

РОБОТА БАКАЛАВРА

КРБ.ЗТ-79.00.00.000 ПЗ

Група ЗТ-22-1

Віктор Баранович

2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та будівництва "ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Баранович Віктор Олександрович

(підпис)

Група ЗТ-22-1

Розроблення технології складання та зварювання корпусу сепаратора

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів
“Інжиніринг зварювальних технологій”
спеціальністю G9 “Прикладна механіка”**

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

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

Інститут архітектури та будівництва Кафедра будівництва
"ІФНТУНГ-ДонНАБА"

ОПП "Інжиніринг зварювальних технологій"

Спеціальність G9 "Прикладна механіка"

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

(підпис)

" ____ " _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню кваліфікаційну роботу бакалавра студента Барановича Віктора Олександровича
1. Тема роботи Розроблення технології складання та зварювання корпусу сепаратора.

Затверджена наказом по університету № ____ від _____ 2026 р.

2. Термін здачі закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи

Технічні умови на зварювання корпусу сепаратора, креслення виробу, умови експлуатації сепаратора, матеріал виробу сталь 04X18H10.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити:

1. Загальний розділ. 1.1 Загальна характеристика зварної конструкції корпусу сепаратора, та його елементів. 1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу. 1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності. 1.4 Технічні умови на виготовлення ферм 2 Технологічний розділ. 2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування. 2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання. 2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів. 2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання. 2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування. 2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції. 2.2.1 Заготівельні операції. 2.2.2 Розробка технології складання та зварювання. 2.2.3 Технічний контроль якості та виправлення браку. 3. Конструкторський розділ. 3.1 Компонування складальних та зварювальних установок. 3.2 Розрахунок зубчатої передачі роликів ственду 3.3 Розробка плану цеху. 4. Безпека праці.

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

1. Загальний вигляд корпусу сепаратора. 2. Схема технологічного процесу виготовлення корпусу сепаратора. 3. Стенд для складання та зварювання корпусу сепаратора. 4. Установка для зварювання кільцевого шва сепаратора. 5. Стенд роликів. 6. Штовхач гідравлічний важільного типу. 7. Притискач гідравлічний. 8. План зварювальної ділянки цеху.

6. Дата видачі завдання _____

Керівник _____ Біщак Р.Т.
Завдання прийняв до виконання _____ Баранович В.О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент _____ Баранович В.О.

Керівник _____ Біщак Р.Т.

РЕФЕРАТ

Робота бакалавра складається із 10 слайдів презентації, пояснювальної записки із 62 аркушів, 9 рисунків, 8 таблиць та 29 посилань на використану літературу.

Об'єкт роботи - технологічний процес зварювання корпусу сепаратора.

Мета роботи - розроблення технології складання та зварювання корпусу сепаратора, вибір раціонального зварювального обладнання, зварювальних матеріалів та технологічної оснастки.

У випускній кваліфікаційній роботі було визначено раціональну послідовність виконання операцій, підбрано необхідне обладнання, оснащення та режими зварювання. Розроблений технологічний процес забезпечує отримання міцної, герметичної та надійної конструкції корпусу, що відповідає вимогам технічної документації та умовам експлуатації.

Ключові слова: ЗВАРЮВАННЯ, СЕПАРАТОР, КОРПУС, УСТАНОВКА, СТЕНД, ПРИТИСКАЧ.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 10 presentation slides, an explanatory note of 62 sheets, 9 figures, 8 tables and 29 references to the literature used.

The object of the work is the technological process of welding the separator housing.

The purpose of the work is to develop the technology of assembling and welding the separator housing, the selection of rational welding equipment, welding materials and technological equipment.

In the final qualification work, a rational sequence of operations was determined, the necessary equipment, equipment and welding modes were selected. The developed technological process ensures the receipt of a strong, hermetic and reliable housing structure that meets the requirements of the technical documentation and operating conditions.

Keywords: WELDING, SEPARATOR, HOUSING, INSTALLATION, STAND, PRESSURE CUTTER.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Загальний розділ.....	7
1.1 Загальна характеристика конструкції зварного корпусу сепаратора.....	7
1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу.....	8
1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності.....	9
1.4 Технічні умови на виготовлення сепаратора.....	12
1.5 Особливості базової технології виготовлення корпусу сепаратора	14
2 Технологічний розділ.....	16
2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування.....	16
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання.....	16
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів.....	18
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання.....	20
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування.....	22
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції.....	27
2.2.1 Заготівельні операції.....	27
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання.....	29
2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями.....	30

					КРБ.ЗТ-79.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Баранович В.О.			Розроблення технології складання та зварювання корпусу сепаратора	<i>Лім.</i>	<i>Арк</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Біщак Р.Т.				4	72	
<i>Реценз.</i>						ІФНТУНГ ЗТ-22-1		
<i>Н. контр.</i>		Матвієнків О.						
<i>Затверд.</i>		Андрусак А.В.						

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку.....	32
3 Конструкторський розділ.....	34
3.1 Компонування складальних та зварювальних установок.....	34
3.2 Розрахунок зубчатої передачі роликового станду.....	41
3.3 Розробка плану цеху.....	54
4 Безпека праці.....	56
Висновки.....	58
Список використаних джерел.....	59
Додатки.....	62

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		5

ВСТУП

На сьогоднішній день майже всі хімічні, паливні, нафтогазові, харчові заводи використовують сепаратори. Вони необхідні для поділу середовищ з більш важкими фракціями від легших. Нехай це буде пил у повітрі чи частинки борошна, конденсат у газі чи зола.

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається складання та зварювання корпусу сепаратора. Даний апарат необхідний для поділу газового середовища від метанолу-сирцю, тобто виведення майже готового продукту для подальшої його ректифікації, як вже готовий продукт. Також у цій випускній кваліфікованій роботі буде показано складання сепаратора для інших потреб, наприклад, у харчовій або нафтовій промисловостях. Взагалі сепарування будь-яких сумішей дуже трудомісткий процес, по-перше, так як сепаратор є посудиною, що працює під надлишковим тиском необхідно якомога точно розрахувати товщину стінки, щоб апарат залишався герметичним, по-друге складність ремонту, через вузький міжтрубний простір, а значить складність його виготовлення і подальшого будь-якого ремонту. Будь-яка посудина, що працює під тиском, входить до складу об'єкту підвищеної небезпеки, до якого потрібні особливі інструкції з техніки безпеки та експлуатації. Робочий персонал повинен знати та розуміти, що робити у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

[1]

Складністю розроблення технології зварювання даного сепаратора є агресивне середовище метанолу-сирцю, який у великих кількостях присутній у сепараторі, його шкода на організм людини носить кумулятивний характер, а отже працівник може завдати шкоди своєму здоров'ю навіть не відразу, а поступово працюючи з ним.

Метою роботи бакалавра є розроблення технології збирання та зварювання корпусу сепаратора.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		6

відбиваються об стінки циклону і стікають вниз у трубу, а чистий газ піднімається і поступає на подальшу сепарацію. Таким чином, всередині циклону утворюється два потоки спіралеподібної форми, що рухаються по траєкторії.

Основним завданням складання та виготовлення корпусу сепаратора метанолу-сирцю є: надійність, економічність, безпека експлуатації, тривалість терміну експлуатації.

1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу

Технологічність виготовлення корпусу сепаратора зварюванням характеризується сукупністю властивостей конструкції та технологічного процесу, які забезпечують простоту, економічність і надійність його виробництва [2].

Передусім, корпус сепаратора зазвичай має циліндричну або комбіновану форму з відносно простою геометрією, що позитивно впливає на технологічність. Використання стандартних обичайок, днищ і патрубків дозволяє зменшити обсяг механічної обробки та спростити складання. Мінімізація кількості зварних швів і їх уніфікація також підвищують технологічність, оскільки зменшують трудомісткість і ймовірність виникнення дефектів.

Важливою характеристикою є добра зварюваність матеріалів. Для корпусів сепараторів зазвичай застосовують вуглецеві або низьколеговані сталі, які добре піддаються зварюванню без утворення тріщин і значних залишкових напружень. Це дає можливість використовувати поширені методи зварювання, такі як ручне дугове, напівавтоматичне або автоматичне під флюсом [2].

Конструкція повинна забезпечувати зручний доступ до місць зварювання. Раціональне розташування швів (переважно у нижньому або горизонтальному положенні) сприяє підвищенню якості та продуктивності. Також, важливо

					КРБ.ЗТ-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		8

передбачити можливість застосування механізованого або автоматизованого зварювання, що значно підвищує технологічність у серійному виробництві.

Окремою характеристикою є схильність до деформацій. Технологічна конструкція повинна забезпечувати рівномірність товщин, симетричність елементів і правильну послідовність зварювання, що зменшує деформацію корпусу. За потреби застосовують прихоплення, жорсткі пристосування або термічне оброблення [2].

Також враховується контроль якості. Технологічний корпус повинен бути придатним для проведення неруйнівного контролю (ультразвукового, радіографічного, візуального), а також випробуванню на герметичність, що особливо важливо для апаратів, які працюють під тиском.

Загалом, технологічність корпусу сепаратора визначається його простою та раціональною конструкцією, доброю зварюваністю матеріалів, можливістю механізації процесів, мінімальними деформаціями та забезпеченням ефективного контролю якості. Враховуючи усе це, вважаємо, що корпус сепаратора є технологічною конструкцією.

1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності

Оскільки сепаратор служить для поділу газового середовища і метанолу-сирцю, що відноситься до 3 класу небезпечності і є не тільки особливо небезпечною легкозаймистою рідиною, але і небезпечним для життя. ГДК у сфері робочої зони 5мг/м^3 . Також метанол-сирець має кисле середовище (pH 4,4 - 4,6), тим самим корпус сепаратора необхідно виготовляти з корозійностійких матеріалів, щоб можна було експлуатувати тривалий час без необхідності ремонту [3].

За документацією, сепаратор виконаний Австрійською компанією RTZ Metals North LTD зі сталі AISI 304L із наступним хімічним складом таблиця 1.1.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		9

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі AISI 304L – ASTM A240 [2]

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Ni, %	Cr, %
0,03	0,2-1,0	<2,0	<0,045	<0,03	8,0-12,0	18,0-20,0

Дана сталь відноситься до корозійностійких нержавіючих сталей. Вирізняється високим опором міжкристалітній корозії при високих температурах (до 500 °С) та відмінною стійкістю у більшості агресивних середовищах.

За цим хімічним складом ми можемо підібрати аналогічну вітчизняну сталь. У цьому випадку нам підходить сталь 04X18H10 за ГОСТ 5632-2014 [3] з наступним хімічним складом приведеним у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад сталі 04X18H10 за ГОСТ 5632-2014 [3]

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Ni, %	Cr, %
не більше 0,04	не більше 0,8	не більше 2,0	0,03	0,02	9,0-11,0	17,0-19,0

Відповідно до ГОСТ 5632-2014 граничне відхилення щодо масових часток хімічних елементів у готовій продукції з вуглецю становить $\pm 0,01\%$. Що можна прийняти за малу похибку та застосувати цю сталь для виготовлення корпусу сепаратора. Це сталь аустенітного класу, високолегована, корозійностійка, що використовується для деталей, що працюють в азотнокислих середовищах при високих температурах. За ГОСТ 7350-77 визначаємо її механічні властивості, а саме [4]:

σ_T – межа плинності сталі при 20 °С становить 175 МПа;

σ_B – межа міцності при 20°С становить 490 МПа;

δ – відносне видовження і становить 45%.

Оскільки обладнання буде перебувати на вулиці, де можливі опади та вплив температур, рекомендується опору виготовляти з того ж матеріалу, що корпус сепаратора. Так само це полегшить зварюваність сепаратора та опори.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата			10

Днище сепаратора ми виготовимо з листового металу, оскільки днище має увігнутий вигляд, листовий метал піддамо гарячому штампуванню за ГОСТ 6533-78 [4].

Вхідна труба з газо-водяним середовищем та вихідна труба з очищеним газом мають діаметри 325 мм і виготовлені з того ж матеріалу, що і сам сепаратор, вибір розмірів здійснюємо за ГОСТ 9940-81 [4].

Труба, якою метанол-сирець виходить із сепаратора і рухається далі на технологію, виготовлена з такого ж матеріалу і має діаметр 102 мм, вибір розмірів здійснюємо за ГОСТ 9941-81 [4].

Трубні решітки, які будуть стояти у сепараторі, до яких будуть кріпитися корпус циклону і відвідна трубка, будуть виконані так само зі сталі 04X18H10 листового прокату [5], що дозволить працювати без необхідності залазити всередину і заварювати або ремонтувати пошкоджені поверхні.

Сам корпус циклону є циліндром, який можна буде зробити із листового металу шляхом вальцювання. Для цього необхідно зробити форму з листового металу.

Для сталі 04X18H10 визначаємо фазовий склад за еквівалентним вмістом хрому та нікелю за діаграмою Шеффлера.

$$Cr_{екв} = Cr + Mo + 2 \cdot Ti + 2 \cdot Al + Nb + W + 0,5 \cdot Ta + 1,5 \cdot Si; (1.2)$$

$$Ni_{екв} = Ni + 30 \cdot C + 30 \cdot N + Co + 0,5 \cdot Mn; (1.3)$$

$$Cr_{екв} = 14 + 1,5 \cdot 0,8 = 15,2\%$$

$$Ni_{екв} = 0,6 + 30 \cdot 0,08 + 0,5 \cdot 0,8 = 3,4\%$$

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		11

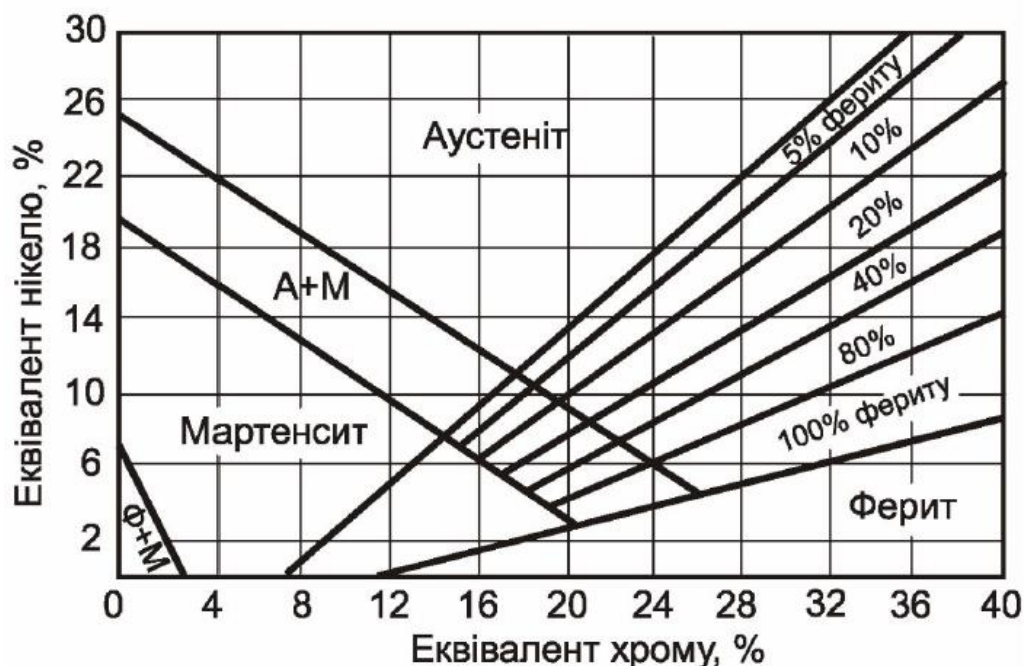


Рисунок 1.2 – Структурна діаграма Шеффлера [2]

Сталь 04X18Н10 відноситься до ферито-мартенситної групи сталей. Вона схильна до утворення тріщин і тому потребує підігріву до температури 150-250 °С та подальшого відпуску при температурі 680-700 °С.

1.4 Технічні умови на виготовлення корпусу сепаратора

Технічні умови на виготовлення зварного корпусу сепаратора – це сукупність вимог до матеріалів, конструкції, технології виготовлення, контролю якості та приймання виробу, які забезпечують його надійну і безпечну роботу.

Передусім визначаються вимоги до матеріалів. Для виготовлення корпусу застосовують вуглецеві або низьколеговані сталі з доброю зварюваністю. Матеріали повинні відповідати стандартам, мати сертифікати якості та забезпечувати необхідні механічні властивості (міцність, пластичність, ударну в'язкість) і, за потреби, корозійну стійкість. Зварювальні матеріали (електроди, дріт, флюс) повинні бути сумісними з основним металом [6].

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		12

Конструктивні вимоги передбачають відповідність кресленням і нормативній документації. Геометричні розміри, товщина стінок, форма днищ і розташування патрубків повинні відповідати проєкту. Допуски на відхилення форми (овальність, прямолінійність, співвісність) регламентуються стандартами. Конструкція має забезпечувати зручність складання та доступність зварних швів.

Вимоги до підготовки та складання включають очищення кромки від корозії, мастила та окалини, правильну обробку кромки (скоси, зазори), а також точне взаємне позиціонування елементів. Складання виконується з використанням прихоплень і технологічних пристосувань, які забезпечують фіксацію деталей та мінімізують деформації [2].

Вимоги до зварювання охоплюють вибір методу (ручне дугове, напівавтоматичне, автоматичне під флюсом), режимів зварювання та послідовності виконання швів. Зварювання повинно виконуватись атестованими зварниками відповідно до технологічних карт. Не допускаються дефекти, такі як тріщини, непровари, пори, шлакові включення понад допустимі норми.

Контроль якості є обов'язковим етапом. Він включає [2]:

- візуально-вимірювальний контроль зварних швів;
- неруйнівний контроль (ультразвуковий, радіографічний або капілярний – в залежності від вимог);
- перевірку герметичності (гідравлічні або пневматичні випробування);
- контроль геометричних параметрів.

Термічна обробка (за потреби) проводиться для зняття залишкових напружень після зварювання, особливо для товстостінних або відповідальних конструкцій.

Вимоги до захисних покриттів і обробки включають очищення поверхні, антикорозійне покриття, фарбування або інші види захисту в залежності від умов експлуатації сепаратора.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		13

Приймання виробу здійснюється після завершення всіх етапів контролю. Корпус сепаратора повинен відповідати кресленням, технічним умовам і витримувати випробування. Оформлюється комплект документації (паспорт виробу, протоколи випробувань, сертифікати матеріалів).

Загалом, технічні умови спрямовані на забезпечення високої якості зварного корпусу, його міцності, герметичності та довговічності в експлуатації.

1.5 Особливості базової технології виготовлення корпусу сепаратора

Базова технологія складання та зварювання корпусу сепаратора базується на послідовному виготовленні окремих елементів, їх складанні у вузли та остаточному зварюванні з дотриманням вимог до точності, міцності й герметичності.

На початковому етапі виконують підготовку матеріалів і заготовок. Листовий прокат розкрояють відповідно до креслень, після чого проводять вальцювання для отримання обичайок циліндричної форми. Днища (еліптичні або конічні) виготовляють штампуванням або пресуванням. Кромки деталей обробляють (скоси, зазори) та очищають від забруднень [7].

Далі переходять до виготовлення обичайок. Лист вальцюють у циліндр і виконують поздовжній шов. На виробництві застосовують напівавтоматичне зварювання, що забезпечує задовільну якість шва, оскільки спостерігається значне забруднення металу зварного виробу бризками та низьку ударну в'язкість металу шва, особливо за низьких температур. Після зварювання проводять первинний контроль і, за потреби, правлення.

Наступний етап - складання корпусу. Обичайки стикують між собою у потрібній послідовності (формування циліндричної частини), виконують кільцеві шви та фіксують їх прихопленнями. Потім приварюють днища. Для забезпечення точності використовують складальні стенди або кондуктори, які запобігають перекосам і зміщенням.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		14

Після складання виконують зварювання кільцевих швів. Зазвичай застосовують автоматичне зварювання під флюсом або напівавтоматичне в захисних газах. Шви виконують у декілька проходів із дотриманням технологічної послідовності, щоб мінімізувати залишкові напруження та деформації.

Тоді встановлюють і приварюють патрубки, штуцери, люки та інші елементи. Для цього попередньо вирізають отвори в корпусі, обробляють їх і виконують зварювання з дотриманням герметичності та міцності.

Після завершення зварювальних робіт проводять контроль якості: візуальний огляд, вимірювання геометрії, а також неруйнівний контроль зварних швів (ультразвуковий або радіографічний). Обов'язковим є випробування на герметичність - гідравлічне або пневматичне [8].

За потреби виконують термічну обробку для зняття залишкових напружень, особливо для товстостінних корпусів або при підвищених вимогах до надійності.

На завершальному етапі здійснюють очищення, антикорозійний захист і фарбування корпусу, після чого виріб передають на приймання та експлуатацію.

У цілому, базова технологія передбачає послідовний перехід від виготовлення простих елементів до зібраного корпусу з контролем якості на кожному етапі, що забезпечує надійність і довговічність сепаратора.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		15

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання

На сьогоднішній день нержавіюча сталь використовується на будь-якому хімічному виробництві, вона має низку унікальних властивостей таких як [9]:

- високі механічні властивості,
- окалиностійкість,
- жароміцність,
- стійкість до атмосферної, рідинної та газової корозії.

Головною характеристикою будь-якого процесу зварювання є спосіб зварювання. З нього починається назва всіх процесів у технічних та технологічних документах. Способи зварювання в захисних газах поділяться на дві групи в залежності від типу електрода - зварювання неплавким (вольфрамовим або вугільним) і плавким (металевим електродам). До способів зварювання неплавким електродом, відносяться ручне, механізоване, автоматичне, а плавким - тільки механізоване і автоматичне [10].

Відповідно до цього існує декілька способів зварювання даного металу.

Газове (ацетилен-кисневе) зварювання – простий та універсальний спосіб з'єднання вузлів із нержавіючої сталі. Переваги даного способу - простота виконання швів у всіх просторових положеннях, можливість зварювання тонкого металу без пропалів, задовільні механічні властивості металу шва та зварного з'єднання.

Ручне аргонодугове зварювання – широко застосовується при виготовленні відповідальних вузлів із труб та тонколистової нержавіючої сталі. У цьому зварюванні використовується неплавкий вольфрамовий електрод. Оскільки електрод не плавиться, легко підтримувати постійну довжину дуги, а

					КРБ.ЗТ-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		16

значить легше керувати зварювальною ванною. Аргонодугове зварювання знайшло широке застосування при зварюванні трубопроводів [10].

Механізоване зварювання неплавким електродом у захисних газах – застосовується для з'єднання листових конструкцій під час виконання швів, розташованих на похилій стінці, вертикальній чи горизонтальній. Скрізь, де неможливо використовувати зварювання під флюсом, через труднощі утримання флюсу, доцільно застосовувати зварювання в захисних газах, у тому числі механізоване не плавким електродом. На відміну від ручного аргонодугового зварювання, де присадку у зварювальну ванну подає сам зварювальник, при механізованому зварюванні подача присадки автоматизована [11].

Автоматичне зварювання неплавким електродом у захисних газах – широко застосовується при виготовленні серії однакових вузлів, що мають стикові та кутові з'єднання, доступні для зварювання автоматами. Там, де можна застосувати автоматичне зварювання під флюсом, застосувати автоматичне зварювання в середовищі захисного газу не економічно, через дорожнечу аргону. Найбільше застосування цей спосіб зварювання отримав при з'єднанні тонких листів металу (обичайки компенсатора, щита екранів і т.п.), де неможливо застосувати інші економічні методи, а також при з'єднанні товстостінних труб великого діаметру, що вимагають високої якості зварного шва [11].

Механізоване зварювання плавким електродом у захисних газах – застосовується переважно для кутових та таврових з'єднань листових конструкцій та стикових з'єднань товстостінних труб. При зварюванні конструкцій, де є шви, що часто перетинаються ребрами, і важко використовувати механізоване зварювання неплавким електродом через наявність мундштука з присадками, а ручне аргонодугове зварювання малопродуктивне. Як електрод використовують зварювальний дріт діаметром від 0,8-2 мм, марки відповідної до марки сталі. Для захисту від повітря використовують аргон, вуглекислий газ та їх суміші [10].

					КРБ.ЗТ-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		17

Автоматичне зварювання плавким електродом у захисних газах – знайшло застосування при серійному випуску продукції або, коли потрібна висока продуктивність однотипних вузлів, особливо при виконанні багатоваликових швів. Наявність газового захисту замість шлакового, вигідно відрізняє це зварювання від автоматичного під флюсом, після якого необхідно ретельно видаляти залишки шлакової кірки [10].

З усіх представлених видів зварювання пропонується вибрати: автоматичне зварювання плавким електродом та механізоване зварювання плавким електродом.

Цей вибір зроблений відповідно до складності виконання конструкції, а також великою товщиною металу. Автоматичне зварювання плавким електродом будемо застосовувати для зварювання сепаратора і днища, зварювальний дріт дозволить проварити його повністю, чого не домогтися автоматичним зварюванням неплавким електродом, а механізоване зварювання неплавким електродом не дасть нам такої високої продуктивності. Трубні ґрати, корпус циклону, вихідні трубки і труби пропонується зварювати механізованим зварюванням плавким електродом у середовищі захисного газу, що дозволить прискорити процес збирання сепаратора без необхідності чекати закінчення роботи автомата. Зварювальний дріт буде подаватися автоматично [10].

Перед початком роботи нам необхідно розрахувати параметри режиму зварювання, підібрати обладнання та матеріал присадки.

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

Вибір зварювального дроту визначається маркою, сталі, що зварюється, способом зварювання та умовами, в яких працює зварна конструкція. Дріт поставляється в бухтах. Хімічний склад деяких стандартних дротів для зварювання наведено в таблиці 2.1. Дріт повинен зберігатися в чистому приміщенні в умовах, що унеможливають забруднення його поверхні мастилом та наждачним пилом. Перед заправленням в касети при необхідності її

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		18

очищають від бруду та мастила. Забруднений дріт погіршує провідність електричного струму і призводить до пористості шва.

Так як дріт за складом повинен відповідати складу основного металу, виберемо дріт Св-04Х19Н9, але так як будемо виконувати автоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу необхідні розкислювачі такі, як марганець і кремній. Тому зварювальний дріт рекомендується замінити на Св-04Х19Н9С2, дріт для зварювання механізованим способом можна залишити 04Х19Н9 [12].

Таблиця 2.1 - Хімічний склад зварювальних дротів за ГОСТ 2246-70 [12]

Марка дроту	Хімічний склад, %						
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Fe
					не більше		
Св-10Х13	0,08-0,15	0,3-0,7	0,3-0,7	12-14	0,6	0,03	Осн.
Св-10Х17Т	0,12	0,8	0,7	16-18	0,6	0,03	Осн.
Св-02Х19Н9	0,04	0,5-1,0	1,0-2,0	18-20	0,018	0,018	Осн.
Св-04Х19Н9	0,06	0,5-1,0	1,0-2,0	18-20	0,018	0,018	Осн.
Св-07Х25Н13	0,09	0,5-1,0	1,0-2,0	23-26	0,012	0,018	Осн.
Св-08Х20Н19Г7Т	0,1	0,5-1,0	6,0-8,0	2,0	0,018	0,018	Осн.

Для зварювання нержавіючих сталей як захисні гази використовують аргон, вуглекислий газ та їх суміші. Аргон та гелій – інертні гази. Вони не горять і невибухонебезпечні, не утворюють з іншими елементами хімічних сполук і реакцій та не розчиняються в металах.

Аргон важчий за повітря майже вдвічі, а гелій легший за аргон майже вдесятеро. Аргон отримують з повітря, гелій із природного газу, вуглекислоту із перероблених відходів. Аргон має кращі захисні властивості через свою питому вагу, завдяки якому він не розсіюється, а залишається у зварювальній ванні, дуга в аргоні характеризується високою стабільністю, ніж у гелії. Але в гелії дуга має

більшу проплавлення здатність внаслідок підвищення напруги. Для зварювання нержавіючої сталі плавким електродом, використовують, як чистий аргон, так і його суміші з киснем і вуглекислим газом.

В якості флюсу будемо застосовувати флюс марки АН-60. Хімічний склад флюсу АН-60 приведений у таблиці 2.2 [13].

Таблиця 2.2 - Хімічний склад зварювального флюсу АН-60

Хімічні елементи	SiO ₂	Mg O	CaF ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O + Na ₂ O	P	S
Вміст, %	42-46	6,5-10,5	5-9	9-13	0,9	36-41	13-18	1-2	0,0-5	0,0-5

Для зварювання корпусу сепаратора товщиною 20 мм оберемо тип з'єднання С14, зі скосом двох кромek, одностороннім швом, але при такій товщині металу ми можемо зварити тільки у вуглекислоті плавким електродом. Для зварювання внутрішньої частини сепаратора, а саме вихідних труб, корпусу циклону, нижньої та верхньої трубних решіток, вхідні та вихідні труби пропонується зварювати механізованим зварюванням плавким електродом у чистому аргоні [13].

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Режим автоматичного і механізованого зварювання плавким електродом, в захисному газі характеризуються діаметром дроту, напругою на дузі, швидкістю подачі дроту і силою струму, а також витратою захисного газу. У цьому випадку дріт будемо підбирати також відповідно до основного металу. Так як механізоване зварювання ми будемо використовувати для зварювання труб, обв'язування сепаратора і внутрішньої частини, тому пропонується вибрати такий діаметр електрода, щоб задовольняти всі можливі зварні з'єднання. Незалежно від товщини металу застосовуватимемо присадний дріт діаметром 2 мм. Дріт діаметром більше 3 мм застосовують дуже рідко, тому що для його розплавлення потрібна велика сила струму, ванна швидко збільшується у

розмірах, метал перегрівається і гірше формується. Матеріал всіх елементів однаковий і виготовлений зі сталі 04X18H10, тому і зварювальний дріт ми вибираємо з і це буде 04X19H9. Величину струму, швидкість зварювання, витрату газу вибиратимемо для кожного вузла окремо [14].

Автоматичним способом зварюються гнуті листи металу перетворюючи їх на корпус сепаратора. У сепараторі є один тип з'єднання, який виконуватимемо автоматичним зварюванням, використовуючи дріт Св-04X19H9С2, діаметром 8 мм і 4 мм.

Знаючи товщину зварюваних матеріалів, товщину плакувального шару, керуючись довідниковими даними обираємо зварне з'єднання С14 з х-подібним розробленням кромки.

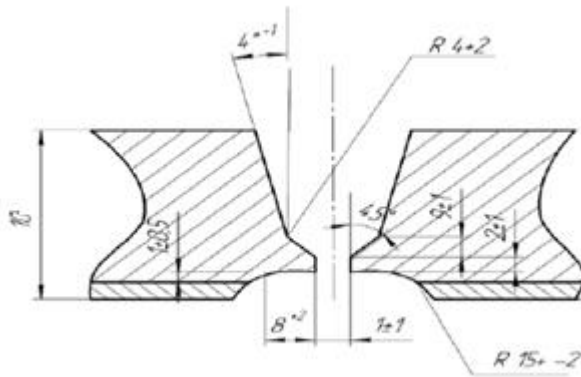


Рисунок 2.1 – Зварне з'єднання С14

Діаметр електродного дроту обираємо в залежності від товщини зварюваного матеріалу (таб. 2.3) [15].

Таблиця 2.3 – Залежність діаметру дроту від товщини зварюваного матеріалу

Товщина металу (S), мм	0,8-2,0	3,0-6,0	8,0-14,0	16,0-20,0	22,0-42,0
Діаметр дроту ($d_{\text{ед}}$), мм	0,8-1,2	1,2-1,6	1,2-2,0	1,4-3,0	1,6-4,0

Вибрані параметри режимів зварювання вносимо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Параметри режимів зварювання

Параметри	Тип з'єднання
	C14
Сила зварювального струму, А	650
Напруга на дузі, В	32
Швидкість зварювання, м/год	23
Швидкість подачі електродного дроту, м/год	103
Діаметр електродного дроту, мм	4
Витрати флюсу, кг/год	24,3

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування

При виборі конструктивної схеми складального чи зварювального обладнання необхідно передбачити можливість механізації чи автоматизації зварювальних операцій; оперативність та надійність базування та закріплення деталей або виробу; зручність виконання складальних та зварювальних операцій.

Для виконання коротких, орієнтованих у різних просторових положеннях зварних швів будемо використовувати зварювальний напівавтомат Fronius TransSteel 3000 C PULSE (рис. 2.1) [16].



Рисунок 2.1 - Зварювальний напіваавтомат Fronius TransSteel 3000 C PULSE

Технічні характеристики зварювального напіваавтомата Fronius TransSteel 3000 C PULSE [17]:

Напруга мережі	380 / 400V
допуск сетевого напруги	-10 / +15%
Зварювальний струм мінімальний	10 A
Зварювальний струм максимальний	300 A
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	300A / 40%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	280A / 60%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	240A / 100%
Діапазон робочої напруги Мінімальний	14,5 V
Напруга холостого ходу	59 V
Клас захисту	IP23

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		23

Для зварювання зовнішніх і внутрішніх, повздовжніх та кільцевих стиків обичайок сепаратора ми вибираємо зварювальний автомат типу А1416.

Зварювальний автомат типу А-1416 призначений для автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу. Даний автомат широко застосовується у важкому машинобудуванні, суднобудуванні, при виготовленні резервуарів, труб та інших металоконструкцій [17].

Автомат забезпечує високу продуктивність і стабільну якість зварного шва завдяки механізації основних процесів: подачі електродного дроту, переміщення зварювальної головки та подачі флюсу в зону горіння дуги.

До складу автомата входять: джерело живлення, зварювальна головка, механізм переміщення, апаратура керування, а також пристрої для подачі і збору флюсу.

Зварювальна головка є основним робочим вузлом автомата, який забезпечує безпосереднє виконання процесу зварювання. Вона складається з наступних основних елементів [17]:

- механізму подачі електродного дроту, що забезпечує безперервну та регульовану подачу дроту в зону зварювання;
- касети з електродним дротом, оснащеної гальмівним пристроєм;
- струмопідвідного мундштука, через який здійснюється підведення зварювального струму до електрода;
- механізму вертикального переміщення для регулювання вильоту електроду;
- механізму поперечного переміщення для точного наведення електрода на шов;
- бункера для флюсу та системи його подачі;
- приводу переміщення головки вздовж зварювального шва.

Конструкція головки дозволяє регулювати основні параметри процесу зварювання, що забезпечує гнучкість у роботі та можливість адаптації до різних умов.

Під час роботи автомата електродний дріт безперервно подається в зону зварювання, де між ним і виробом виникає електрична дуга. Зона горіння дуги

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		24

покривається шаром флюсу, який захищає розплавлений метал від впливу атмосфери.

У процесі зварювання головка автоматично переміщується вздовж шва з заданою швидкістю. Розплавлений метал електрода і основного матеріалу утворює зварювальну ванну, яка після охолодження формує міцне з'єднання [18].

Регулювання швидкості подачі дроту та швидкості переміщення дозволяє забезпечити необхідні геометричні параметри та якість зварного шва.

До переваг автомата А-1416 слід віднести високу продуктивність, стабільну якість зварних з'єднань та зниження впливу людського фактора.

Недоліками є значні габарити обладнання, обмежена маневреність та необхідність використання спеціальних направляючих для переміщення [19].

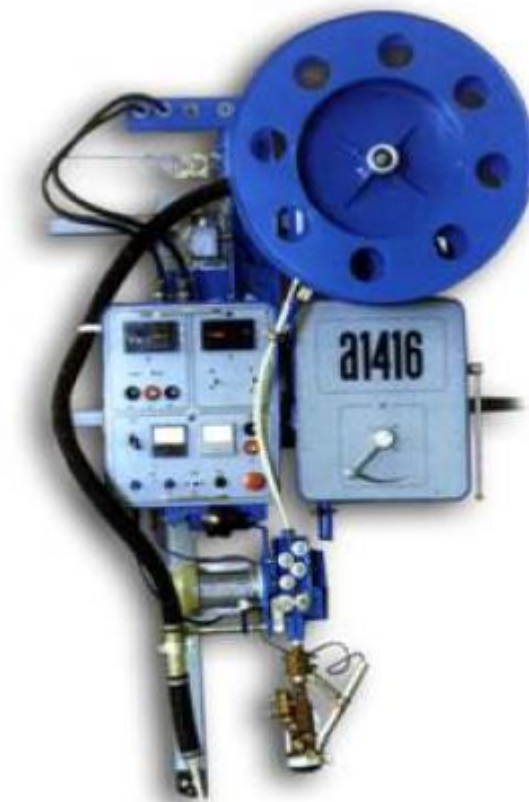


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд зварювального автомату А1416

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика зварювального автомата А1416 [19]:

Найменування параметру		Значення
Номінальна сила зварювального струму, А		500-1000
Захист зони зварювання		Флюс
Виконання		Самохідний
Електроодний дріт	Діаметр, мм	2,0-5,0
	Швидкість подачі, м/г	47-509
Спосіб регулювання швидкості подачі / зварювання		Плавне / Плавне
Швидкість зварювання, м/г		12-120
Габаритні розміри автомата, мм		960x860x1850
Маса, кг		295

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика зварювального випрямляча ВДУ1202

Найменування параметру		Значення
Первинна напруга, В		380
Номінальна потужність, кВ·А		90
Номінальний зварювальний струм, А		1250
Номінальний режим роботи ПВ, %		100
Номінальна робоча напруга, В		66
Напруга холостого ходу, В, не більше		90
Межа регулювання напруги, В		26-56
Межа регулювання		200-1250
ККД, %		79
Маса, кг		550

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції

2.2.1 Заготівельні операції

Виготовлення корпусу сепаратора зварюванням включає комплекс заготівельних операцій, які забезпечують підготовку деталей до подальшого складання та зварювання. Від якості виконання цих операцій значною мірою залежить точність геометричних параметрів виробу та якість зварних з'єднань.

Вибір та підготовка матеріалу

Для виготовлення корпусу сепаратора, як правило, використовують дуплексну сталь. Матеріал повинен відповідати вимогам стандартів щодо механічних властивостей, зварюваності та корозійної стійкості.

Перед обробкою метал піддається вхідному контролю: перевіряється наявність дефектів (тріщин, розшарувань, корозії), а також відповідність товщині та марці сталі [20].

Розмічування заготовок

Розмічання полягає у нанесенні на поверхню металу контурів майбутніх деталей відповідно до креслень. Воно виконується за допомогою шаблонів, лінійок, рулеток, розмічальних циркулів або автоматизованих систем.

Точність розмічання визначає правильність подальших операцій і мінімізацію припусків на обробку.

Різання металу

Розкрій листового матеріалу здійснюється різними способами [20]:

- газокисневим різанням;
- плазмовим різанням;
- механічним різанням (гільйотинні ножиці);
- лазерним різанням (для підвищеної точності).

Вибір способу залежить від товщини металу, вимог до точності та економічної доцільності.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		27

Після різання кромки заготовок очищають від шлаку, окалини та задирок.

Правлення та підготовка заготовок

У процесі різання або транспортування заготовки можуть деформуватися. Для усунення викривлень застосовують правку на пресах або спеціальних правильних машинах.

Також здійснюється очищення поверхні від забруднень, мастил, іржі, що є необхідним для забезпечення якісного зварювання.

Обробка кромок

Для отримання якісного зварного шва виконують підготовку кромок:

- зняття фасок (V-, X-, U-подібних);
- механічна обробка або газове розроблення кромок;
- забезпечення необхідного зазору між деталями.

Форма та параметри обробки кромок визначаються товщиною металу та типом зварного з'єднання.

Гнуття та формоутворення

Оскільки корпус сепаратора має циліндричну або складну форму, листові заготовки піддаються гнуттю на вальцях або пресах. У результаті отримують обичайки, днища або інші елементи корпусу.

Точність формоутворення є важливою для подальшого складання та мінімізації напружень при зварюванні.

Контроль якості заготовок

Після виконання заготівельних операцій здійснюється контроль [20]:

- геометричних розмірів;
- якості поверхні та кромок;
- відповідності кресленням.

У разі виявлення відхилень заготовки направляються на доопрацювання або бракуються.

Заготівельні операції є важливим етапом у технологічному процесі виготовлення корпусу сепаратора. Їх правильне виконання забезпечує точність

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		28

складання, зменшує дефекти зварювання та підвищує надійність готового виробу.

2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

Після підготовчих операцій, коли всі заготовки вирізані та кромки розроблені під потрібний кут, виконуємо почергове складання та зварювання обичайок в один загальний виріб, але перед цим необхідно вжити заходів щодо безпечної та безаварійної роботи. Усі місця зварювальника повинні бути обладнані витяжною вентиляцією, особливо, там де використовується вуглекислий газ, так само необхідно забезпечити захист персоналу від іскор, випромінювання та шкідливих газів. Зварювання необхідно виконувати від країв до центру, не затримуючись на одній ділянці, рівномірно прогриваючи увесь метал [21].

Складання починається з малих вузлів, для цього необхідно спочатку за допомогою механізованого зварювання прихопити поздовжнім швом дві обичайки, використовуючи обрані режими зварювання. Перед зварюванням обичайок встановлюють всередині корпусу дві трубні дошки. Після цього проводиться механізоване зварювання вихідних трубок до нижньої та верхньої трубних решіток, відповідно, використовуючи дані про режими зварювання. Головне зробити правильне встановлення елементів відносно сторони трубної решітки. Так як трубні решітки мають скіс кромки, перед зварюванням елементів необхідно встановити нижню трубну решітку скосом кромки вниз, а верхню трубну решітку скосом кромки верх і приварити всі елементи. Далі після зварювання обичок необхідно зробити отвір діаметром 18 мм згідно з ГОСТ 885-77 під обв'язування сепаратора. Після цього всередині обичайки забирається вся стружка, бруд і продукти виробництва. Встановлюється спочатку нижня трубна решітка, таким чином, щоб початок трубної решітки було на рівні отвору діаметром 301 мм, яке ми попередньо вирізали. Скіс кромки дозволить якісно проварити шов, використовуючи дані режиму зварювання. Встановлення верхньої трубної решітки разом із

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		29

вихідними трубками виконуємо з іншого кінця обичайки, приварюємо на відстані 400 мм від нижньої трубної решітки. Попередньо centruємо їх одну відносно іншої таким чином, щоб вихідні трубки вільно заходили в корпус циклону. Зварювання проводимо використовуючи дані режиму зварювання. Зварювання корпусу сепаратора в одне ціле буде проводитися на зварювальному автоматі A1416 у 5 етапів: встановлення нижньої обичайки, встановлення верхньої обичайки з умовою повороту відносно прихватки разом стиків двох обичайок. Виконують зварювання двох обичайок в одну ємність та приварювання двох днищ. На цьому зварювання корпусу сепаратора закінчено. Інші зварювальні роботи простіше виконати на місці встановлення сепаратора, щоб полегшити його транспортування і нічого не пошкодити. Труби, патрубки, кронштейни кріплення, фланці зварюватимуться з корпусом сепаратора напівавтоматичним зварюванням за попередньо розрахованими або обраними режимами зварювання [21].

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями

У процесі виготовлення корпусу сепаратора зварюванням виникають залишкові напруження та деформації, які обумовлені нерівномірним нагріванням і охолодженням металу. Це може призводити до викривлення конструкції, появи тріщин та зниження експлуатаційної надійності виробу. Тому важливим є застосування комплексу технологічних заходів для їх зменшення [22].

Раціональне конструювання та підготовка

На етапі проектування та підготовки виробництва необхідно:

- забезпечити симетричність конструкції корпусу;
- мінімізувати кількість зварних швів;
- передбачити оптимальне розташування швів;
- застосовувати раціональні типи з'єднань та форми кромки.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		30

Це дозволяє знизити концентрацію напружень і забезпечити рівномірний розподіл теплових деформацій.

Правильна послідовність зварювання

Важливим фактором є вибір раціональної послідовності виконання зварних швів:

- зварювання виконують від середини до країв;
- застосовують симетричне виконання швів;
- використовують зворотно-ступінчастий метод;
- чергують ділянки зварювання для зменшення локального перегріву.

Такі методи сприяють зменшенню викривлень і деформації конструкції.

Жорстке закріплення та використання пристроїв

Для запобігання деформаціям застосовують [23]:

- складально-зварювальні пристрої;
- прихоплення перед основним зварюванням;
- жорстке закріплення деталей у потрібному положенні.

Однак надмірне закріплення може призвести до накопичення внутрішніх напружень, тому необхідно дотримуватись оптимального балансу.

Регулювання режимів зварювання

Зменшення тепловкладення досягається шляхом:

- вибору оптимального зварювального струму та напруги;
- зменшення швидкості нагрівання;
- застосування багат шарових швів замість одношарових;
- використання автоматичного зварювання (наприклад, під флюсом).

Це дозволяє контролювати температурне поле та знижувати рівень залишкових напружень.

Попередній та супутній підігрів

Попередній підігрів деталей перед зварюванням:

- зменшує температурні градієнти;

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		31

- знижує ризик утворення тріщин;
- сприяє більш рівномірному охолодженню.

У деяких випадках застосовується супутній підігрів під час зварювання.

Термічна обробка після зварювання

Для зняття залишкових напружень застосовують:

- відпал;
- нормалізацію;
- високотемпературний відпуск.

Термічна обробка забезпечує релаксацію напружень і покращує структуру металу.

Механічні методи виправлення

У разі виникнення деформацій застосовують:

- холодне або гаряче правлення;
- локальний нагрів (термічне правлення);
- механічне вирівнювання.

Ці методи дозволяють відновити геометричні параметри корпусу.

Контроль якості

Для своєчасного виявлення дефектів і деформацій проводиться:

- візуальний та вимірювальний контроль;
- контроль геометрії виробу;
- неруйнівні методи контролю (ультразвуковий, радіографічний).

Таким чином, застосування комплексу технологічних, конструктивних та організаційних заходів дозволяє значно зменшити зварювальні напруження та деформації при виготовленні корпусу сепаратора. Це забезпечує високу якість зварних з'єднань, точність геометричних параметрів та довговічність виробу.

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку

Відповідно до, усі зварні з'єднання необхідно перевірити методами неруйнівного контролю. Насамперед необхідно перевірити всі зварні з'єднання візуальним та вимірювальним контролем. Усі з'єднання стикових та кутових

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		32

швів перевіряються на наявність: тріщин; свищей та пористості зовнішньої поверхні шва; підрізів; напливів; пропалів; незаплавлених кратерів; непрямолінійність елементів, що з'єднуються; невідповідність форми та розмірів швів вимогам технічної документації [24]

Перед ВІК поверхню зварного шва необхідно зачистити, а також поверхні прилеглого до нього металу на відстань 20 мм в обидва боки. Контролю піддаються 100% усіх зварних швів. ВІК виконують за допомогою таких інструментів, як: УШС-3; УШС-4; лупи; оптичних приладів із збільшенням до 10 разів; ліхтарика; лінійки.

Зовнішні дефекти такі як тріщини, незаплавлені кратери, напливи, пропали, свищі, підрізи – не допускаються.

Оскільки сепаратор є посудиною, яка працює під тиском. Основна увага приділятиметься зварним швам корпусу сепаратора. Для цього призначимо на поздовжні зварні з'єднання обичайок, а також на кільцеві зварні шви капілярний контроль, який проводитимемо кольоровим розчином. Це необхідно зробити, щоб виявити дефекти та непровари у шві [25].

Для зварного шва, що з'єднує обичайки з днищем сепаратора, ми оберемо ультразвуковий метод неруйнівного контролю. Так як сепаратор буде повністю закритий, пропонується вибрати ехо-тіньовий спосіб контролю. Що дозволить це зробити із зовнішнього боку. Цей метод дозволить виявити внутрішні дефекти зварного шва [25].

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		33

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Компонування складальних та зварювальних установок

Стенд для складання та зварювання сепаратора призначений для встановлення, центрування, фіксації та подальшого зварювання циліндричного корпусу виробу з забезпеченням його правильного геометричного положення.

Перед початком роботи заготовки сепаратора встановлюються на роликову частину стенда або на базові опори. За допомогою регулювальних механізмів виконується центрування корпусу відносно осі обертання, після чого деталі виставляються у потрібне положення для складання (стикування кромки, встановлення обичайок або елементів конструкції) [21].

Далі вмикається система притискачів (гідравлічних або механічних), які фіксують деталі та забезпечують щільне прилягання кромки без зазорів і зміщень. Це гарантує правильну геометрію стику під час зварювання.

Після складання запускається привід обертання стенда. Сепаратор починає рівномірно обертатися навколо своєї осі. Одночасно зварювальна головка підводиться до зони шва. У процесі обертання виробу виконується автоматичне або напівавтоматичне зварювання, при якому дуга формує однорідний кільцевий або поздовжній шов.

Усі параметри процесу - швидкість обертання, струм, подача дроту та захисного газу - регулюються системою керування, що забезпечує стабільну якість зварного з'єднання.

Після завершення зварювання обертання зупиняється, притискачі відводяться, і готовий сепаратор знімається зі стенду або переміщується на наступну операцію (наприклад, контроль шва чи додаткову обробку) [22].

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		34

нерухомою. Подається зварювальний дріт, захисний газ (або флюс - залежно від процесу), і запалюється дуга.

У процесі роботи:

- сепаратор обертається;
- зварювальна дуга формує кільцевий шов по всьому периметру;
- параметри (швидкість обертання, подача дроту, струм) підтримуються сталими.

Це забезпечує рівномірне проплавлення і стабільну якість шва по всьому колу.

Після завершення одного повного оберту (або заданої кількості проходів) зварювання зупиняється, подача дроту і газу припиняється, а обертання вимикається. Далі гідравлічні притискачі відводяться, і виріб може бути знятий або переміщений для наступної операції.

Таким чином, установка забезпечує автоматизоване виконання кільцевого шва з високою точністю, повторюваністю та якістю.

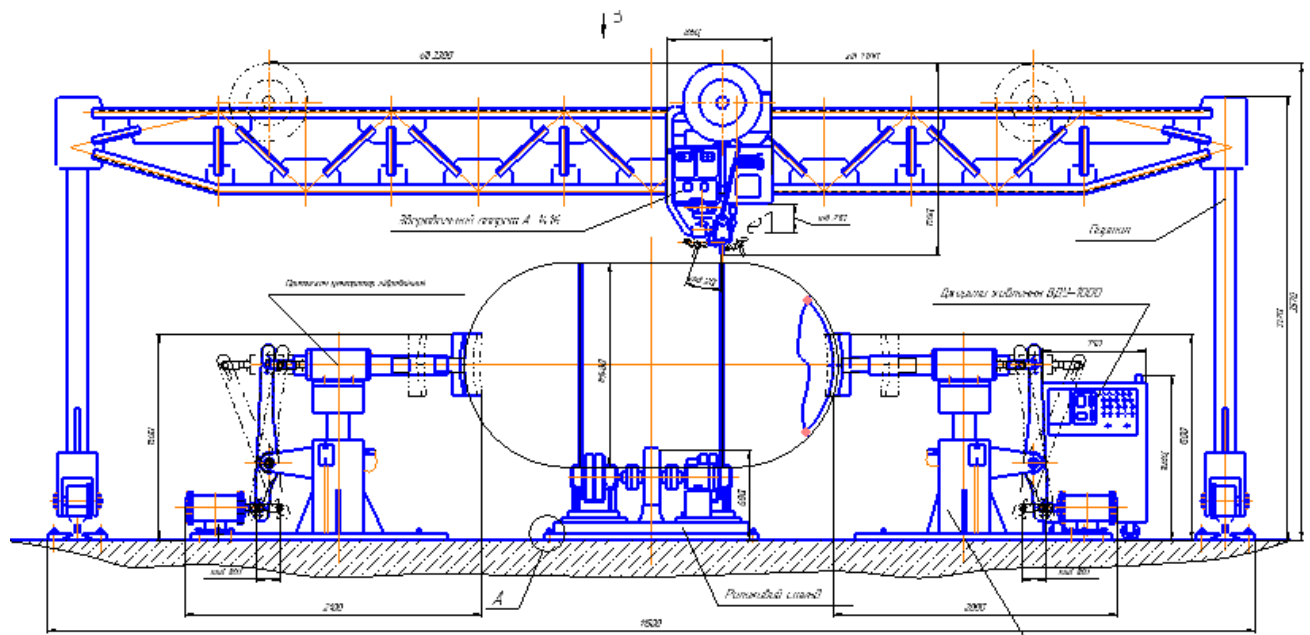


Рисунок 3.2 - Установка для зварювання кільцевого шва сепаратора V-1201

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ				Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата					36

Роликовий стенд для зварювання циліндричного сепаратора має лінійне компонування, при якому всі основні вузли розташовані вздовж осі виробу. Основу стенда становить жорстка рама (станина), на якій встановлюються роликові опори, привід обертання та допоміжні елементи.

Головними елементами є роликові опори (ложементи), які поділяються на приводні та холості. На роликах розміщується корпус сепаратора, який під час роботи обертається навколо своєї осі. Відстань між опорами може регулюватися залежно від довжини виробу, а положення роликів - під діаметр сепаратора.

Привід обертання зазвичай розташований на одній із опор і включає електродвигун, редуктор та передавальний механізм. Він забезпечує плавне обертання виробу з необхідною швидкістю для якісного виконання зварного шва [21].

Над або збоку від сепаратора розміщується зварювальний вузол (головка або пальник), який може бути нерухомим, тоді як виріб обертається, або переміщуватись уздовж осі для виконання довгих швів.

Для довгих або тонкостінних корпусів передбачаються додаткові підтримуючі роликові опори, що запобігають прогину та забезпечують стабільність обертання. Також у склад стенду входить система керування, яка дозволяє регулювати швидкість обертання, здійснювати пуск, зупинку та реверс.

Таким чином, компонування стенду забезпечує надійне розміщення сепаратора, його рівномірне обертання та створення оптимальних умов для виконання зварювальних робіт.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		37

При подачі робочої рідини в гідроциліндр шток висувається і діє на важіль, який обертається навколо шарніра. Внаслідок цього притискний елемент (башмак або ролик) підводиться до поверхні корпусу сепаратора. Після контакту подальший рух штока викликає різке збільшення притискного зусилля завдяки вигідному плечу важеля. У такому положенні корпус надійно затискається і утримується нерухомо відносно роликів під час зварювання.

Після завершення зварювального процесу робоча рідина подається у зворотну порожнину гідроциліндра, шток втягується, важіль повертається у вихідне положення і притискний елемент звільняє корпус [22].

Таким чином, штовхач забезпечує швидке підведення притиску, значне зусилля затискання та стабільну фіксацію виробу без його пошкодження.

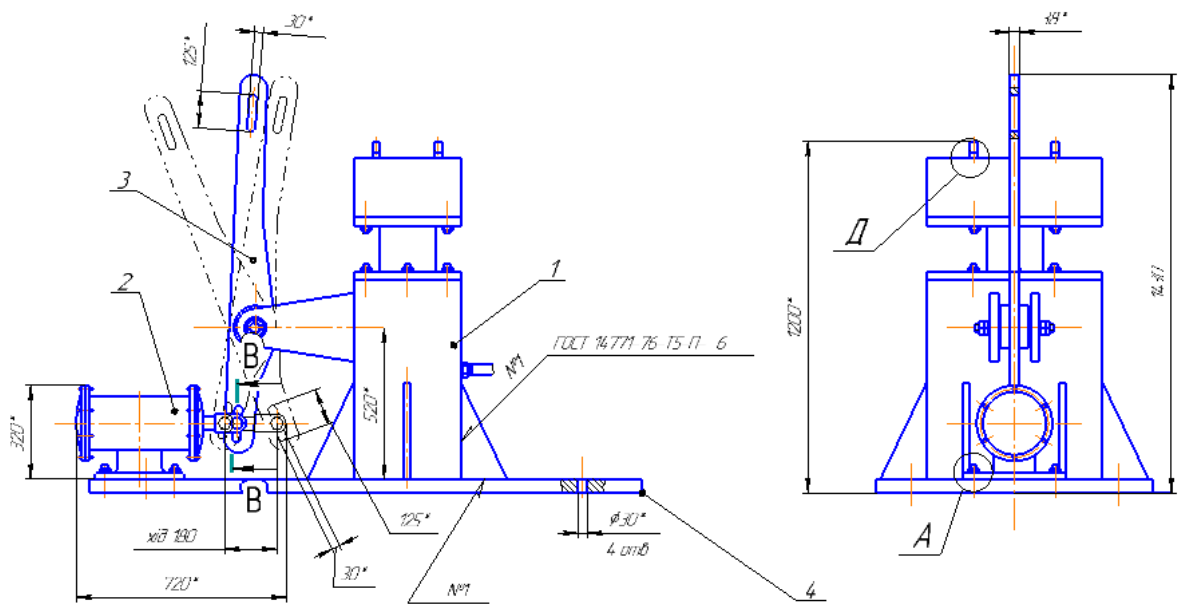


Рисунок 3.4 - Штовхач гідравлічний важільного типу

Гідравлічний притискач призначений для фіксації заготовки або виробу (зокрема корпусу сепаратора) у необхідному положенні під час виконання технологічних операцій, таких як зварювання. Його робота базується на використанні тиску робочої рідини для створення притискного зусилля.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ			Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата			39	

3.2 Розрахунок зубчатої передачі роликового стенду

Проведемо розрахунок циліндричної зубчатої передачі, яка входить в зачеплення з шестернею візка.

Потужність на ведучому валу $P_1=1\text{кВт}$, при його кутовій швидкості $\omega_1=100\text{рад/с}$; передаточне число передачі $u=1,42$; режим навантаження (СН) середній нормальний; можливі короткочасні перевантаження до 150 від середнього; строк служби передачі $h=20000$ год.

Номінальний обертовий момент на ведучому валу [7]:

$$T_1 = T_{1Н} = T_{1F} = \frac{P_1}{\omega_1}, \quad (3.1)$$

$$\frac{P_1}{\omega_1} = 1 \times \frac{10^3}{100} = 10 \text{Н} \times \text{м}.$$

При короткочасному перевантаженні до 150% максимальний обертовий момент на ведучому валу [7]:

$$T_{1\text{max}} = 2 \times T_1, \quad (3.2)$$

$$T_{1\text{max}} = 2 \times 10 = 20 \text{Н} \times \text{м}.$$

Кутова швидкість веденого вала [7]:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u}, \quad (3.3)$$

$$\omega_2 = \frac{100}{1,42} = 70,422 \text{рад / сек}.$$

Сумарне число циклів навантаження зубців шестерні та колеса за строк служби передачі [7]:

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		41

$$N_{\Sigma 1} = \frac{1800 \times \omega_1 \times h}{\pi}, \quad (3.4)$$

$$N_{\Sigma 1} = \frac{1800 \times 100 \times 20000}{3,14} = 11,46 \times 10^8.$$

$$N_{\Sigma 2} = \frac{1800 \times \omega_2 \times h}{\pi}, \quad (3.5)$$

$$N_{\Sigma 2} = \frac{1800 \times 70,422 \times 20000}{3,14} = 8,07 \times 10^8$$

Еквівалентні числа циклів навантаження зубців шестерні та колеса для розрахунку на контактну втому N_{HE} і для розрахунків на втому при згині N_{HF} і для розрахунків на втому при згині N_{FE} із коефіцієнтами інтенсивності $K_{HE}=0,18$ і $K_{FE}=0,07$ (для режиму навантаження СН) [7]:

$$N_{HE1} = K_{HE} \times N_{\Sigma 1}; \quad (3.6)$$

$$N_{HE1} = 0,18 \times 11,46 \times 10^8 = 2,12 \times 10^8;$$

$$N_{HE2} = K_{HE} \times N_{\Sigma 2}; \quad (3.7)$$

$$N_{HE1} = 0,18 \times 8,07 \times 10^8 = 1,45 \times 10^8;$$

$$N_{FE1} = K_{FE} \times N_{\Sigma 1}; \quad (3.8)$$

$$N_{FE1} = 0,7 \times 11,46 \times 10^8 = 8,25 \times 10^7;$$

$$N_{FE2} = K_{FE} \times N_{\Sigma 2}; \quad (3.9)$$

$$N_{FE2} = 0,7 \times 8,07 \times 10^8 = 5,6 \times 10^8.$$

Для виготовлення шестерні та колеса вибираємо леговану сталь 45 із термообробкою поліпшення [7], для шестерні твердість поверхні зубців $H_1=269...302$ (найбільш ймовірна твердість $H_1=280\text{HB}$), $\sigma_{B1}=890\text{МПа}$,

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		42

$\sigma_{T1}=650\text{МПа}$ при діаметрі заготовки до 125 мм, для колеса твердість поверхні зубців $H_2=235\dots262$ (найбільш ймовірна твердість $H_2=245\text{НВ}$), $\sigma_{B2}=780\text{МПа}$, $\sigma_{T2}=540\text{МПа}$ при діаметрі заготовки до 80 мм.

Допустимі контактні напруження. Границі контактної витривалості зубців шестерні та колеса будуть такими:

$$\sigma_{H_{lim}b1} = 2 \times H_1 + 70; \quad (3.10)$$

$$\sigma_{H_{lim}b1} = 2 \times 280 + 70 = 630\text{МПа};$$

$$\sigma_{H_{lim}b2} = 2 \times H_2 + 70; \quad (3.11)$$

$$\sigma_{H_{lim}b2} = 2 \times 245 + 70 = 560\text{МПа}.$$

Базу випробувань для матеріалу шестерні та колеса визначаємо за формулою [7]:

$$N_{H01} = 30 \times H_1^{2,4}; \quad (3.12)$$

$$N_{H01} = 30 \times 280^{2,4} = 2,24 \times 10^7;$$

$$N_{H02} = 30 \times H_2^{2,4}; \quad (3.13)$$

$$N_{H02} = 30 \times 245^{2,4} = 1,63 \times 10^7.$$

Якщо $N_{H01} < N_{HE1}$ і $N_{H02} < N_{HE2}$, то коефіцієнт довговічності для зубців шестерні та колеса $K_{HL}=1$.

Допустимі контактні напруження для зубців шестерні та колеса при коефіцієнті $Z_R=1$ (шорсткість поверхонь зубців $R_a=1,25\dots0,63$) та коефіцієнті запасу $s_H=1,1$ знаходимо за формулою [7]:

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		43

$$[\sigma]_{H1} = \frac{\sigma_{Hlim b1} \times Z_R \times K_{HL}}{S_H}; \quad (3.14)$$

$$[\sigma]_{H1} = \frac{630 \times 1 \times 1}{1,1} = 572 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{H2} = \frac{\sigma_{Hlim b2} \times Z_R \times K_{HL}}{S_H}; \quad (3.15)$$

$$[\sigma]_{H1} = \frac{560 \times 1 \times 1}{1,1} = 509 \text{ МПа};$$

Для зубців передачі розрахункове допустиме контактне напруження визначаємо за формулою [7]:

$$[\sigma]_H = 0,45 \times ([\sigma]_{H1} + [\sigma]_{H2}); \quad (3.16)$$

$$[\sigma]_H = 0,45 \times (572 + 509) = 486 \text{ МПа}.$$

Допустиме граничне контактне напруження:

$$[\sigma]_{Hmax} = 2,8 \times \sigma_{T2}; \quad (3.17)$$

$$[\sigma]_{Hmax} = 2,8 \times 540 = 1512 \text{ МПа}.$$

Допустимі напруження на згин. Границі витривалості зубців при згині для бази випробувань $N_{FO} = 4 \times 10^6$ [7]:

$$\sigma_{Hlim b1} = 1,8 \times H_1; \quad (3.18)$$

$$\sigma_{Hlim b1} = 1,8 \times 280 = 501 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{Hlim b2} = 1,8 \times H_2; \quad (3.19)$$

$$\sigma_{Hlim b2} = 1,8 \times 245 = 441 \text{ МПа}.$$

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		44

Оскільки $N_{F0} < N_{FE1}$ і $N_{F0} < N_{FE2}$ то коефіцієнт довговічності для зубців шестерні та колеса $K_{FL}=1$.

Допустиме напруження на згин для зубців шестерні та колеса при коефіцієнті $K_{Fc}=1$ і коефіцієнті запасу $s_F=2,2$ визначаємо за формулою [7]:

$$[\sigma]_{F1} = \frac{\sigma_{Flim b1} \times K_{Fc} \times K_{FL}}{s_F}; \quad (3.20)$$

$$[\sigma]_{F1} = \frac{504 \times 1 \times 1}{2,2} = 229 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{F2} = \frac{\sigma_{Flim b2} \times K_{Fc} \times K_{FL}}{s_F}; \quad (3.21)$$

$$[\sigma]_{F2} = \frac{441 \times 1 \times 1}{2,2} = 200 \text{ МПа}.$$

Для зубців шестерні та колеса граничне допустиме напруження на згин визначаємо за формулою [7]:

$$[\sigma]_{F1max} = \frac{4,1 \times H_1}{s_F}; \quad (3.22)$$

$$[\sigma]_{F1max} = \frac{4,8 \times 280}{2,2} = 610 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{F2max} = \frac{4,8 \times H_2}{s_F}; \quad (3.23)$$

$$[\sigma]_{F2max} = \frac{4,1 \times 245}{2,2} = 534 \text{ МПа}.$$

Проектний розрахунок передачі. Для проектного розрахунку попередньо беремо коефіцієнт ширини вінця $\psi_{ba}=0,40$ і відповідно:

$$\psi_{bd}=0,5 \times \psi_{ba} \times (u+1);$$

$$\psi_{bd}=0,5 \times 0,4 \times (3,8+1)=0,96.$$

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		45

Визначаємо коефіцієнт нерівномірності навантаження по ширині зубчастих вінців згідно графіка залежно від ψ_{bd} , $K_{H\beta}=1,07$ [7]:

Допоміжний коефіцієнт $K_a=495\text{МПа}^{1/3}$ для сталевих прямозубих зубчатих коліс.

Мінімальну міжосьову відстань передачі визначаємо за формулою [7]:

$$\alpha_{\omega\min} = K_a \times (u + 1) \times \sqrt[3]{\frac{T_{IH} \times K_{H\beta}}{(u \times \psi_{ba} \times [\sigma]_H)^2}}; \quad (3.24)$$

$$\alpha_{\omega\min} = 495 \times (1,42 + 1) \times \sqrt[3]{\frac{10 \times 1,07}{(1,42 \times 0,40 \times 486^2)}} = 51,56\text{мм.}$$

Вибираємо фактичну міжосьову відстань $a_{\omega}=52\text{мм}$. Кут нахилу зубців попередньо беремо $\beta=15^\circ$.

Число зубців шестерні $z_1=55$, а число зубців колеса $z_2=u \times z_1$, $z_2=1,42 \times 55=78,1$. Вибираємо $z_2=79$, тоді фактичне передаточне число $u=z_2/z_1$, $u=79/55=1,436$.

Модуль зубців визначаємо за формулою [7]:

$$m'_n = \frac{2 \times \alpha_{\omega} \times \cos \beta}{(z_1 + z_2)}; \quad (3.25)$$

$$m'_n = \frac{2 \times 52 \times \cos 15^\circ}{(55 + 79)} = 0,74\text{мм}$$

Стандартний модуль зубців $m_n=0,7$ за ГОСТ9563-60. фактичний кут нахилу лінії зубців:

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		46

$$\cos\beta = \frac{m_n \times (z_1 + z_2)}{(2 \times \alpha_\omega)}; \quad (3.26)$$

$$\cos\beta = \frac{0,7 \times (55 + 79)}{(2 \times 52)} = 0,9019;$$

$$\beta = 25^\circ 36' 4''$$

Попередні значення параметрів передачі. Ділильні діаметри шестерні та колеса будуть такі:

$$d_1 = \frac{m_n \times z_1}{\cos\beta}; \quad (3.27)$$

$$d_1 = \frac{0,7 \times 55}{0,9019} = 42,68 \text{ мм};$$

$$d_2 = \frac{m_n \times z_2}{\cos\beta}; \quad (3.28)$$

$$d_2 = \frac{0,7 \times 79}{0,9019} = 61,31 \text{ мм}.$$

Ширина зубчатих вінців:

$$b_2 = \psi_{ba} \times \alpha_\omega; \quad (3.29)$$

$$b_2 = 0,4 \times 52 = 20,8 \text{ мм};$$

$$b_1 = b_2 \times 2; \quad (3.30)$$

$$b_1 = 20,8 \times 2 = 22,8 \text{ мм}.$$

Колова швидкість зубчастих коліс:

$$v = 0,5 \times \omega_1 \times d_1; \quad (3.31)$$

$$v = 0,5 \times 100 \times 42,68 \times 10^{-3} = 2,13 \text{ м/с}.$$

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докum	Підпис	Дата		47

Вибираємо 8-й ступінь точності ($n_{ст}=8$) для всіх показників точності зубчастих коліс та передач [7].

Еквівалентні числа зубців шестерні та колеса будуть такими:

$$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta}; \quad (3.32)$$

$$z_{v1} = \frac{55}{0,9019^3} = 74,97;$$

$$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta}; \quad (3.33)$$

$$z_{v2} = \frac{79}{0,9019^3} = 107,68.$$

Коефіцієнт торцевого перекриття визначаємо за формулою [7]:

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \times \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \times \cos \beta; \quad (3.34)$$

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \times \left(\frac{1}{55} + \frac{1}{79} \right) \right] \times 0,9019 = 1,606.$$

Коефіцієнт осьового перекриття зубців визначаємо з формули [7]:

$$\varepsilon_\beta = \frac{b_2 \times \sin \beta}{(\pi \times m_n)}; \quad (3.35)$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{22,8 \times \sin 25^\circ 36' 4''}{(3,14 \times 0,74)} = 4,23.$$

Колова сила у зачепленні зубчастих коліс:

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		48

$$F_t = F_{Ht} = F_{Ft} = \frac{2 \times T_1}{d_1}; \quad (3.36)$$

$$F_t = \frac{2 \times 10 \times 10^3}{61.31} = 326 \text{ Н.}$$

Розрахунок активних поверхонь зубців на контактну втому. Для розрахунку попередньо визначимо такі коефіцієнти:

$Z_M = 275 \text{ МПа}^{1/2}$ – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів зубчастих коліс;

$Z_H = 1,77 \times \cos \beta = 1,77 \times 0.9019 = 1,596$ – коефіцієнт форми спряжених поверхонь зубців;

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}} = \sqrt{\frac{1}{1,60}} = 0.79 \text{ - коефіцієнт сумарної довжини}$$

контактних ліній при $\varepsilon_\beta > 0,9$.

$K_{H\alpha} = 1,03$ – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубцями [7]:

$K_{H\beta} = 1,07$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження;

$K_{H\nu} = 1,03$ – коефіцієнт динамічного навантаження [7].

Питому розрахункову колову силу визначаємо за формулою [24]:

$$W_{Ht} = \left(\frac{F_{Ht}}{b_2} \right) \times K_{H\alpha} \times K_{H\beta} \times K_{H\nu}; \quad (3.37)$$

$$W_{Ht} = \left(\frac{326}{20,8} \right) \times 1,03 \times 1,07 \times 1,03 = 17,79 \text{ Н / мм}$$

Розрахункове контактне напруження визначаємо за формулою [7]:

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		49

$$\sigma_H = Z_M \times Z_H \times Z_\varepsilon \times \sqrt{\frac{\left(\frac{W_{Ht}}{d_1}\right) \times (u+1)}{u}}; \quad (3.38)$$

$$\sigma_i = 275 \times 1,596 \times 0,79 \times \sqrt{\frac{\left(\frac{17,79}{42,68}\right) \times (1,436+1)}{1,436}} = 291 \text{ МПа}.$$

Стійкість зубців проти втомного викришування їхніх активних поверхонь забезпечується:

$$\sigma_H = 291 \text{ МПа} < [\sigma]_H = 486 \text{ МПа}.$$

Розрахунок активних поверхонь зубців на контактну міцність під час дії максимального навантаження за формулою [7]:

$$\sigma_{H_{\max}} = \sigma_H \times \sqrt{\frac{T_{1\max}}{T_{1H}}}; \quad (3.39)$$

$$\sigma_{H_{\max}} = 291 \times \sqrt{\frac{20}{10}} = 411 \text{ МПа}.$$

Контактна міцність зубців також забезпечується, оскільки: $\sigma_{H_{\max}} = 411 \text{ МПа} < [\sigma]_{H_{\max}} = 1512 \text{ МПа}$.

Розрахунок зубців на втому при згині. Розрахункові коефіцієнти будуть такими:

$Y_{F1} = 3.61$; $Y_{F2} = 3.60$ – коефіцієнт форми зубців [7];

$Y_\varepsilon = 1$ – коефіцієнт перекриття зубців;

$Y_\beta = 1 - \beta/140 = 1 - 25/140 = 0.87$ – коефіцієнт нахилу зубців;

$K_{F\alpha} = [4 + (\varepsilon_\alpha - 1) \times (n_{ст} - 5)] / (4 \times \varepsilon_\alpha) = [4 + (1,6 - 1) \times (8 -$

$5)] / (4 \times 1,6) = 0,91$ – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубцями;

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		50

$K_{F\beta}=1,12$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження по ширині зубчастих вінців [25]:

$K_{Fv}=1,10$ – коефіцієнт динамічного навантаження [25].

Питома розрахункова сила:

$$W_{Ft} = \left(\frac{F_{Ft}}{b_2} \right) \times K_{F\alpha} \times K_{F\beta} \times K_{Fv}; \quad (3.40)$$

$$W_{Ft} = \left(\frac{326}{20,8} \right) \times 0,91 \times 1,12 \times 1,10 = 17,57 \text{ Н / мм.}$$

Розрахункове напруження згину у зубцях шестерні та колеса визначаємо за формулою [7]:

$$\sigma_{F1} = \frac{Y_{F1} \times Y_{\varepsilon} \times Y_{\beta} \times W_{Ft}}{m_n}; \quad (3.41)$$

$$\sigma_{F1} = \frac{3,61 \times 1 \times 0,87 \times 17,57}{0,7} = 78,83 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{F2} = \frac{Y_{F2} \times Y_{\varepsilon} \times Y_{\beta} \times W_{Ft}}{m_n}; \quad (3.42)$$

$$\sigma_{F1} = \frac{3,60 \times 1 \times 0,87 \times 17,57}{0,7} = 78,61 \text{ МПа.}$$

Стійкість зубців проти втомного руйнування при згині забезпечується, оскільки розрахункові напруження згину менші від відповідних допустимих напружень $[\sigma]_{F1}=229 \text{ МПа}$ та $[\sigma]_{F2}=229 \text{ МПа}$.

Розрахунок зубців на міцність при згині максимальним навантаженням за формулою [26]:

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		51

$$\sigma_{F1\max} = \sigma_{F1} \times \left(\frac{T_{1\max}}{T_{1F}} \right); \quad (3.43)$$

$$\sigma_{F1\max} = 78,83 \times \left(\frac{20}{10} \right) = 157,66 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{F2\max} = \sigma_{F2} \times \left(\frac{T_{1\max}}{T_{1F}} \right); \quad (3.44)$$

$$\sigma_{F2\max} = 78,61 \times \left(\frac{20}{10} \right) = 157,22 \text{ МПа}.$$

Міцність зубців при згині при дії максимального навантаження також забезпечується, бо максимальні розрахункові напруження менші від граничних допустимих напружень $[\sigma]_{F1\max} = 610 \text{ МПа}$ та $[\sigma]_{F2\max} = 534 \text{ МПа}$.

Розрахунок параметрів зубчастої передачі. Розміри елементів зубців [26]:

а) висота головки зубця;

$$h_{\alpha} = m_n = 0,7 \text{ мм};$$

б) висота ніжки;

$$h_f = 1,25 \times m_n = 1,25 \times 0,7 = 0,875 \text{ мм};$$

в) радіальний зазор;

$$h = 2,25 \times m_n = 2,25 \times 0,7 = 1,575 \text{ мм};$$

г) кут профілю зубців;

$$\alpha_n = 20^{\circ}.$$

Розміри вінців зубчастих коліс:

а) ділильні діаметри $d_1 = 42,68 \text{ мм}$ і $d_2 = 61,31 \text{ мм}$;

б) діаметри вершин зубців;

$$d_{\alpha 1} = d_1 + 2 \times m_n = 42,68 + 2 \times 0,7 = 44,08 \text{ мм};$$

$$d_{\alpha 2} = d_2 + 2 \times m_n = 61,31 + 2 \times 0,7 = 62,71 \text{ мм};$$

в) діаметри впадин;

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		52

$$d_{r1} = d_1 - 2,5 \times m_n = 42,68 - 2,5 \times 0,7 = 40,93 \text{ мм};$$

$$d_{r2} = d_2 - 2,5 \times m_n = 61,31 - 2,5 \times 0,7 = 59,56 \text{ мм};$$

Міжосьова відстань передачі:

$$\alpha_w = \frac{0,5 \times m_n \times (z_1 + z_2)}{\cos \beta} = \frac{0,5 \times 0,7 \times (55 + 79)}{0,9019} = 52,0 \text{ мм}.$$

Розрахунок сил у зачепленні зубців передачі:

А) колова сила $F_t = 326 \text{ Н}$;

Б) радіальну силу визначаємо за формулою [7];

$$F_r = \frac{F_t \times \text{tg} \alpha_n}{\cos \beta}; \quad (3.45)$$

$$F_r = \frac{326 \times \text{tg} 20}{0,9019} = 131,56 \text{ Н};$$

В) осьову силу визначаємо за формулою [7]:

$$F_\alpha = F_t \times \text{tg} \beta; \quad (3.46)$$

$$F_\alpha = 326 \times \text{tg} 25^\circ 36' 4'' = 326 \times 0,4791 = 156 \text{ Н}.$$

Основні параметри зубчатої передачі приводу роликового стенду вказані в таблиці 3.1.

Таблиці 3.1 – Основні параметри зубчатої передачі приводу роликового стенду

m_n	Z_1	Z_2	$W_{Ft},$ Н/мм	$T_1,$ Н×м	$d_2,$ мм	$d_1,$ мм	$\alpha_w,$ мм	$F_r,$ Н	$F_\alpha,$ Н	$B_1,$ мм	$B_2,$ мм	$v,$ м/с
0,7	55	79	17,57	10	42,68	61,31	52,0	131,56	156	20,8	22,8	2,13

3.3 Розробка плану цеху

План дільниці цеху для виготовлення циліндричного сепаратора зварюванням будується за принципом послідовного технологічного потоку, при якому заготовка проходить усі операції від підготовки до готового виробу без зайвих переміщень.

На початку дільниці розташовується зона складування металу та заготовок, де зберігаються листи, обичайки та допоміжні елементи. Далі знаходиться ділянка підготовки матеріалу, яка включає різання, обробку кромки та підготовку стиків під зварювання [27].

Наступною є зона попереднього складання, де на складальних пристроях виконується центрування і фіксація елементів сепаратора перед зварюванням. Тут можуть використовуватись кондуктори або прості складальні стенди.

Основною частиною дільниці є зварювальна зона. Вона оснащується роликowymi стендами для обертання виробу, установками для зварювання кільцевих і поздовжніх швів, а також гідравлічними притискачами для фіксації. Тут виконується основний обсяг робіт із формування циліндричного корпусу сепаратора.

Поруч розміщується допоміжна зона контролю, де здійснюється візуальний та вимірювальний контроль зварних швів, перевірка геометрії та герметичності виробу.

Завершальна частина дільниці включає ділянку зачистки та доопрацювання швів, а також місце складування готової продукції перед відправкою на склад.

Крім основних зон, у плані дільниці передбачаються [27]:

- проїзди для транспортування виробів і обладнання
- місця для розміщення зварювального обладнання та джерел живлення
- зона обслуговування та ремонту обладнання

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		54

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

Заходи для забезпечення зниження впливу шкідливих та небезпечних факторів [28]:

- провести з усіма працівниками інструктажі (вступний та первинний) у повному обсязі. Провести перевірку знань про техніку безпеки, пожежну безпеку, надання першої медичної допомоги потерпілому, а також дії персоналу у разі виникнення аварійної ситуації. У цеху необхідно розвішати таблички з номерами виклику пожежної бригади, медичної служби та начальника виробництва;

- забезпечити працівників засобами індивідуального захисту: каски, верхівки, окуляри, зварювальні роби, краги, зварювальні маски, сезонний спеціальний одяг, гумові чоботи з металевим носком, беруші, навушники, висотні пояси;

- забезпечити працівників засобами колективного захисту: припливно-втяжною вентиляцією, опаленням, джерелами штучного освітлення, системою кондиціонування або автоматичної підтримки температури, попереджувальними знаками, табличками, а також щитами, стінками з негорючих матеріалів.

Також необхідно провести заходи для безпечної експлуатації обладнання та технологічного процесу [29]:

- проводити цільовий інструктаж у повному обсязі під час виконання робіт разових робіт, не пов'язаних з прямими обов'язками (навантажувально-розвантажувальні, прибирання території);

- забезпечити обладнання табличками з короткою характеристикою обладнання та інструкціями з експлуатації. Також необхідно вказати на табличці інвентарний номер, дату перевірки та дату наступної перевірки;

- забезпечити своєчасну перевірку, ремонт та обхід обладнання;

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		56

- забезпечити працівникам доступ до інформаційних плакатів, табличок. На корпусі елементів, що обертаються і рухаються необхідно встановити табличку «Обережно»;

- в електричних щитах необхідно встановити табличку «Не влізай уб'є».

При ремонті обладнання на вимкненій мережі вивішувати плакат "Не включати працюють люди". Забезпечити персонал необхідними технологічними картами, інструкціями та пам'ятками.

Вимоги безпеки до проведення зварювальних робіт:

- заборонено проводити зварювальні роботи поблизу легкозаймистих і горючих матеріалів.
- заборонено проводити зварювальні роботи у сирих приміщеннях.
- заборонено проводити роботи без засобів індивідуального та колективного захисту.
- заборонено проводити роботи з використанням несправного обладнання або обладнання, яке не пройшло перевірку у встановлений термін.

Відповідно до загальної класифікації за [23] приміщення зварювального посту належить до категорії Р.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		57

ВИСНОВКИ

У результаті розроблення технологічного процесу складання та зварювання корпусу сепаратора було визначено раціональну послідовність виконання операцій, підбрано необхідне обладнання, оснащення та режими зварювання. Розроблений технологічний процес забезпечує отримання міцної, герметичної та надійної конструкції корпусу, що відповідає вимогам технічної документації та умовам експлуатації.

У ході роботи було проаналізовано конструкцію корпусу сепаратора, обрано оптимальний спосіб зварювання та складально-зварювальні пристрої, які дозволяють підвищити точність складання, зменшити деформації та покращити якість зварних з'єднань. Також визначено режими зварювання, що забезпечують необхідні механічні властивості швів і стабільність процесу виробництва.

Розроблений технологічний процес сприяє підвищенню продуктивності праці, зниженню витрат матеріалів і часу на виготовлення виробу, а також забезпечує безпечні умови праці під час виконання складально-зварювальних робіт.

Отже, поставлена мета роботи досягнута, а запропонований технологічний процес може бути використаний у виробничих умовах для виготовлення корпусів сепараторів із високими показниками якості та надійності.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		58

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник / Г.О.Кривов, К.О.Зворикін. - К.: КВІЦ, 2012. - 896 с.
2. Матвієнків О.М. Виробництво зварних конструкцій: курсове проектування./ Матвієнків О.М., Біщак Р.Т. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. - 25 с.:
- 3.ДСТУ 8540:2015 Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент.
- 4.Бреславский Д.В. Марочник сталей і сплавів [Електронний ресурс] – <http://www.splav.kharkov.com>.
- 5.ДСТУ 3761.2-98 Зварювання та споріднені процеси. Частина 2. Процеси зварювання та паяння. Терміни та визначення.
- 6.Махненко, В.І. Напруження та деформації при зварюванні. Навчальний посібник. [Текст] / В.І. Махненко, Г.В. Єрмолаєв, В.В. Квасницький, А.В. Лабарткава. – Миколаїв: НУК, 2011.
- 7.ДСТУ 12344:2005 Сталі леговані та високолеговані. Методи визначення вуглецю.
- 8.ДСТУ EN 1708-1:2015 Зварювання. Зварні з'єднання сталевих елементів. Зварні з'єднання конструкційних елементів, що працюють під тиском.
- 9.ДСТУ EN 1779:2015 Неруйнівний контроль. Контроль герметичності. Критерії вибору методу і способу контролю.
- 10.Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника – К.: Техніка, 2002. – 336 с.
- 11.ДСТУ 2413-94 Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення.
- 12.ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 1. Зварювання плавленням (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT).

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		59

- Гуменюк І.В. Технологія електродугового зварювання: Підручник /І.В. Гуменюк, О.Ф. Іваськів, О.В. Гуменюк. – К: Грамота, 2006, 512 с.
- 13.Костін О.М. Зварювальні матеріали: Навч. посібник. – Миколаїв: НУК, 2004. – 225 с.
- 14.ДСТУ EN ISO 14175:2014 Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання (EN ISO 14175:2008, IDT).
- 15.ДСТУ EN ISO 14343:2019 Зварювальні матеріали. Дроти та стрічки електродні, дроти та прутки для дугового зварювання нержавких і жароміцних сталей. Класифікація (EN ISO 14343:2017, IDT; ISO 14343:2017, IDT).
- 16.Проект “Довідник зварника” - <https://zvaruka.info/pro-sajt/>
- 17.ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з’єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, TIG - зварювання та променеве зварювання сталей.
- 18.ДСТУ ISO 4063:2014 Зварювання та споріднені процеси. Перелік й умовні позначки процесів.
- 19.Гуменюк І.В., Іваськів О.Ф. Обладнання і технологія електродугового зварювання: навч.посіб-К.: Грамота, 2006.-512с.
- 20.Серенко А.Н. Розрахунок зварних з’єднань і конструкцій / А.Н. Серенко, М.Н. Крумбольт, К.В. Багрянский. – К.: Вища школа, 1977. – 336 с.
- 21.Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві/ 2 видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник.-К.:Арістей, 2006.- 272с.
- 22.Козяр М. М. Комп’ютерна графіка: SolidWorks : навч. посіб. / М. М. Козяр, Ю. В. Фещук, О. В. Парфенюк. – Херсон : Олді-плюс, 2018. – 252с.
- 23.ДСТУ EN ISO 5817:2022 Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT; ISO 5817:2014, IDT).

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		60

24. Біщак, Р. Т. Напруги та деформації при зварюванні [Електронний ресурс]: практикум / Р. Т. Біщак. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 44 с.
25. Складально-зварювальне оснащення. Методичні вказівки до практичних та лабораторних занять для студентів спеціальностей «Технології та устаткування зварювання. / Укл.: Березін Л.Я.-Чернігів: ЧНТУ, 2015 - 80с.
26. Олійник, С. Ю. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання / С. Ю. Олійник. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 260 с.
27. Борушак Л. О., Панчук В. Г., Роп'як Л. Я., Пітулей Л. Д. Основи проектування механоскладальних дільниць і цехів: навчальний посібник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. 194 с.
28. Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ Про охорону праці.
29. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник / О.Г. Левченко. – К.: Основа, 2010 – 240 с.

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		61

ДОДАТКИ

					КРБ.3Т-79.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		62