----------------------------------	------------------	---

3. Основний матеріал /Parent materials

Поз./Item	Марка/Trade mark	Категорія/Grade	Товщина/Thickness ,мм	max C, %	max Ce, %
A	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	5	0,08	-
B	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	5	0,08	-

4. Підготовка крайок, що зварюються /Edge preparation

Термічне різання/Thermal cutting	Мех. обробка/Machining Подрібнення /Chopping	Зачищення/Grinding	Інші методи/Other methods
-	-	металева щітка	знежирення

5. Тип зварного з'єднання /Type of welding join	Стикове / BW (butt-joint)
---	---------------------------

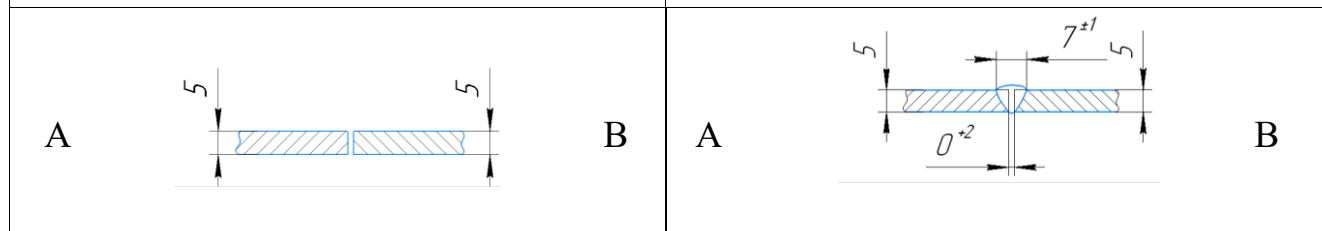
6. Прихоплення/Tacking

Процес прихоплення/ Tacking process	Тип та розмір зварювального матеріалу/ Type and size of filler material	Струм/ Current, A	Напруга/ Voltage, B	Витрата газ /Gas expense, л/хв.	Довжина прихоплення/ Length tacking, мм	Крок/ Step, мм	Підігрів/ Preheat
131	ДСТУ EN ISO 14343:2017, 308LSi (199 LSi), Ø1,6 мм ДСТУ EN ISO 14175 – M21 – ArHe – 25	від 180 до 210	від 20 до 25	від 17 до 18	від 10 до 30	від 20 до 50	-

7. Положення при зварюванні/ Welding position	Сторона1/ Side1	PJ (1G) (ДСТУ ISO 6947)	Сторона2/Side2	-
--	--------------------	----------------------------	----------------	---

8. Температура попереднього підігрівання / Preheat temperature	-	9. Температура поміж проходами/ Intrapass temperature	-
---	---	--	---

10. Підготовка крайок / Joint preparation 1.9.2 ДСТУ ISO 9692-1:2009	11. Ескіз з'єднання / Sketch of joint
---	---------------------------------------



12. Параметри зварювання/Welding parameters

№ проходу/ N run	Спосіб зварювання/ Welding type	Діам. звар. матеріалу/ Diameter welding material,мм	Струм/ Current, A	Напруга/ Voltage, B	Швидкість зварювання/ Welding speed, м/хв.	Подача дроту/ Wire speed, м/хв	Тепло-вкладення/ Heat input, кДж/мм	Полярність/ Polarity
1	131	1,6	від 180 до 210	від 20 до 25	від 0,2 до 0,3	від 5 до 5,5	-	DC+

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	–
		Стор./Page:	–
		Дата/Date	–
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	WPQR	–

13. Зварювальні матеріали /Filler materials:				
Індекс/Index	Тип/Type	Марка/Trade mark	Виробник/Manufacturer	
1. Дріт	ДСТУ EN ISO 14343:2017 308LSi (Ø 1,6 мм)	308LSi	–	
2. Газ	ДСТУ EN ISO 14175:2008 – І3 ArHe–25	Ar/He	–	
14. Вимоги до якості зварювання /Welds quality demands		ДСТУ ISO 5817 - B		
15. Кваліфікація зварника/Welders qualification		ДСТУ EN ISO 9606-1		
16. Термооброблення/ PWHT	Швидкість підігрівання/ Heating rate, °C/год.	Температура витримки/ Soak temperature, °C	Час витримки/ Soak time, год.	Швидкість охолодження/ Cooling rate, °C/год.
	–	–	–	–
17. Примітки/ Notes:				

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		136

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	–
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	Стор./Page:	–
		Дата/Date	–
		WPQR	–

1.Замовник/Custom(er)		Кафедра зварювального виробництва		2. Об'єкт/Object		Зразок/Sample Головка теплообмінника		
3. Основний матеріал /Parent materials								
Поз./Item	Марка/Trade mark	Категорія/Grade	Товщина/Thickness ,мм	max C, %	max Ce, %			
A	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	50	0,08	–			
B	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	10	0,08	–			
4. Підготування крайок, що зварюються /Edge preparation								
Термічне різання/ Thermal cutting		Мех. обробка/Machining Подрібнення /Chopping		Зачищення/Grinding		Інші методи/Other methods		
–		–		металева щітка		знежирення		
5. Тип зварного з'єднання /Type of welding joint				Кутове / FW (fillet weld)				
6. Прихоплення/Tacking								
Процес прихоплення/ Tacking process	Тип та розмір зварювального матеріалу/ Type and size of filler material		Струм/ Current, A	Напруга/ Voltage, B	Витрата газ /Gas expense, л/хв.	Довжина прихоплення/ Length tacking, мм	Крок/ Step, мм	Підігрів/ Preheat
131	ДСТУ EN ISO 14343:2017, 308LSi (199 LSi), Ø1,6 мм ДСТУ EN ISO 14175 – M21 – ArHe – 25		від 200 до 250	від 25 до 30	від 17 до 18	від 10 до 30	від 200 до 250	–
7. Положення при зварюванні/ Welding position		Сторона1/ Side1	РА (1G) (ДСТУ ISO 6947)		Сторона2/Side2		–	
8. Температура попереднього підігрівання / Preheat temperature		–		9. Температура поміж проходами/ Intrapass temperature		–		
10. Підготування крайок / Joint preparation 1.9.2 ДСТУ ISO 9692-1:2009				11. Ескіз з'єднання / Sketch of joint				
A	B		A		B			
12. Параметри зварювання/Welding parameters								
№ проходу/ N run	Спосіб зварювання/ Welding type	Діам. звар. матеріалу/ Diameter welding material,мм	Струм /Current, A	Напруга/ Voltage, B	Швидкість зварювання/ Welding speed, м/хв.	Подача дроту/ Wire speed, м/хв	Тепло-вкладення/ Heat input, кДж/мм	Полярність/ Polarity
1	131	1,6	від 200 до 250	від 25 до 30	від 0,25 до 0,35	від 5 до 5,5	–	DC+
2	131	1,6	від 200 до 250	від 25 до 30	від 0,25 до 0,35	від 5 до 5,5	–	DC+

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗВ-п2106.00.000 ПЗ	Арк.
						137

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	–
		Стор./Page:	–
		Дата/Date	–
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	WPQR	–

13. Зварювальні матеріали /Filler materials:				
Індекс/Index	Тип/Type	Марка/Trade mark	Виробник/Manufacturer	
1. Дріт	ДСТУ EN ISO 14343:2017 308LSi (Ø 1,6 мм)	308LSi	–	
2. Газ	ДСТУ EN ISO 14175:2008 – I3 ArHe–25	Ar/He	–	
14. Вимоги до якості зварювання /Welds quality demands		ДСТУ ISO 5817 - B		
15. Кваліфікація зварника/Welders qualification		ДСТУ EN ISO 9606-1		
16. Термооброблення/ PWHT	Швидкість підігрівання/ Heating rate, °C/год.	Температура витримки/ Soak temperature, °C	Час витримки/ Soak time, год.	Швидкість охолодження/ Cooling rate, °C/год.
	–	–	–	–
17. Примітки/ Notes:				

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		138

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	–
		Стор./Page:	–
		Дата/Date	–
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	WPQR	–

1.Замовник/Custom(er)	Кафедра зварювального виробництва	2. Об'єкт/Object	Зразок/Sample Головка теплообмінника
-----------------------	-----------------------------------	------------------	---

3. Основний матеріал /Parent materials

Поз./Item	Марка/Trade mark	Категорія/Grade	Товщина/Thickness ,мм	max C, %	max Ce, %
A	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	10	0,08	–
B	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	5	0,08	–

4. Підготування крайок, що зварюються /Edge preparation

Термічне різання/Thermal cutting	Мех. обробка/Machining Подрібнення /Chopping	Зачищення/Grinding	Інші методи/Other methods
–	–	металева щітка	знежирення

5. Тип зварного з'єднання /Type of welding join Кутове / FW (fillet weld)

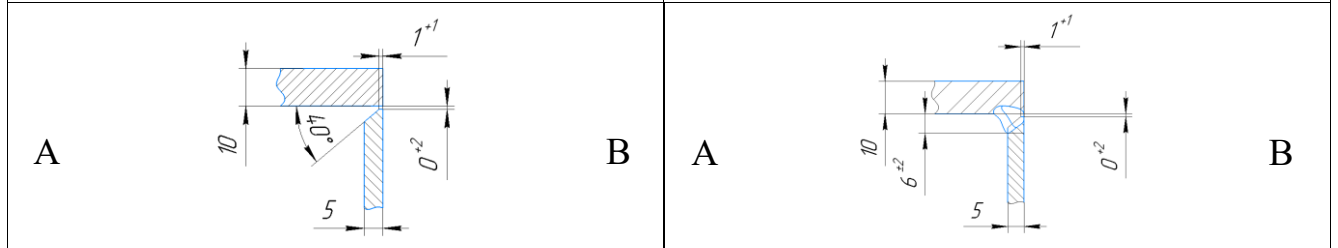
6. Прихоплення/Tacking

Процес прихоплення/ Tacking process	Тип та розмір зварювального матеріалу/ Type and size of filler material	Струм/ Current, A	Напруга/ Voltage, B	Витрата газ /Gas expense, л/хв.	Довжина прихоплення/ Length tacking, мм	Крок/ Step, мм	Підігрів/ Preheat
131	ДСТУ EN ISO 14343:2017, 308LSi (199 LSi), Ø1,6 мм ДСТУ EN ISO 14175 – M21 – ArHe – 25	від 180 до 220	від 25 до 30	від 17 до 18	від 5 до 10	від 45 до 55	–

7. Положення при зварюванні/ Welding position	Сторона1/ Side1	PJ (2F) (ДСТУ ISO 6947)	Сторона2/Side2	–
--	--------------------	----------------------------	----------------	---

8. Температура попереднього підігрівання / Preheat temperature	–	9. Температура поміж проходами/ Intrapass temperature	–
---	---	--	---

10. Підготування крайок / Joint preparation
1.9.2 ДСТУ ISO 9692-1:2009



12. Параметри зварювання/Welding parameters

№ проходу/ N run	Спосіб зварювання/ Welding type	Діам. звар. матеріалу/ Diameter welding material,мм	Струм /Current, A	Напруга/ Voltage, B	Швидкість зварювання/ Welding speed, м/хв.	Подача дроту/ Wire speed, м/хв	Тепло-вкладення/ Heat input, кДж/мм	Полярність/ Polarity
1	131	1,6	від 180 до 220	від 25 до 30	від 0,25 до 0,35	від 5 до 5,5	–	DC+
2	131	1,6	від 180 до 220	від 25 до 30	від 0,25 до 0,35	від 5 до 5,5	–	DC+

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	–
		Стор./Page:	–
		Дата/Date	–
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	WPQR	–

13. Зварювальні матеріали /Filler materials:				
Індекс/Index	Тип/Type	Марка/Trade mark	Виробник/Manufacturer	
1. Дріт	ДСТУ EN ISO 14343:2017 308LSi (Ø 1,6 мм)	308LSi	–	
2. Газ	ДСТУ EN ISO 14175:2008 – І3 ArHe–25	Ar/He	–	
14. Вимоги до якості зварювання /Welds quality demands		ДСТУ ISO 5817 - B		
15. Кваліфікація зварника/Welders qualification		ДСТУ EN ISO 9606-1		
16. Термооброблення/ PWHT	Швидкість підігрівання/ Heating rate, °C/год.	Температура витримки/ Soak temperature, °C	Час витримки/ Soak time, год.	Швидкість охолодження/ Cooling rate, °C/год.
	–	–	–	–
17. Примітки/ Notes:				

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						140
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	-
		Стор./Page:	-
		Дата/Date	-
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	WPQR	-

1.Замовник/Custom(er)	Кафедра зварювального виробництва	2. Об'єкт/Object	Зразок/Sample Головка теплообмінника
-----------------------	-----------------------------------	------------------	---

3. Основний матеріал /Parent materials

Поз./Item	Марка/Trade mark	Категорія/Grade	Товщина/Thickness ,мм	max C, %	max Ce, %
A	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	10	0,08	-
B	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	10	0,08	-

4. Підготування крайок, що зварюються /Edge preparation

Термічне різання/Thermal cutting	Мех. обробка/Machining Подрібнення /Chopping	Зачищення/Grinding	Інші методи/Other methods
-	-	металева щітка	знежирення

5. Тип зварного з'єднання /Type of welding join Кутове / FW (fillet weld)

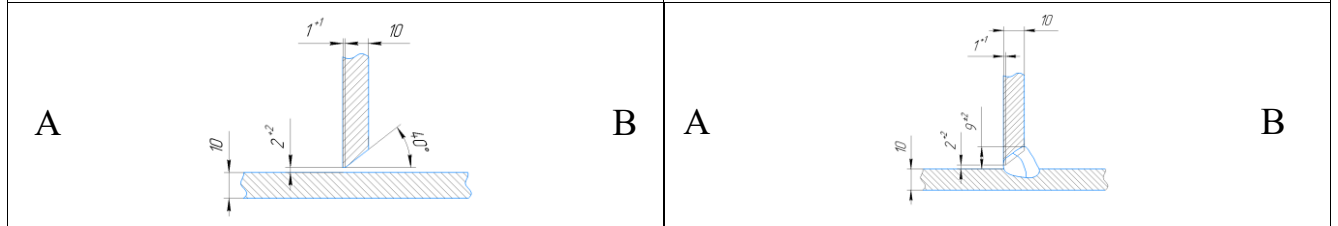
6. Прихоплення/Tacking

Процес прихоплення/ Tacking process	Тип та розмір зварювального матеріалу/ Type and size of filler material	Струм/ Current, A	Напруга/ Voltage, B	Витрата газ /Gas expense, л/хв.	Довжина прихоплення/ Length tacking, мм	Крок/ Step, мм	Підігрів/ Preheat
131	ДСТУ EN ISO 14343:2017, 308LSi (199 LSi), Ø1,6 мм ДСТУ EN ISO 14175 – M21 – ArHe – 25	від 200 до 250	від 25 до 30	від 17 до 18	від 5 до 10	від 140 до 160	-

7. Положення при зварюванні/ Welding position	Сторона1/ Side1	РА (2F) (ДСТУ ISO 6947)	Сторона2/Side2	-
--	--------------------	----------------------------	----------------	---

8. Температура попереднього підігрівання / Preheat temperature	-	9. Температура поміж проходами/ Intrapass temperature	-
---	---	--	---

10. Підготування крайок / Joint preparation
1.9.2 ДСТУ ISO 9692-1:2009



12. Параметри зварювання/Welding parameters

№ проходу/ N run	Спосіб зварювання/ Welding type	Діам. звар. матеріалу/ Diameter welding material,мм	Струм /Current, A	Напруга/ Voltage, B	Швидкість зварювання/ Welding speed, м/хв.	Подача дроту/ Wire speed, м/хв	Тепло-вкладення/ Heat input, кДж/мм	Полярність/ Polarity
1	131	1,6	від 200 до 250	від 25 до 30	від 0,25 до 0,3	від 5 до 5,5	-	DC+
2	131	1,6	від 200 до 250	від 25 до 30	від 0,25 до 0,3	від 5 до 5,5	-	DC+

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	–
		Стор./Page:	–
		Дата/Date	–
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	WPQR	–

13. Зварювальні матеріали /Filler materials:				
Індекс/Index	Тип/Type	Марка/Trade mark	Виробник/Manufacturer	
1. Дріт	ДСТУ EN ISO 14343:2017 308LSi (Ø 1,6 мм)	308LSi	–	
2. Газ	ДСТУ EN ISO 14175:2008 – І3 ArHe–25	Ar/He	–	
14. Вимоги до якості зварювання /Welds quality demands		ДСТУ ISO 5817 - В		
15. Кваліфікація зварника/Welders qualification		ДСТУ EN ISO 9606-1		
16. Термооброблення/ PWHT	Швидкість підігрівання/ Heating rate, °C/год.	Температура витримки/ Soak temperature, °C	Час витримки/ Soak time, год.	Швидкість охолодження/ Cooling rate, °C/год.
	–	–	–	–
17. Примітки/ Notes:				

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		142

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	-
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	Стор./Page:	-
		Дата/Date	-
		WPQR	-

1.Замовник/Custom(er)	Кафедра зварювального виробництва	2. Об'єкт/Object	Зразок/Sample Головка теплообмінника
-----------------------	-----------------------------------	------------------	---

3. Основний матеріал /Parent materials

Поз./Item	Марка/Trade mark	Категорія/Grade	Товщина/Thickness ,мм	max C, %	max Ce, %
A	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	10	0,08	-
B	AISI 304 EN 10088-1:2014	1.2 ISO/TR 15608	10	0,08	-

4. Підготування крайок, що зварюються /Edge preparation

Термічне різання/Thermal cutting	Мех. обробка/Machining Подрібнення /Chopping	Зачищення/Grinding	Інші методи/Other methods
фаскознімач	-	металева щітка	знежирення

5. Тип зварного з'єднання /Type of welding join Стикове / BW (butt-joint)

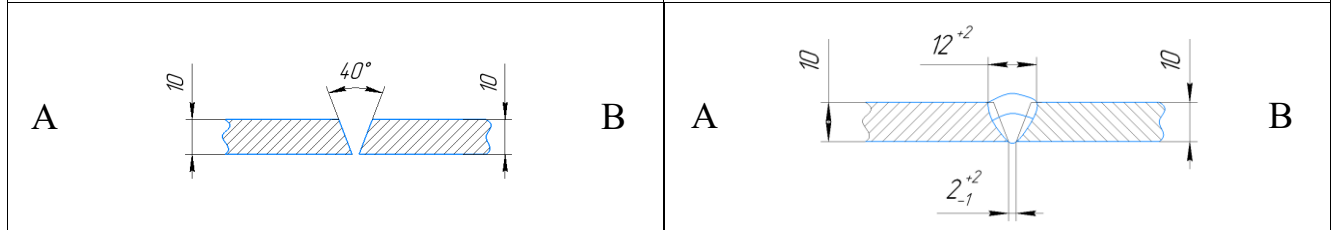
6. Прихоплення/Tacking

Процес прихоплення/ Tacking process	Тип та розмір зварювального матеріалу/ Type and size of filler material	Струм/ Current, A	Напруга/ Voltage, B	Витрата газ /Gas expense, л/хв.	Довжина прихоплення/ Length tacking, мм	Крок/ Step, мм	Підігрів/ Preheat
131	ДСТУ EN ISO 14343:2017, 308LSi (199 LSi), Ø1,6 мм ДСТУ EN ISO 14175 – M21 – ArHe – 25	від 200 до 250	від 25 до 30	від 17 до 18	від 5 до 10	від 140 до 160	-

7. Положення при зварюванні/ Welding position	Сторона1/ Side1	РА (1G) (ДСТУ ISO 6947)	Сторона2/Side2	-
--	--------------------	----------------------------	----------------	---

8. Температура попереднього підігрівання / Preheat temperature	-	9. Температура поміж проходами/ Intrapass temperature	-
---	---	--	---

10. Підготування крайок / Joint preparation
1.9.2 ДСТУ ISO 9692-1:2009



12. Параметри зварювання/Welding parameters

№ проходу/ N run	Спосіб зварювання/ Welding type	Діам. звар. матеріалу/ Diameter welding material,мм	Струм/ Current, A	Напруга/ Voltage, B	Швидкість зварювання/ Welding speed, м/хв.	Подача дроту/ Wire speed, м/хв	Тепло-вкладення/ Heat input, кДж/мм	Полярність/ Polarity
1	131	1,6	від 200 до 250	від 20 до 25	від 0,25 до 0,3	від 5 до 5,5	-	DC+
2	131	1,6	від 200 до 250	від 20 до 25	від 0,25 до 0,3	від 5 до 5,5	-	DC+

Головка теплообмінника	Технологічна інструкція зі зварювання (WPS) Welding Procedure Specification (WPS)	WPS	–	
		Стор./Page:	–	
		Дата/Date	–	
	Стандарт: ДСТУ EN ISO 15609-1	WPQR	–	

13. Зварювальні матеріали / Filler materials:				
Індекс/Index	Тип/Type	Марка/Trade mark	Виробник/Manufacturer	
1. Дріт	ДСТУ EN ISO 14343:2017 308LSi (Ø 1,6 мм)	308LSi	–	
2. Газ	ДСТУ EN ISO 14175:2008 – І3 ArHe–25	Ar/He	–	
14. Вимоги до якості зварювання / Welds quality demands		ДСТУ ISO 5817 - B		
15. Кваліфікація зварника / Welders qualification		ДСТУ EN ISO 9606-1		
16. Термооброблення/ PWHT	Швидкість підігрівання/ Heating rate, °C/год.	Температура витримки/ Soak temperature, °C	Час витримки/ Soak time, год.	Швидкість охолодження/ Cooling rate, °C/год.
	–	–	–	–
17. Примітки / Notes:				

					<i>ЗВ-п2106.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		144

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			ЗВ-п21.06.02.000 ВЗ	Установка для зварювання поздовжнього шва обичайки		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Джерело живлення Jasic MIG-500	1	
		2		Балон з сумішшю Ar/He 75/25	2	
		3		Установки для зварювання поздовжніх швів BR 2500	1	
		4		Редуктор БУД-25ДМ	2	
		5		Муфта з дротом діаметром 1,6 мм марки ER-308L	1	
		6		Притискач	1	
		7		Колона	1	
		8		Консоль	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		9		Болт анкерний М20х1,5х230 ДСТУ 24379.1-2012	8	
		10		Гайка М20х1,5 ДСТУ ISO 4032:2006	16	
		11		Шайба М20 ДСТУ ISO 7089:2008	16	

ЗВ-п21.06.02.000 ВЗ				
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата
Розроб		Помагайдо В.С		
Перев.		Прохаренко О.В		
Т. контр.				
Н. контр.		Лисак В.В		
Затв.		Квасницький В.В		
Установка для зварювання поздовжнього шва обичайки				
		Літ	Аркуш	Аркушів
			1	1
КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е. О. Патона				

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка	
				<u>Документація</u>			
A1			ЗВ-п21.06.03.000 ВЗ	Пристрій для складання і зварювання головки теплообмінника			
				<u>Складальні одиниці</u>			
		1		Шарнірний притискач ST-12130	2		
		2		Трьохкулачковий розтискний патрон SWO-3661	1		
		3		Штанзовий притиск з отворовою фіксацією	1		
		4		Опорний упор	4		
		5		Пальник для MIG зварювання MB-36 KD Welding Dragon	1		
		6		Джерело живлення Jasic MIG-500	1		
		7		Редуктор БУД-25ДМ	1		
		8		Балон з сумішшю Ar/He 75/25	1		
		9		Опорний столик	1		
		10		Центратор трудний серії ІМС	1		
				<u>Стандартні вироби</u>			
		11		Гайка М6х1,5 мм	12		
				ДСТУ ISO 4032:2006			
		12		Шайба пружинна (гровер) М6	14		
				ДСТУ ISO 7091:2006			
		13		Шайба М6	14		
				ДСТУ ISO 7089:2008			
				ЗВ-п21.06.03.000 ВЗ			
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Пристрій для складання і зварювання головки теплообмінника		
Розроб		Помагайдо В.С					
Перев.		Прохаренко О.В					
Т. контр.							
Н. контр.		Лисак В.В					
Затв.		Квасницький В.В			Літ	Аркуш	Аркушів
						1	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е. О. Патона		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			ЗВ-п21.06.04.000 ВЗ	Установка для зварювання кільцевих швів головки теплообмінника		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Позиціонер-обертач Tesla Weld ТПГ ПОЗ-300	1	
		2		Зварювальний автомат А-1406	1	
		3		Джерело живлення Jasic MIG-500	1	
		4		Редуктор БУД-25ДМ	1	
		5		Балон з сумішшю Аг/Не 75/25	1	
		6		Механізм переміщення консолі	1	
		7		Електродвигун АІР80А4	1	
		8		Зварювальна колона типу К-2	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		9		Анкерний болт М10х1,5х300 мм ДСТУ ГОСТ 24379.1-2012	8	
		10		Гайка М10х1,5 мм ДСТУ ISO 4032:2006	16	
		11		Шайба М10 ДСТУ ISO 7089:2008	16	

ЗВ-п21.06.04.000 ВЗ				
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата
Розроб		Помагайдо В.С		
Перев.		Прохаренко О.В		
Т. контр.				
Н. контр.		Лисак В.В		
Затв.		Квасницький В.В		
Пристрій для зварювання кільцевих швів головки теплообмінника				
		Літ	Аркуш	Аркушів
			1	1
КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е. О. Патона				