

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та будівництва "ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Карпов Володимир Андрійович

(підпис)

Група ЗТ-21-1

Розробка технології складання та зварювання корпусу відцентрового компресора

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

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

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

(підпис)

" ____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на випускні кваліфікаційну роботу бакалавра
студента Карпова Володимира Андрійовича

1. Тема роботи Розробка технології складання та зварювання корпусу відцентрового компресора.

Затверджена наказом по університету № 283/7 від " 07" 05. 2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи

Технічні умови на виготовлення корпусу відцентрового компресора, креслення виробу, умови експлуатації корпусу, матеріал виробу сплав ЕП-718.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити 1 Загальний розділ. 1.1 Загальна характеристика зварної конструкції корпусу відцентрового компресора, та його елементів. 1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу. 1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності. 1.4. Технічні вимоги на виготовлення. 1.5 Особливості базової технології виготовлення корпусу корпусу відцентрового компресора. 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 Розробка плану цеху. 4. Безпека праці.

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

1. Креслення корпусу ЦБК. 2. Установка для автоматичного зварювання ЦБК 3. Пристосування для складання корпусу ЦБК. 4. Пристосування для зварювання корпусу ЦБК. 5. Розподіл густини струму в анодній плямі. 6. План дільниці цеху.

6. Дата видачі завдання _____

Керівник _____

Біщак Р.Т.

Завдання прийняв до виконання _____

Карпов В.А.

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 _____ Карпов В.А.

Керівник _____ Біщак Р.Т.

РЕФЕРАТ

Робота бакалавра складається із 10 слайдів презентації, пояснювальної записки із 53 аркушів, 16 рисунків, 14 таблиць та 17 посилань на використану літературу.

Об'єкт дослідження – технологія складання та зварювання корпусу відцентрованого компресора та проектування діляниці.

Мета дипломного проекту роботи – розробка технології складання та зварювання корпусу відцентрованого компресора з проектуванням діляниці.

Метод дослідження: аналіз літературних і експериментальних даних, застосування і модифікація вже розроблених заводських технологій зварювання.

Для зварювання корпусу були розроблені оптимальні технологія і техніка автоматичного і ручного зварювання в захисних газах. Було обрано обладнання і додаткова оснастка.

Спроектовано ділянку для зварювання корпусу ВЦК. Розроблено загальні заходи з техніки безпеки праці.

Ключові слова: КОРПУС ВІДЦЕНТРОВОГО КОМПРЕСОРА, АКТИВУЮЧИЙ ФЛЮС, АРГОНО-ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ, ЗАХИСНІ ГАЗИ, ВОЛЬФРАМОВИЙ ЕЛЕКТРОД.

ABSTRACT

The text consists of 53 pages, 16 images, 14 tables and 17 springs.

Object of research - technology assembly and welding casing centrifugal compressor engine and design district.

The purpose of the diploma project work - development of technology assembly and welding korpus centrifugal compressor, with designing district.

Methods: analysis of literature and experimental data , application and modification of already developed technologies factory welding.

For welding korpus were developed the optimum technology and equipment for automatic and manual welding in shielding gases. Were selected equipment and additional equipment.

Designed by for welding korpus plot. The general safety measures and environmental protection.

Keywords: BODY OF CENTRIFUGAL COMPRESSOR, ACTIVATING FLUX, TIG WELDING, SHIELDING GASES, TUNGSTEN ELECTRODE.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Загальний розділ.....	7
1.1 Загальна характеристика зварної конструкції корпусу відцентрового компресора, та його елементів.....	7
1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу.....	9
1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності.....	11
1.4 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу.....	15
2 Технологічний розділ.....	17
2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування.....	17
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання.....	17
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів.....	23
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання.....	27
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування.....	37
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції корпусу компресора.....	50
2.2.1 Заготівельні операції.....	50
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання.....	56
2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями.....	58
2.2.4 Технічний контроль якості	59

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ						
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Розробка технології складання та зварювання корпусу відцентрового компресора			<i>Лім.</i>	<i>Арк</i>	<i>Аркушів</i>	
<i>Розроб.</i>	Карпов В.А.									4	89
<i>Перевір.</i>	Біщак Р.Т.										
<i>Рецензент</i>	Панчук М.В.										
<i>Н. контр.</i>	Матвієнків О.										
<i>Затверд.</i>	Андрусяк А.В.				ІФНТУНГ ЗТ-21-1						

3	Конструкторський розділ.....	70
3.1	Компонування складальних та зварювальних установок.....	70
3.2	Розробка плану цеху.....	76
4	Безпека праці.....	70
4.1	Аналіз потенційних небезпек.....	
4.2	Заходи щодо забезпечення безпеки праці.....	
	Висновки.....	88
	Список використаних джерел.....	89
	Додатки.....	91

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		5

ВСТУП

У ХХІ столітті розвиток авіаційної промисловості характеризується, насамперед, тим, що вони інтенсивно акумулюють нові досягнення науки і техніки. Найбільш наочним і характерним прикладом цього є розробка та впровадження різних методів одержання нероз'ємних з'єднань металевих та неметалічних матеріалів – технологій зварювання плавленням та у твердій фазі, у тому числі й електродами зварювальними.

В даний час існує велика кількість методів та способів зварювання, причому кожному відомому виду енергії відповідає кілька способів зварювання. Усі вони застосовуються у виробництві авіаційно-космічної техніки, зокрема, при виготовленні фюзеляжів літаків та корпусів ракет, двигунів, прецизійних приладів, а також технологічного оснащення різного призначення. [1]

Перед розробниками сучасних літальних апаратів стоїть завдання максимального полегшення конструкцій при збереженні їх характеристик міцності. Проектування та виробництво літаків, космічних кораблів, приладів управління польотом виконується з урахуванням надзвичайно жорстких умов їх експлуатації, якими є: високі швидкості польоту, пікові навантаження, що повторюються, форсовані режими експлуатації, перепади температур, аеродинамічний нагрівання і т.д. Одночасно вирішується завдання оптимізації та мінімізації маси, економічності виготовлення конструкції, забезпечення якості та надійності роботи конструкції та її агрегатів. [1]

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		6

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна характеристика зварної конструкції корпусу компресора, та його елементів

Одна із складових гвинтовентиляторного двигуна Д-27 – відцентровий компресор високого тиску. Компресор – частина двигуна, ступінь аеродинамічної та конструктивної досконалості якого значною мірою визначають потужність (тягу), економічність, габаритні розміри, масу, надійність та ресурс двигуна [2]. До компресора пред'являються ті ж вимоги, що і до двигуна (технічні характеристики, надійність, ресурс, довговічність і безпека, виробнича та експлуатаційна технологічність, екологічні характеристики, економічні показники). Крім загальних вимог, пред'являються і деякі специфічні:

- забезпечення заданої секундної витрати повітря;
- забезпечення заданого ступеня підвищення тиску;
- забезпечення стійкої, тобто. без помпажу та пульсації, роботи у широкому діапазоні частоти обертання ротора.

Складовою частиною компресора є корпус ЦПК (рис. 1.1). Він є зварною конструкцією і служить для відтворення сили тиску від ротора на підвіску літака. Корпус компресора є одним із найвідповідальніших і найдорожчих деталей компресора, що входять до вузлів першої категорії, внаслідок умов роботи, габаритів, матеріаломісткості та високих вимог до їх надійності [2]. Виготовлення корпусу відцентрового компресора з кованої циліндричної заготовлі хоч і дозволяє покращити структуру металу корпусу, проте ускладнює процес виготовлення та подорожчає його. Тому конструкцію виготовляють шляхом зварювання кількох частин, оброблених пресуванням гарячекатаного металу.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		7

забезпечується вибором матеріалу, типу з'єднання, форми і розміру елементів, що зварюються, виду зварювання, а також заходів щодо зменшення зварювальних деформацій і напружень [2].

Для підвищення технологічності розміри і форму елементів, що зварюються, слід вибирати з урахуванням вільного доступу до лицьової та кореневої частин шва, можливості виконання зварювання в нижньому горизонтальному положенні заготовок, а не вертикальному або, тим більше, стельовому. Потрібно забезпечувати можливість проведення за необхідності підігріву (або, навпаки, охолодження), а також необхідної термічної обробки, зводити до мінімуму довжину зварних швів і масу основного та присадного матеріалів, що йде на їх утворення. При виборі сортаменту заготовок для виготовлення частин зварної конструкції переважно використовувати прокатні, гнуті або штамповані профілі та оболонки, тонкий лист, тонкостінні труби та їх поєднання [3].

Враховуючи креслення компресора та базовий технологічний процес виготовлення корпусу відцентрового компресора на підприємстві вважаємо, що конструкція корпусу відцентрового компресора є технологічною.

1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності

Корпус відцентрового компресора при роботі нагрівається до високих температур (понад 600 °С) і витримує високий тиск (понад 50 атм.), тому як матеріал використовується жароміцний залізохромонікелевий сплав ЕП718 (ХН45МВТЮБР). Матеріал немагнітний, має задовільну корозійну стійкість, у термічно обробленому стані (загартування та подвійне старіння) після випробування на повітрі протягом 100 годин при температурі 800 °С має приріст і втрату маси 0,025 і 0,06 г/м · год. відповідно [4].

Сплав застосовується для високонавантажених елементів силових конструкцій (деталі літальних апаратів, кільцеві зварні деталі, силові деталі

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		9

корпусу турбіни, деталі компресора), що працюють у всекліматичних умовах при температурах до 700 °С. Сплав задовільно обробляється різанням, задовільно зварюється аргонодуговий та іншими видами зварювання [5].

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу представлені в таблицях (табл. 1.1, табл. 1.2).

Таблиця 1.1 – Хімічний склад металу ЕП-718,% [6]

C	Si	Mn	Ni	P	Cr	Mo
до 0,1	0,3	до 0,6	43-47	до 0,015	14-16	4-5,2
Nb	Ti	Al	Fe	S	P	W
0,8-1,5	1,9-2,4	0,9-1,4	решта	0,01	0,015	2,5-3,5

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву ЕП-718, [7]

Температура випробувань	σ_B	Δ_5
°С	МПа	%
20	1079	13
700	785	7

Зварюваність матеріалу ускладнюється багатоконпонентністю його легування н різноманітністю умов експлуатації зварних конструкцій (корозійна стійкість, жаростійкість або жароміцність). Загальною складністю зварювання є попередження утворення у шві та при шовній зоні кристалізаційних гарячих тріщин мають міжкристалітний характер, що спостерігаються у вигляді дрібних мікро надривів та тріщин. Гарячі тріщини можуть виникнути при термообробці або роботі конструкції при підвищених температурах. Утворення гарячих тріщин найбільш характерно для крупнозернистої структури металу шва, особливо вираженої в багатошарових швах, коли кристали наступного шару продовжують кристали попереднього шару.

Попередження утворення цих дефектів досягається [8]:

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		10

а) обмеженням в основному та наплавленому металах вмісту шкідливих (сірки, фосфору) та ліквючих (свинцю, олова, вісмуту) домішок, а також газів - кисню та водню. Для цього слід застосовувати режими, що зменшують частку основного металу у шві, та використовувати зварювальні матеріали з мінімальним вмістом названих домішок. Техніка зварювання має забезпечувати мінімальне насичення металу шва газами. При зварюванні в захисних газах, попереджаючи підсмоктування повітря, слід підтримувати короткий виліт електрода і вибирати оптимальні швидкість зварювання та витрати захисних газів;

б) отриманням такого хімічного складу металу шва, який би забезпечив у ньому двофазну структуру. Прагнення отримати аустенітно-феритну структуру швів на глибокоаустенітних сталях, що містять понад 15% Ni, вимагатиме підвищеного їх легування ферит утворюючими елементами, що призведе до зниження пластичних властивостей шва і хрущення через появу крихких евтектик, а іноді і σ -фази.

Тому в швах прагнуть отримати аустенітну структуру з крейдакодисперсними карбідами та інтерметалідами. Сприятливим є і легування швів підвищеною кількістю молібдену, марганцю та вольфраму, що пригнічують процес утворення гарячих тріщин. Кількість фериту в структурі швів на корозійностійких сталях може бути підвищена до 15...25%. Високолеговані сталі містять як легуючі присадки алюміній, кремній, титан, ніобій, хром та інші елементи, що мають більшу спорідненість до кисню, ніж залізо. Тому при наявності в зоні зварювання окисної атмосфери можливий їх значний чад, що може призвести до зменшення вмісту або повного зникнення в структурі шва феритної та карбідної фаз, особливо в металі з невеликим надлишком феритизаторів. Зварювання короткою дугою та попередження підсмоктування повітря служить для цієї ж мети. [9]

Високоосновні флюси та шлаки, рафінуючи метал шва та іноді модифікуючи його структуру, підвищують стійкість проти гарячих тріщин.

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		11

Механізовані способи зварювання, забезпечуючи рівномірне проставлення основного металу по довжині шва і сталість термічного циклу зварювання, дозволяють отримати більш стабільні структури на всій довжині зварного з'єднання;

в) застосуванням технологічних прийомів, спрямованих на зміну форми зварювальної ванни та напрямки росту кристалів аустеніту. Дія сил, що розтягують, перпендикулярне напрямку зростання стовпчастих кристалів, збільшує ймовірність утворення гарячих тріщин. При механізованих способах зварювання тонкими електродними дроти поперечні коливання електрода, змінюючи схему кристалізації металу шва, дозволяють зменшити його схильність до гарячих тріщин;

г) зменшенням силового фактора, що виникає в результаті термічного циклу зварювання, усадкових деформацій і жорсткості закріплення кромки, що зварюються. Зниження його дії досягається обмеженням сили зварювального струму, заповненням оброблення швами невеликого перерізу. Цьому ж сприяє гарна загортання кратера при обриві дуги. [9]

Крім перерахованих загальних особливостей зварювання високолегованих сталей і сплавів, є специфічні особливості, що визначаються їх службовим призначенням. При зварюванні жаростійких і жаростійких сталей забезпечення необхідних властивостей у багатьох випадках досягається термообробкою (аустенізацією), що знімає залишкові зварювальні напруження, з наступною стабілізуючою відпусткою. При неможливості термообробки зварювання виконують із попереднім або супутнім підігрівом до температури 350...400 °С. Надмірна крихкість швів за рахунок утворення карбідів попереджується зниженням вмісту у шві вуглецю. Забезпечення необхідної окалиностійкості досягається отриманням металу шва за складом ідентичного основному металу. Це ж потрібно і для отримання зварних швів стійких до загальної корозії.

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		12

1.4 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу

На підприємстві для виготовлення корпусу відцентрового компресора було встановлено такі технологічні умови:

1. Допускається припасування вхідних деталей перед зварюванням.
2. Зварні шви випробовувати на герметичність гасом при атмосферному тиску. Герметичність - Група 1-8 ОСТ 1 00128-74. Відпотівання не допускається протягом 10 хв.
3. Допуск овальності діаметральних поверхонь у вільному стані 0,5 мм (напіврізність розмірів).
4. Відхилення контурів отворів для деталей поз. 1.5 у бік збільшення трохи більше 0,1 мм (рис. 1.2).
5. Допускається контроль діаметральних розмірів, розмірів від осі та допусків перерізів поверхонь у пристосуванні.
6. 293...363 НВ деталі поз. 1 – 5 забезпечити технологічно (рис. 1.1).
7. Відхилення поверхні Д1 від розрахункової трохи більше 0,2 мм у бік збільшення радіусів поверхні Д2 трохи більше 0,3 мм у бік зменшення товщини стінки (рис. 1.1).
8. Позиційний допуск осей центральних отворів у деталях поз. 1 – 5 трохи більше 0,16 мм (рис. 1.1).
9. Допускається при обробці поверхні Д3 на ділянці є врізання посилення зварного шва деталі поз. 4 (рис. 1.2).
10. Зварювати аргоно-гелієво-дуговим зварюванням неплавким електродом. Захисне середовище: гелій із піддувом аргону зі зворотного боку шва. Допускається підварювання АДС.

Таблиця 1.3 – Рекомендована термічна обробка для сплаву ЕП-718

Вид обробки	Температура, °С	Витримка, час	Умови охолодження
Гартування	1070±10	20-60 хв	На повітрі
Старіння	780±10	5	На повітрі

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		13

Для того, щоб забезпечити необхідні властивості зварного шва, а також запобігти утворенню гарячих тріщин для сплаву ЕП-718 пропонується застосувати термічну обробку: гартування та старіння (табл. 1.3) [10].

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		14

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

Характерні сплаву ЕП-718 теплофізичні властивості визначають деякі особливості його зварювання. Знижений коефіцієнт теплопровідності та підвищений коефіцієнт лінійного розширення зумовлюють посилене жолоблення виробу. Тому для зменшення короблення виробів слід застосовувати способи та режими зварювання, що характеризуються максимальною концентрацією теплової енергії.

Зварювання під флюсом. Це один з основних способів зварювання високолегованих сталей. Хороше формування поверхні швів з дрібною лускатістю та плавним переходом до основного металу, відсутність бризок на поверхні виробу помітно підвищують корозійну стійкість зварних з'єднань. Однак при зварюванні під флюсом деяких марок жароміцних сталей вимога забезпечення в металі шва регламентованої кількості феритної фази не завжди може бути досягнуто. Це пояснюється труднощами отримання необхідного складу металу шва за рахунок вибору тільки зварювальних флюсів та дротів (останні мають значні коливання хімічного складу в межах сталі однієї марки) при зварюванні металу різної товщини (різна форма оброблення і, отже, частка участі основного металу у формуванні шва). [10]

Електронно-променеве зварювання. Цей спосіб зварювання забезпечує за один прохід зварити без обробки кромки метал з мінімальною протяжністю навколошовної зони і дуже малим коефіцієнтом форми шва, що є важливою технологічною перевагою цього способу. Однак і при цьому способі можливе утворення у шві та навколошовній зоні гарячих тріщин та локальних руйнувань у навколошовній зоні. Електронно-променеве зварювання у вакуумі полегшує видалення домішок та газів, але збільшує випаровування легуючих елементів.

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		15

При глибокому і вузькому проварі частина газів може затриматися кристалами, що ростуть, у шві і утворити пори.

Зварювання у захисних газах. Найбільш широко використовуваним способом зварювання відповідальних конструкцій з нікелевих сплавів є дугова вольфрамовим електродом серед інертних газів – TIG процес. [11]

Як захисні використовують інертні (аргон, гелій) гази, а також різні суміші інертних або активних газів та інертних з активними. Цей спосіб зварювання, порівняно з розглянутими вище, має низку істотних переваг. Застосування інертних газів значно підвищує стабільність дуги. Значна відмінність теплофізичних властивостей захисних газів і застосування їх сумішей, змінюючи теплову ефективність дуги та умови введення теплоти в кромки, що зварюються, значно розширюють технологічні можливості дуги. При зварюванні в інертних газах спостерігається мінімальний чад легуючих елементів, що важливо при зварюванні високолегованих сталей. При зварюванні в захисних газах можливість зміни хімічного складу металу шва більш обмежені в порівнянні з іншими способами зварювання та можливі за рахунок зміни складу зварювального (присадкового) дроту або зміни частки участі основного металу в утворенні металу шва (режим зварювання), коли склади основного та електродного металів значно різняться.

Поряд з перевагами цього способу (висока якість зварних з'єднань, стабільність перебігу процесу, досить проста керованість, спостережуваність та ін.) йому притаманні такі недоліки, як низька проплавляюча здатність дуги, що в деяких випадках при зварюванні може призвести до перегріву шва, зони термічного впливу, а також деформування і значно ускладнити подальшу стиковку та складання виробу. Тому для зварювання корпусу ЦПК, з метою усунення недоліків TIG зварювання доцільно застосовувати А- TIG зварювання, при якій на поверхню матеріалу, що зварюється попередньо тонким шаром наносять спеціальний активатор.

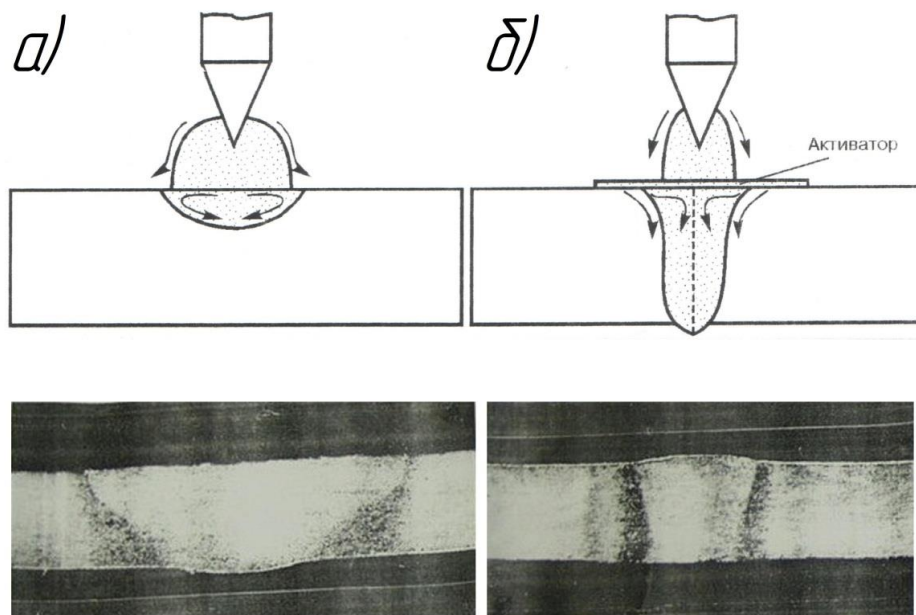
					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		16

Традиційно активуючі флюси складаються з дисперсних порошоків оксидів або галогенідів металу. Отримані результати досліджень свідчать про те, що кисень є одним із найсильніших активаторів при зварюванні сталей вольфрамовим електродом [9]. За ступенем впливу на дугу (ефектами зниження зварювального струму чи збільшення глибини проплавлення при постійному струмі) він майже поступається фтору. При цьому він безпечний для здоров'я зварників та універсальний у частині варіантів введення в зону зварювання: його можна вводити в зону зварювання у складі газових сумішей, спеціальних флюсів, основного та присадного металів. Широке застосування отримав спосіб впровадження кисню через флюс. Це пов'язано з тим, що до складу флюсу можна вводити комплексні сполуки, які не тільки є джерелом негативних іонів, але й дозволяє здійснити металургійну обробку металу в зварювальній ванні.

В ІЕЗ ім. О.О. Патона розроблені та застосовуються активуючі флюси на оксидній основі для зварювання легованих та нержавіючих сталей різного класу – флюси типу ПАТІГ С-А, та деяких сплавів на нікелевій основі – ПАТІГ Н-А. Нікелеві сплави дещо відрізняються за своєю поведінкою при зварюванні А-ТІГ, що пов'язано з їх низькою теплопровідністю, у ряді випадків підвищеним вмістом спеціальних легуючих елементів. Але у всіх випадках використання активуючого флюсу ПАТІГ Н-А вдається досягти основних переваг від його використання: збільшення глибини проплавлення в 2...4 рази (а отже, і продуктивності), одночасно зменшення ширини зварного шва і зниження тепловкладення.

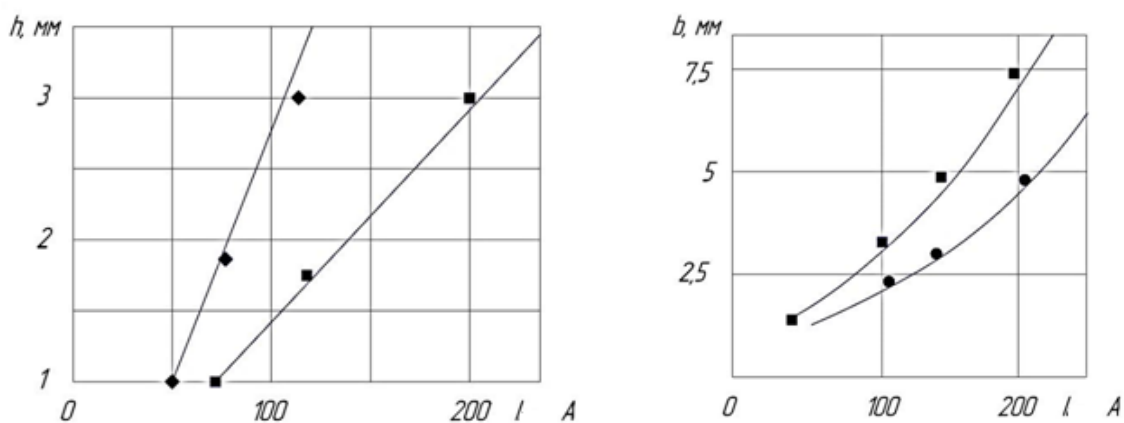
Ефект збільшення глибини проплавлення сталі досягається при дуже малій витраті флюсу, що активує (менше 1 г на погонний метр шва). Тому зварювання з активуючими флюсами (А- ТІГ процес) забезпечує формування швів, що несуттєво відрізняються від основного металу за хімічним складом та властивостями (рис. 2.1, 2.2) [9, 10].

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		17



а) зварювання без активуючого флюсу; б) зварювання з активуючим флюсом

Рисунок 2.1 – Принципова схема процесів зварювання ААДС та макроструктура зразків із сплаву ЕП-718



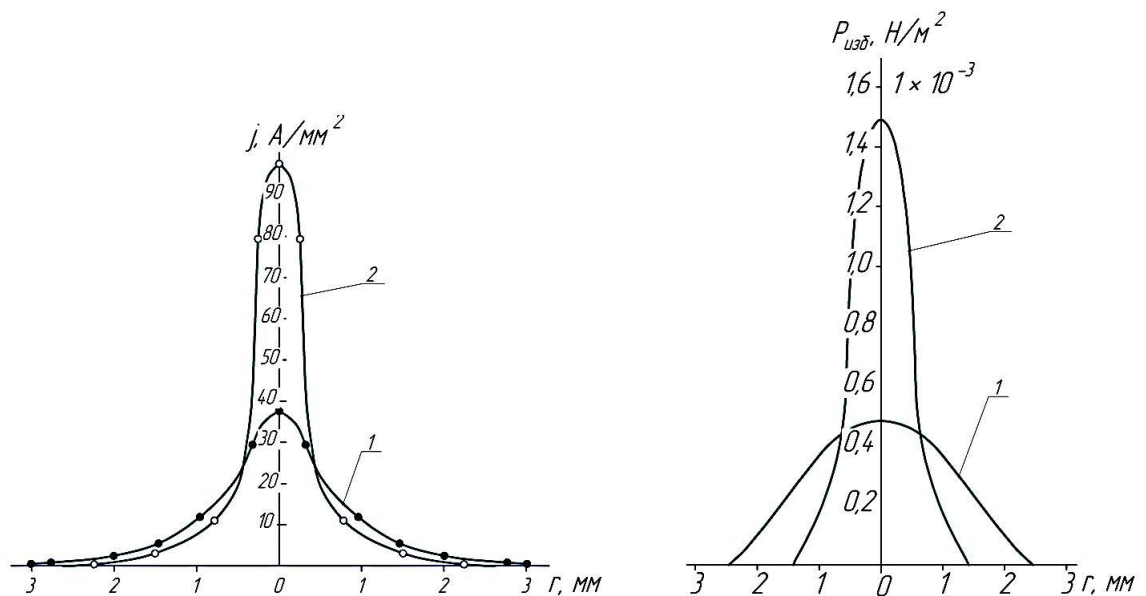
◆ - з активуючим флюсом
 ■ - без активуючого флюсу

● - з активуючим флюсом
 ■ - без активуючого флюсу

Рисунок 2.2 – Зміна глибини та ширини проплавлення в залежності від зварювального струму

Введення активуючих флюсів в зону зварювання впливає не тільки на здатність проплавляючої зварювальної дуги, але і на концентрацію енергії в

анодній плямі. За результатами досліджень побудовано графіки розподілу надлишкового тиску та щільності струму в анодній плямі при зварюванні TIG та А- TIG (рис. 2.3) [9, 11].



1 – з активуючим флюсом; 2 – без активуючого флюсу

Рисунок 2.3 – Розподіл надлишкового тиску та щільності струму в анодній плямі під час зварювання

Використання активаторів спричиняє значні зміни хімічних процесів у газовій фазі стовпа дуги. Введення в зону зварювання до 0,03% від маси розплавленого металу повністю усуває вплив складу сталі форму і розміру стовпа дуги. У спектрах зварювальної дуги різко знижується яскравість спектральних ліній, особливо іонних, більшості присутніх у сталі елементів. Не змінюється лише яскравість спектральних ліній аргону. Світіння анодного потоку у разі практично зникає, щільність струму збільшується, а проплавляюча здатність дуги зростає [9].

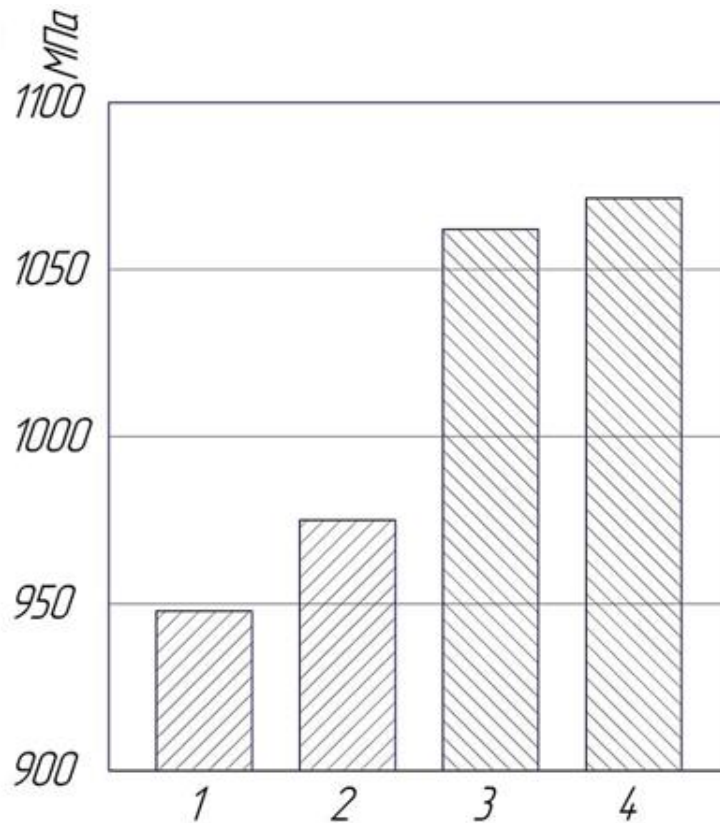
Взаємодія дуги з металом описується балансом сил, які у зоні зварювання. Глибина проплавлення залежить від тиску дуги на зварювальну ванну та опору рідкого металу її зануренню. Останнє характеризується поверхневим натягом і гідростатичним тиском металу, що витісняється зі зварювальної ванни.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		19

Експериментальні дані у випадку представлені у роботах [9,12]. Розрахунки, виконані з їхньої основи, для даного випадку показали, що сили поверхневого натягу за абсолютною величиною можуть перевищувати інші сили. Тому при зварюванні без активуючого флюсу дуга практично не занурюється в рідкий метал і викликає зміну кривизни поверхні зварювальної ванни. Занурення дуги в метал та рівновагу сил, що діють у зварювальній ванні для заданої глибини проплавлення, можливе за умови, що функція розподілу тиску дуги по радіусу анодної плями відповідає функції радіального розподілу щільності струму при зварюванні з використанням активатора [12].

Застосування активуючого флюсу також підвищує механічні властивості зварного шва. Для механічних випробувань, які проводились на ДП Івченка-Прогрес, були виготовлені пластини – зразки зі сплаву ЕП-718 (товщина пластини 3 мм). Однотипні зразки зварювали без оброблення кромek без застосування присадного матеріалу різними видами зварювання: аргонодуговим зварюванням без використання активатора, автоматичним аргонодуговим зварюванням без використання активатора, аргонодуговим зварюванням з використанням активатора та автоматичним аргонодуговим зварюванням з використанням активатора. При цьому особливу увагу приділяли отриманню максимального провару та шва заданої геометрії при зварюванні за один прохід. Після зварювання пластини піддавалися термообробці - гартуванню 1080 ± 10 °С, 10 ... 15 хв + старінню 780 ± 10 °С, 5 ... 6 годин. Результати міцнісних випробувань зварних швів показано на рис. 2.4.

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		20



1 – АДС; 2 – АДС + активуючий флюс; 3 – ААДС; 4 – ААДС + активуючий флюс

Рисунок 2.4 – Залежність зміни межі міцності від способу зварювання

Таким чином, застосування активатора при зварюванні корпусу відцентрового компресора дозволить збільшити значення погонної енергії та глибину проплавлення металу, що зменшить зварювальний струм та збільшить швидкість зварювання. Також це дасть можливість вести зварювання ААДС без присадкового дроту і замінити захисний газ з гелію на аргон, що істотно скоротить витрати матеріалів.

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

Як захисний газ використовується аргон зі зворотним піддувом аргону зі зворотного боку шва. Для зварювання використовується аргон вищого ґатунку за ГОСТ 10157-79. Електрод, що не плавиться - вольфрамовий, марки ЕВТ згідно з ГОСТ 23949-80, діаметром 2,1 мм.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата			21

Присадний дріт – Св-ЕП533(Св-08Х20Н57М8В8Т3Р), з діаметром 1,6 мм. Дріт зварювальний нержавіючий жаростійкий Св-08Х20Н57М8В8Т3Р застосовується для зварювання деталей з нікелевих сплавів з підвищеними вимогами до жаростійкості. Нікель складає основу даного сплаву, так само в ньому є такі елементи як молібден, вольфрам, титан. В результаті зварювання утворюється високоякісний шов із високими жаростійкими властивостями, стійкий до міжкристалічної корозії. Ця марка дроту призначена для зварювання та наплавлення деталей обладнання хімічного, енергетичного машинобудування та деталей газотурбінних двигунів. Хімічний склад дроту наведено у таблиці 2.1. Тимчасовий опір розриву дроту становить 882 – 1274 МПа [13].

Таблиця 2.1 - Хімічний склад зварювального дроту

C	Si	Mn	Ni	P	Cr	Mo	W	Fe
до 0,1	до 0,3	до 0,5	основа	до 0,015	19-22	7-9	7,8-9	до 3,0
		S		Ti				
		0,01		2,3-2,9				

Як спеціальний активатор для А-TIG зварювання використовується активуючий аерозольний флюс ПАТИГ Н-А.

З хімічним складом активуючого флюсу можна ознайомитися на прикладі флюсу ФС-71: 57,3% меленого кварцу SiO₂, 6,4% натрію фтористого NaF, 13,6% двоокису титану TiO₂, 13,6% титанового порошку, 9,1% оксид хрому Cr₂O₃ [11]. Точний хімічний склад флюсу ПАТИГ Н-А у відкритих джерелах не вказується.

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Зварювання виконується на постійному струмі прямої полярності. Параметри режиму зварювання для ААДС та АДС базової технології, що використовується на заводі, наведено в таблицях 2.2 та 2.3.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ				Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата					22

Таблиця 2.2 – Параметри режиму зварювання ААДС

Діаметр присадки d_p , мм	Струм зварювання $I_{зв}$, А	Напруга на дузі $U_{д}$, В	Швидкість зварювання $V_{зв}$, мм/сек	Витрата газу л/хв	
				основний	піддув
1,6	70-90	10-11	5,0	35-45	25-35

Таблиця 2.3 – Параметри режиму зварювання АДС

Діаметр присадки d_p , мм	Струм зварювання $I_{зв}$, А	Напруга на дузі $U_{д}$, В	Швидкість зварювання $V_{зв}$, мм/сек	Витрата газу л/хв	
				основний	піддув
2,0	60-90	10-11	-	25-35	25-35

При використанні активуючого флюсу вибір оптимальних режимів параметрів зварювання можна зробити, виходячи з результатів експерименту, що проводиться на пластині з нікелевого сплаву товщиною 3,15 мм [14]. У ньому були обрані такі критерії, за яких досягається гарантоване проплавлення шва:

- мінімальне значення погонної енергії Q ;
- мінімальна ширина шва з лицьового боку W ;
- ширина шва зі зворотного боку $B = 2$ мм.

Результати експерименту показано на рис. 2.5.

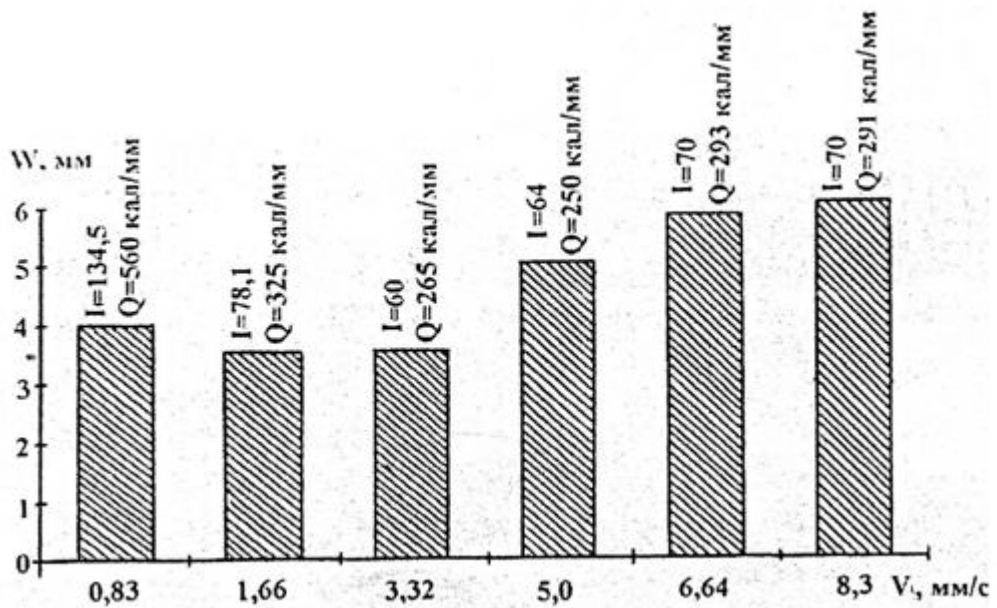
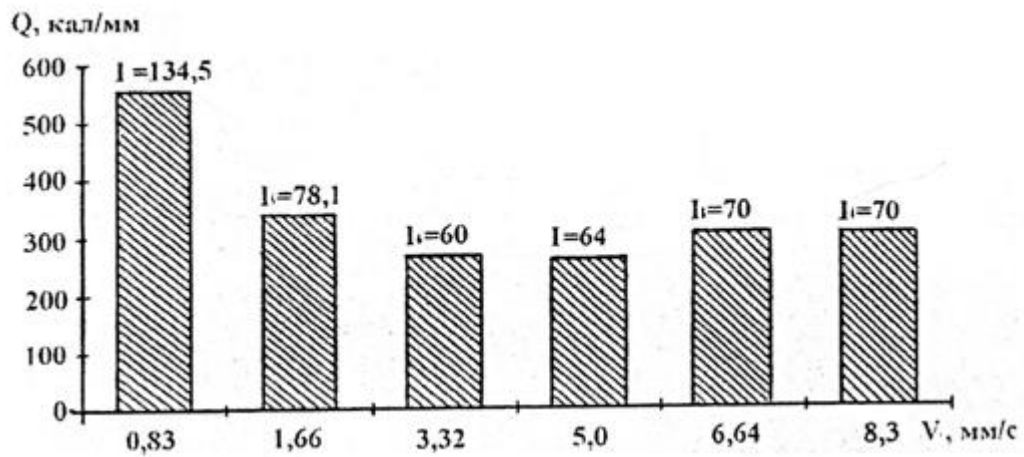


Рисунок 2.5 – Взаємозв'язок між швидкістю зварювання V та погонною енергією Q , вплив швидкості зварювання на ширину шва W при А-TIG зварюванні

Результати показали, що зі збільшенням швидкості зварювання від 0,83 до 3,32 мм/с знижується на 50 % значення погонної енергії, яка потрібна для отримання швів з повним проплавленням. Подальше збільшення швидкості призводить до збільшення ширини шва з лицьового боку на 70 % при однакових значеннях ширини шва зі зворотного боку. Рекомендовано виконувати зварювання на швидкості 3,32 мм/с при силі струму 60 А.

Параметри режиму зварювання ААДС та АДС з використанням активуючого флюсу ПАТІГ Н-А наведені у табл.2.3, 2.4.

Таблиця 2.3 – Параметри режиму зварювання ААДС + активуючий флюс

Діаметр присадки $d_{п}$, мм	Струм зварювання $I_{зв}$, А	Напруга на дузі $U_{д}$, В	Швидкість зварювання $v_{зв}$, мм/сек	Витрата газу л/хв	
				основний	піддув
-	60-65	10-11	3,32	35-45	25-35

Таблиця 2.4 – Параметри режиму зварювання АДС + активуючий флюс

	Діаметр присадки $d_{п}$, мм	Струм зварювання $I_{зв}$, А	Напруга на дузі $U_{д}$, В	Витрата газу л/хв	
				основний	піддув
Прихоплення	1,6	45-50	10-11	15-25	10-20
Зварювання	-	55-60	10-11	25-35	20 -30

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування

Для зварювання неплавким електродом застосовуємо випрямляч ВСВУ - 315. Призначений для живлення установок автоматичного та ручного дугового зварювання неплавким електродом стиснутою, безперервною та імпульсною дугою жароміцних, нержавіючих сталей та титанових сплавів у середовищі аргону, а також можливе зварювання покритими електродами вуглецевих сталей. Широкий діапазон регулювання зварювального струму. Можливість зварювання в імпульсному режимі з регулюванням тривалості (імпульс-пауза).

Технічна характеристика випрямляча ВСВУ – 315 представлена у табл.2.5.

Таблиця 2.5 - Технічні характеристики ВСВУ-400

Назва параметру	Значення
Номінальний зварювальний струм, А	315
Напруга мережі живлення, В	380
Режим роботи ПВ, %	60
Тривалість циклу, хв	60
Межі регулювання зварювального струму, А	8 – 350
Межі регулювання базового струму, А	8 – 120
Початкова робоча напруга, В	30
К.к.д., %	70
Час наростання струму, с	2 – 10
Час заварювання кратера, с	3 – 20
Крутизна зовнішньої ВАХ, В/А	6
Коефіцієнт потужності, %	60
Габаритні розміри, мм	700×520×1195
Маса, кг	60

Установка УДГУ-251 АС/DC призначена для аргонодугового зварювання електродом, що не плавиться (режим ТIG) на постійному або змінному струмі всіх металів і для ручного дугового зварювання покритими електродами (режим ММА). Має перемикач змінний/постійний струм (АС/DC). Джерело установки має тиристорне керування, широкий діапазон плавного регулювання зварювального струму, забезпечує легке збудження та стійке горіння дуги за рахунок вбудованого збудника-стабілізатора підвищеної надійності та потужності. [11]

Технічна характеристика установки УДГУ-251 представлена у табл.2.6.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики УДГУ-251

Назва параметра	Значення
	DC
Напруга мережі живлення, В	2x380
Частота мережі живлення, Гц	50
Номінальний зварювальний струм у режимі TIG, А	250 (35%)
Номінальна робоча напруга в режимі TIG,	20
Межі регулювання зварювального струму у режимі TIG, А	25-250
Межі регулювання напруги в режимі TIG,	10-20
Діаметр вольфрамового електрода (режим TIG), мм	0,8-5
Напруга холостого ходу, В, не більше	100
Потужність, що споживається, при номінальному струмі, кВА,	21
Маса, кг	105
Габарити, мм, не більше	750x390x770

Автомат А1002 із встановленим пальником Robacta TTW 4500. Автомат призначений для дугового зварювання в середовищі аргону. Водохолоджуваний автоматизований зварювальний пальник TIG із замінною головою пальника призначений для дугового зварювання електродом, що не плавиться, в середовищі захисних газів. [12]

Технічна характеристика автомата А1002 із встановленим пальником Robacta TTW 4500 представлена в табл.2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики зварювального автомата А1002 із встановленим пальником Robacta TTW 4500

Назва параметра	Значення
Швидкість подачі електродного дроту, м/хв.	0-22
Швидкість зварювання, м/год	8-120
Номінальний зварювальний струм при ПВ = 60%, А	320
Габаритні розміри апарату, мм, і маса його, кг:	
- довжина	950
- ширина	600
- висота	1850

- маса	160
Габаритні розміри шифи управління, мм, і його маса, кг:	
- довжина	930
- ширина	944
- висота	1395
- маса	132

Обертач зварювальний універсальний М-11040. Обертач призначений для нахилу виробу з маршової швидкістю в положення, зручне для зварювання та обертання виробів зі зварювальною швидкістю при автоматичному, напівавтоматичному та ручному дуговому зварюванні кільцевих швів, а також для встановлення виробу на маршеві швидкості обертання в положення, зручне для напівавтоматичного та ручного зварювання. Електроапаратура управління розміщена в окремій шафі. Керування обертачем кнопкове з дистанційного пульта. [13]

Технічна характеристика обертача М-11040 представлена у табл.2.8.

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики обертача М-11040

Назва параметра	Значення
Найбільша вантажопідйомність, кг	400
Найбільший діаметр виробу, що зварюється, мм	1500
Найбільший кут повороту планшайби, град	360
Найбільший кут нахилу планшайби, град	135
Номінальний зварювальний струм (ПВ-100%), А	1000
Габарити обертача (без шафи керування), мм	1500 x 800 x 810
Маса обертача (без шафи управління), кг	325
Маса загальна, кг	400
Найбільший крутний момент, Н*м:	
на осі обертання планшайби	400
на осі нахилу планшайби	630

Частота обертання планшайби, об/хв: для забезпечення зварювальних швидкостей для забезпечення маршової швидкості	0,063 - 3,15 3,15
Струм мережі живлення: Рід струму частота, Гц напруга, В	змінний 50 380

Токарно-гвинторізний верстат 165 призначений для обробки циліндричних, конічних і складних поверхонь - як внутрішніх, так і зовнішніх, а також для нарізування різьблення. Для обробки торцевих поверхонь заготовок застосовуються різноманітні різці, розгортки, свердла, зенкери, а також плашки та мітчики. [13]

Технічна характеристика токарно-гвинторізного верстату 165 представлена у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики токарно-гвинторізного верстата 165

Найменування параметру	Значення
Найбільший діаметр обробки над станиною, мм	1 000
Діаметр обробки над супортом, мм	650
Відстань між центрами	3 000 - 10 000
Діаметр циліндричного отвору в шпинделі, мм	128
Кількість ступенів частот обертання шпинделя	24
Межі частот обертання шпинделя, об/хв	5 - 500
Прискорене поздовжнє переміщення супорту, м/хв.	3
Прискорене поперечне переміщення супорта, м/хв	1
Потужність електродвигуна головного приводу	22 кВт
Найбільша вага оброблюваної деталі в центрах, кг	8 000 (10 000)
Габаритні розміри верстата (ДхШхВ), мм	6140x 2200 x1770
Маса верстата, кг	12 800

Електропіч з викочуванням ПВТ-1,2-2000 (СДО 10.22.9/12) призначена для загартування та інших видів термообробки металів. Електропіч розрахована для роботи при температурі навколишнього повітря від 10°C до 35°C відносної вологості до 80% при температурі 25°C.

Технічна характеристика електропечі СДН 10.22.9/12 представлена в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики електропечі

Найменування параметру	Значення
Діапазон робочих температур, °С	200 - 1200
Розмір робочого простору (шир/вис/глиб), мм	1000x900x2200
Габаритні розміри (шир/вис/глиб), мм	1800x2820x3600
Маса, кг	3000
Напруга мережі живлення, В	380
Потужність, кВт	120

Технічна характеристика миючої машини МПП-350 представлена табл.2.11.

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики миючої машини

Найменування параметру	Значення
Максимальне завантаження, кг	250
Розміри бака, що завантажується, (діаметр платформи), мм	1000
Висота бака, мм	700
Ємкість бака, л	200
Нагрів (на один бак), кВт	8
Габарити установки, мм	1050x1250x1800

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції

2.2.1 Заготівельні операції

Усі заготівельні операції - правлення, розмічування, різання, вальцювання, розроблення кромки під зварювання - виконуються, як правило, на

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		30

металообробних заводах і лише у виняткових випадках на будівельних майданчиках при необхідності обробити невелику кількість металу.

Виправлений, ретельно очищений від іржі та окалини метал має бути гладким і без хвиль.

Правлення листів та профільного металу проводиться в холодному стані на вальцях та пресах.



Рисунок 2.6 – Правлення листових заготовок

При прикладанні до поверхні виправлених листів шаблону довжиною 2 м не повинні утворюватися проміжки більше 2 мм, в іншому випадку метал підлягає повторному правленню. Правлять профільний метал у холодному стані на згинальних вальцях та пресах.



Рисунок 2.7– Правлення сортового прокату

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		31

Після розмічування листів за шаблонами згідно з робочими кресленнями вони надходять для різання на гільйотинних ножицях або за допомогою газових різаків ручним або напівавтоматичним способом.

Різання – це поділ на частини заготовок по незамкнутому контуру на спеціальних машинах - ножицях та штампах. [13]

Різання найчастіше застосовують як заготівельну операцію для поділу листа на смуги заданої ширини. Основні типи ножиць – ножиці з поступальним рухом ріжучих кромek ножа та обертальним рухом ріжучих кромek – дискові ножиці.

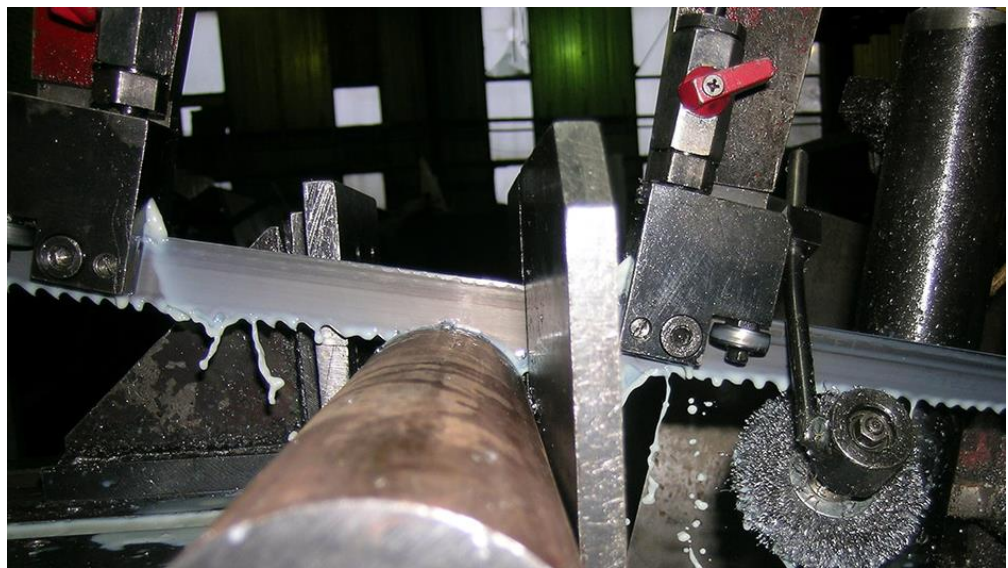


Рисунок 2.8 – Технологічна операція різання заготовок



Рисунок 2.9 – Складування заготовок після операції різання

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		32

Кромки листів, що підлягають стикуванню, обробляють відповідно до креслень на стругальних верстатах. Якість обробки металу перевіряють за допомогою шаблонів.

Кромки листів, що зварюються, повинні бути прямолінійними; для стикових елементів допускаються відхилення ± 1 мм від проектних розмірів, а для елементів, що з'єднуються внапусток ± 5 мм. Перед зварюванням кромки зачищають до металевого блиску.

При невеликому обсязі робіт листи можна гнути на плиті молотом через прокладку, а профільний метал - з підігрівом до кольору вишнево-червоного гартування.

2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

Перед початком складально-зварювальних робіт поверхня деталей зачищається до блиску з двох сторін на ширині 10-15 мм від стику та знежирюється. Деталі 1, 2, 3 (рис. 2.11) підганяються та збираються на пристосуванні під зварювання із зазором не більше 0,1 мм (рис. 2.11). Після цього проводиться прихоплення аргонодуговим зварюванням неплавким електродом, по режимах табл. 2.4. Схема прихоплення показано на рис. 2.10.

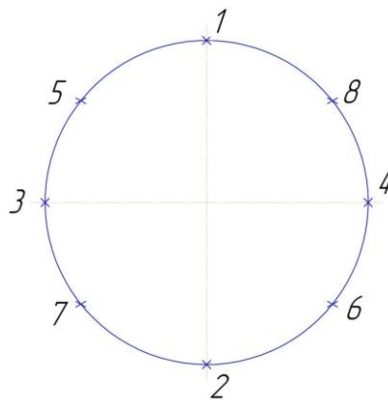
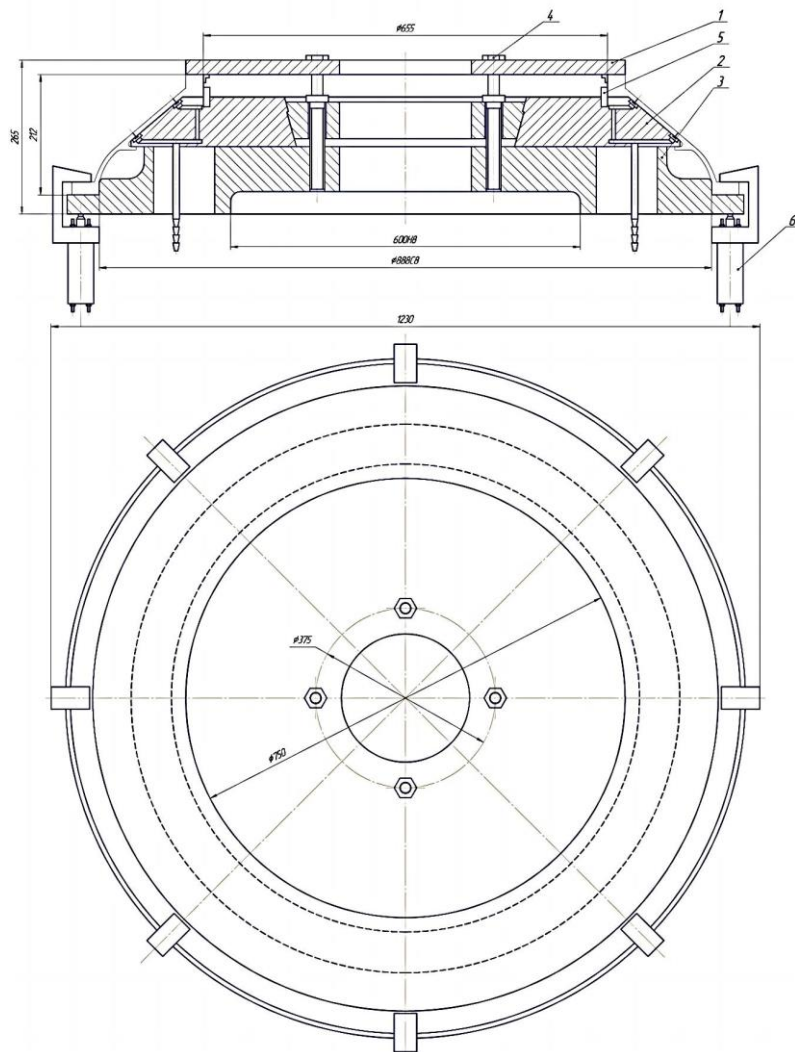


Рисунок 2.10 – Схема прихоплення

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		33



1 – фланець; 2 – обмежувальне кільце; 3 – муфта; 4 – болт;
5 – розпірка; 6 - струбцина

Рисунок 2.11 – Пристосування для першого зварювання корпусу ЦПК

Перед зварюванням наноситься активуючий флюс ПАТИГ Н-А. Активатор наноситься з лицьового боку на прилеглі до стику поверхні за один прохід з відстані приблизно 100 мм під кутом 25...45 до горизонтальної площини, рівномірно переміщуючи балончик. Ширина шару, що наноситься, повинна становити приблизно 30 мм (не менше 5 мм від кожної з кромek, що зварюються). Час висихання активатора після нанесення становить 60 секунд. Після чого деталі зварюються на установці для ААДС за режимами, представленими в табл. 2.3. Схема зварного з'єднання показано на рис. 2.12.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		34

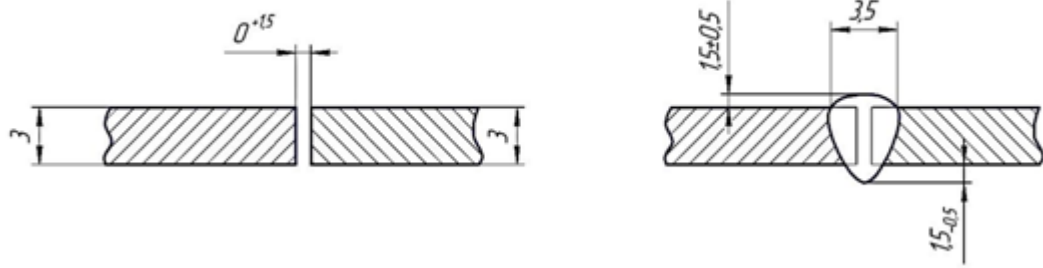


Рисунок 2.12 – Зварне з'єднання

Пристрій під зварювання розбирається, і перевіряються шви на наявність дефектів. Зварений вузол очищається від напливів і промивається, проводяться контроль якості та гартування (табл. 2.3). Після контрольної операції із загартованим вузлом проводять токарну та слюсарну обробку для підготовки конструкції до наступного зварювання. На токарному верстаті притираються торці деталі, притуплюються гострі кромки. [14]

Складання, зварювання та інші перераховані вище операції виконати в такій же послідовності для деталей 3, 4, 5 (рис. 2.1). Складання-зварювання проводити на пристосованні (рис. 2.13).

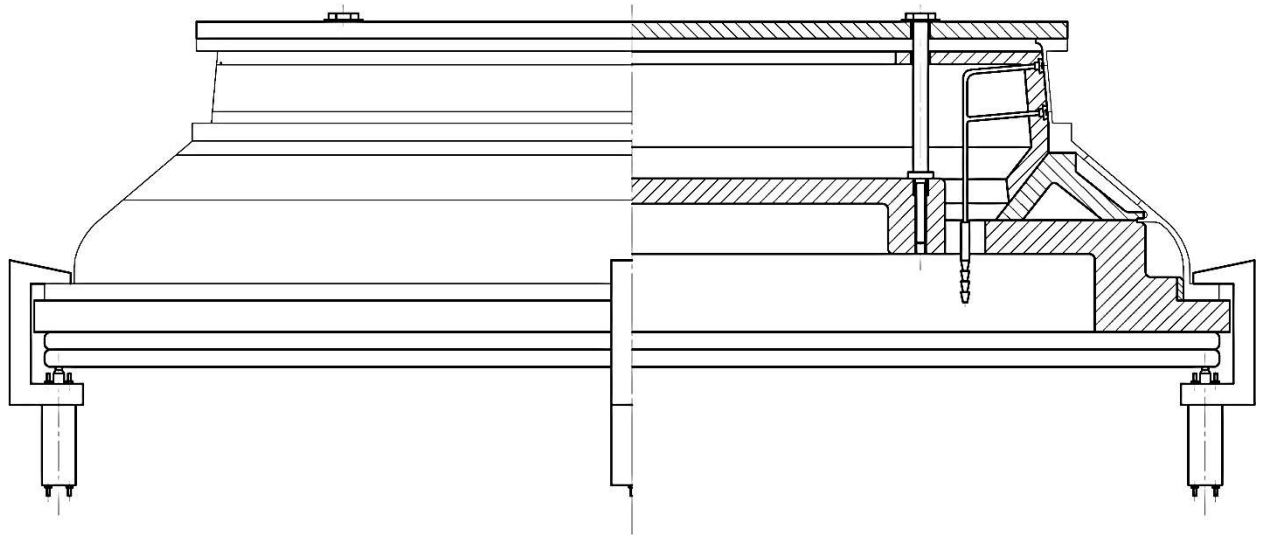


Рисунок 2.13 – Пристосування для зварювання корпусу ЦПК

Після цього проводиться розточувальна операція на токарно-гвинторізному верстаті для підготовки під зварювання арматури. На

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата			35

підготовлений корпус збираються деталі арматури для прихоплення та зварювання (рис. 2.8). Схему прихоплення вказано на рис. 2.6 при цьому допускається прихоплення на меншу кількість точок. Виконується зварювання АДЗ за режимами табл. 4.4. Після зварювання виконуються операції очищення, промивання, контролю якості та гартування (табл. 2.3). Проводиться контроль якості (табл. 2.3) та фінішна механічна обробка деталі: на токарно-гвинторізному верстаті виконуються слюсарні, токарні та розточувальні операції, після чого деталь набуває остаточного вигляду. [14]

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		36

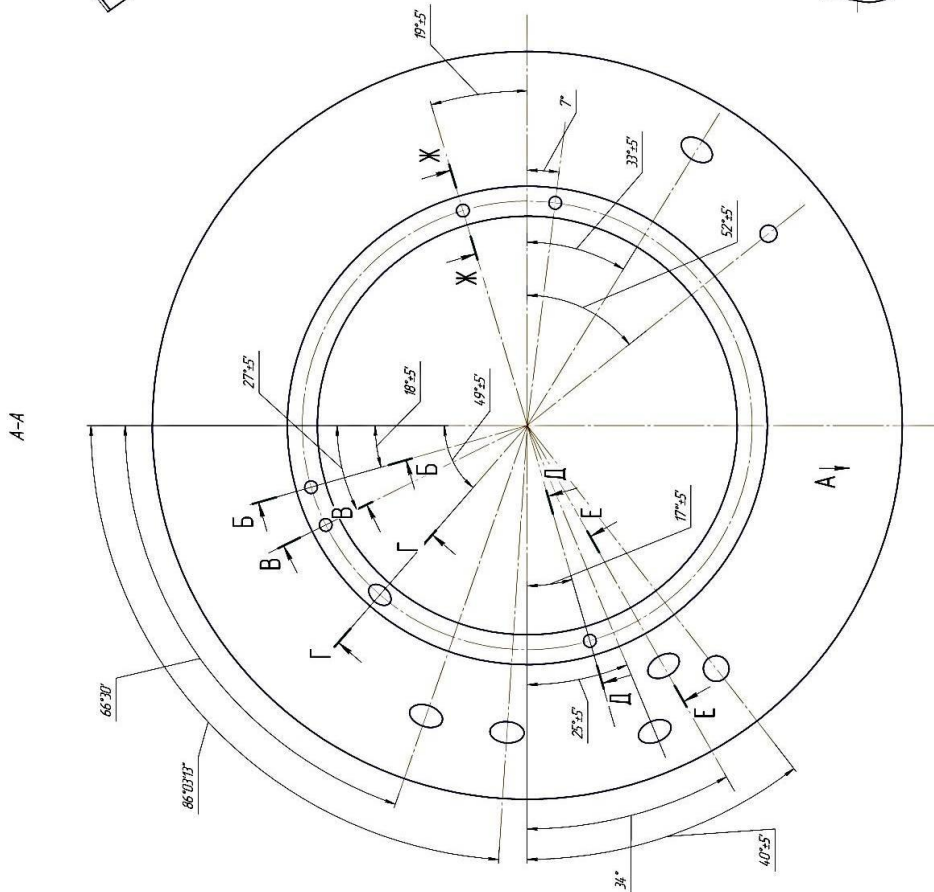
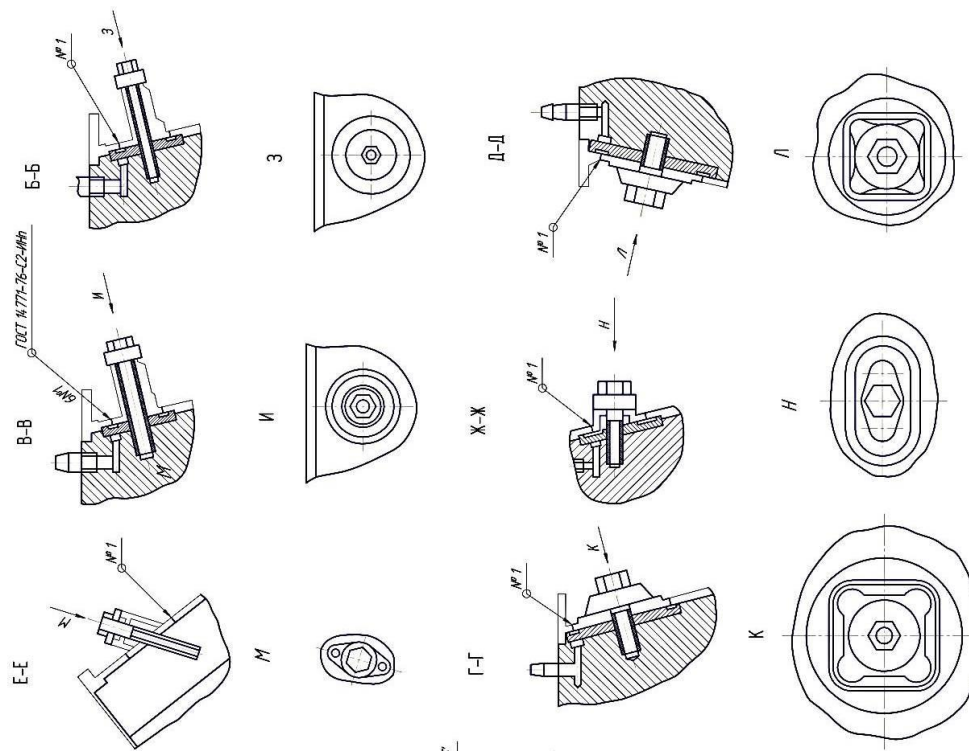


Рисунок 2.14 – Зварювання арматури

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата
----	-----	---------	--------	------

КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ

Арк

37

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями

Існує достатньо способів уникнути зварювальних дефектів внаслідок виникнення деформацій та напружень, що є у зварному шві. Мінімізація розмірів шва – найпростіший спосіб знизити небезпеку руйнування вузла. Із зменшенням ширини шва зменшується зона дії напруги, а також зусилля короблення деталі, викликані структурними змінами в ній. При стиковому зварюванні позитивний ефект досягається ретельною підготовкою кромки: їх обробляють у вигляді букв V, U або X. При кутовому зварюванні того ж результату можна досягти правильною формою перерізу шва: вона повинна мати вигляд параболічного трикутника, коли перепад напруг є найменшим. Слід зазначити, що зварювальні напруги можуть взаємно врівноважувати один одного, тому при двосторонньому шві одну його частину виконують увігнутим параболічним трикутником, а протилежну – опуклим. [15]

Зі збільшенням довжини шва ймовірність виникнення зварювальних напруг та деформацій зростає. Тому для розвантаження практикують виконання переривчастого шва, коли між його окремими ділянками залишають зони, що не зазнали теплового впливу полум'я або зварювальної дуги. Якщо за умовами міцності виконання переривчастого шва неможливе, то конструкції передбачають компенсаційні ребра жорсткості. Рівень та ймовірність виникнення зварювальних напруг та деформацій у поперечному напрямку різко знижується, якщо використовувати електроди збільшеного діаметра. У цьому температурний перепад по перерізу шва зменшується. Той ефект дає і зменшення кількості зварювальних проходів: кожен наступний збільшує рівень зварювальних напруг, які ще не встигли знизитися після попереднього проходу. З цією метою передбачають двосторонню (але однотипну) обробку кромки. При зварюванні деталей з різко різною товщиною або складного Z-подібного профілю, шов передбачають уздовж осі симетрії, коли відстань до обох крайок

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		38

приблизно однакова. У такому разі метал по обидва боки осі симетрії остигає приблизно в однакових умовах.

Для компенсації сил розтягування-стиску практикують виконання швів у зворотній послідовності. Внаслідок напруги взаємно врівноважуються. Зворотна послідовність можлива не лише за довжиною, а й за глибиною шва. [15]

Особливу групу способів, щоб знизити зварювальні напруги та деформації, утворюють конструктивні елементи: проміжні підкладні пластини, водоохолоджувані лещата і т.д. У першому випадку використовують метали, що відрізняються підвищеною теплоємністю, наприклад, мідь. Мідні трубки використовують і в конструкціях затискних пристроїв, при цьому місце подачі води повинно збігатися з місцем шва, що накладається. При виконанні довгих швів ефективні додаткові затискачі, які запобігають термічній деформації металу в зоні зварювання. Такі затискачі знімають лише після повного остигання з'єднаної конструкції. Кардинальним методом зняття напружень і деформацій, що виникають при зварюванні, є термічне оброблення готових конструкцій, а саме їх відпал. [15]

2.2.4 Технічний контроль якості

Контроль якості здійснюється способом гасової проби. Перед цим обов'язковим є візуальний огляд, зачищення зварного шва від бруду та шлаку.

Порядок проведення гасової проби: [16]

1. Нанести на зовнішню частину корпусу тонкий, рівномірний шар крейдяної обмазки (450 г крейди на 1 л води) за допомогою волосяної кисті.

2. Після просушування провести контроль якості нанесеної крейдової обмазки. Відшарування, тріщини, зони чистого металу, несправжні жирові плями не допускаються.

3. На внутрішню поверхню корпусу нанести гас пензлем не менше трьох разів з інтервалом 1-2 хвилини з подальшим візуальним оглядом.

4. Перевірку корпусу на герметичність гасово-крейдяним методом проводити за атмосферних умов через 15 хвилин після нанесення гасу.

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		39

5. Видалити крейдову обмазку з поверхні чистою водою за допомогою серветки.

6. Зневодити промиті місця спиртом і обдути стиснутим повітрям.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		40

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Компонування складальних та зварювальних установок

Установка для зварювання корпусу відцентрового компресора складається з (рис. 3.1):

- автомат А1002 із встановленим пальником Robacta TTW 4500;
- джерело живлення ВСВУ –315;
- обертач універсальний М-11040;
- колона зварювальна ПК-2.

Автомат А1002 2 із встановленим пальником Robacta TTW 4500 1 кріпиться на зварювальну поворотну колону ПК-2. Колона призначена для переміщення зварювального апарату при зварюванні кільцевих швів. Колона складається з основи 10, стійки 4, 8 консолі, каретки 7 і приводу підйому і опускання консолі. Вертикальне переміщення каретки з консоллю здійснюється від електродвигуна через 5-ступінчасту зубчасту передачу 6, ходовий гвинт 3 і гайку, укріплену на каретці. Каретка переміщається вертикальними напрямними стійки на чотирьох роликах. Стійку з консоллю повертають навколо осі основи вручну і закріплюють фрикційним затискачем. Кільцеві шви зварюють при нерухомому зварювальному апараті та обертанні виробу на оберталі 3 з робочою швидкістю зварювання. Електроапаратура обертача розміщена в окремій шафі 11.

Корпус відцентрового компресора збирається на пристрої під зварювання, в якому кожен елемент фіксується в потрібному положенні і встановлюються заори під зварювання. Після цього конструкція закріплюється за допомогою струбцин, розташованих по всій довжині корпусу, на план - шайбу обертача. Ручним аргонодуговим зварюванням виконується прихватка, потім обертач нахиляється на 85° для автоматичного зварювання в нижньому положенні.

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		41

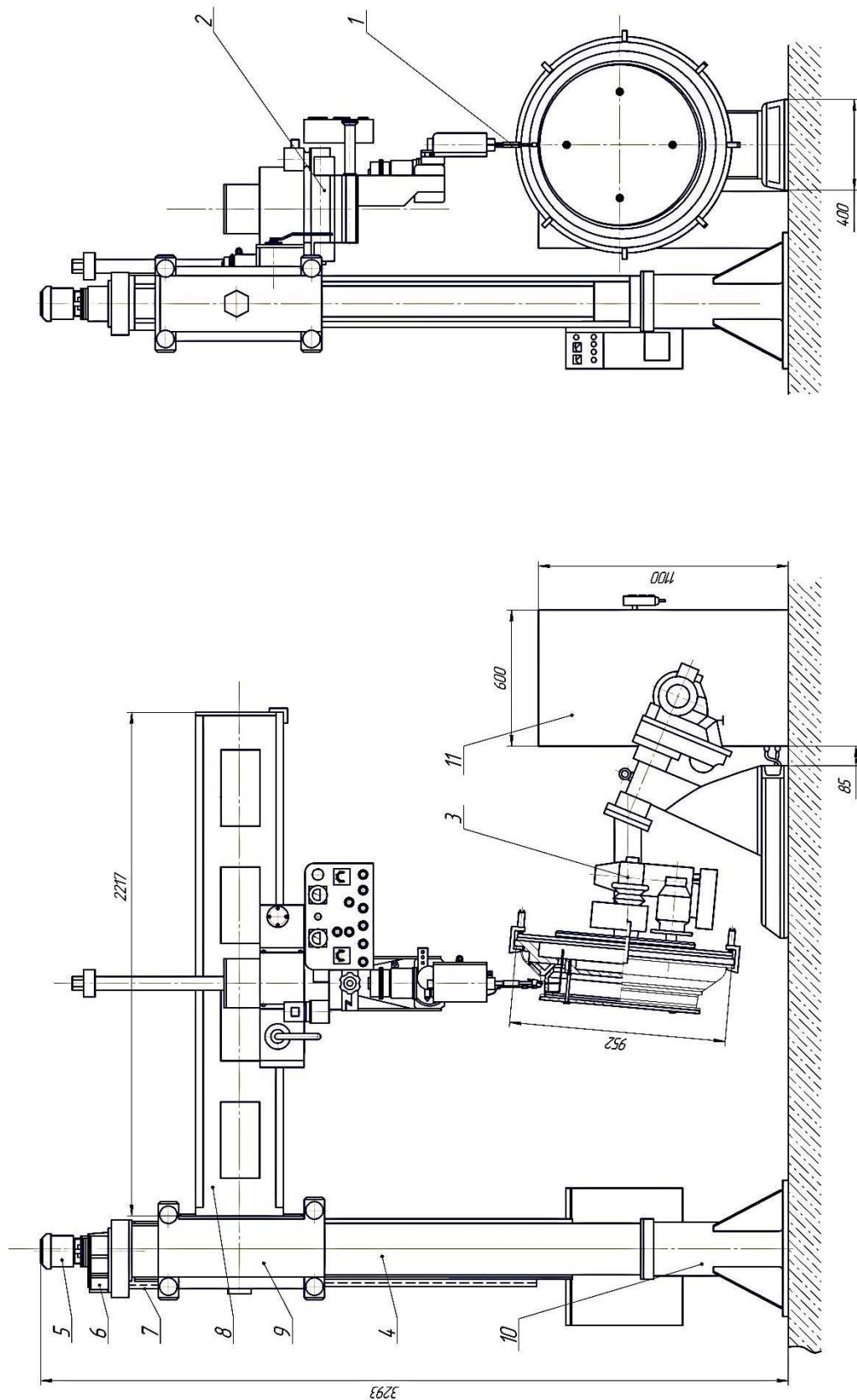


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд установки для зварювання корпусу компресора

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ

Арк

42

3.2 Розробка плану цеху

Розміщення цеху, всіх його виробничих відділень та ділянок, а також допоміжних, адміністративно-конторських та побутових приміщень має, по можливості, повністю задовольняти всі специфічні якості, вимоги процесів, що підлягають виконанню в кожному з цих відділень.

Для проектування ділянки вибираємо типову схему постановки із поздовжнім напрямом виробничого потоку.

Ділянка складання та зварювання корпусу відцентрового компресора розташовуватиметься у прольоті, ширина якого визначатиметься шляхом підрахунку суми розмірів ширини робочих місць, проходів та проїздів між ними [16].

Так як на ділянці розташовуватиметься дві лінії обладнання, то ширина прольоту визначатиметься за формулою 3.1.

$$V_{\text{пр}} \geq 2 \cdot (b_1 + b_{\text{об}} + b_{\text{пр}} + b_{\text{пр.х}}) \quad (3.1)$$

де, $V_{\text{пр}}$ - ширина прольоту, м;

b_1 – відстань від тильного боку робочого місця до осі поздовжнього ряду колон ($b_1 = 1$ м);

$b_{\text{об}}$ - найбільша ширина обладнання, м ($b_{\text{об}} = 4,0$ м);

$b_{\text{пр}}$ – ширина проїзду ($b_{\text{пр}} = 4$ м);

$b_{\text{пр.х}} = 1$ м - ширина проходів з кожного боку обладнання.

Таким чином:

$$V_{\text{пр}} = 2 \cdot (1 + 6 + 4 + 1) = 24 \text{ м}$$

Оскільки ділянка займає весь проліт, приймаємо $V_{\text{пр}} = 24$ м. Найближча стандартна ширина прольоту становить 24 м.

Розмір кроку колон становить 12 м. Висота прольоту проектованої ділянки визначається найбільшою висотою устаткування.

Висоту прольоту $H_{\text{п}}$ від рівня підлоги до виступаючих конструктивних елементів перекриття визначають за формулою 3.2.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		43

$$H_{\text{п}} \geq h_1 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6, \quad (3.2)$$

де h_1 – найбільша висота обладнання ($h_1 = 3,15$ м);

$h_3 = 1,8$ м – відстань від головки рейки до нижчої точки гака у верхньому положенні;

$h_4 = 1,2$ м – висота зачеплення (затяжок);

$h_5 = 0,4$ м – висота вантажу, що транспортується у прольоті;

$h_6 = 0,8$ м – відстань між нижчою точкою устаткування, що транспортується, та обладнанням, встановленим у прольоті ділянки.

Таким чином, висоту прольоту від рівня підлоги до рівня головки рейки підкранової колії дорівнює:

$$H_{\text{п}} \geq 3,4 + 1,8 + 1,2 + 0,4 + 0,8 \geq 7,6 \text{ м}$$

Приймаємо $H_{\text{п}} = 8$ м.

Висота прольоту ділянки від підлоги до найнижчого рівня затяжок перекриття дорівнює:

$$H_3 \geq H_{\text{п}} + h_7 + h_8, \quad (3.3)$$

де $h_7 = 0,7$ м - відстань від головки рейки до верхньої точки обладнання, встановленого на візку крана;

$h_8 = 0,9$ м – відстань між найвищою точкою обладнання та нижнім рівнем затяжок крокв [16].

$$H_3 \geq 8 + 0,7 + 0,9 \geq 9,6 \text{ м}$$

Приймаємо $H_3 = 10$ м.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		44

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Проведемо аналіз потенційних небезпек на робочому місці спроектованої ділянки: [17]

а) незадовільна організація робочого місця - може бути пов'язана з захарашенням робочої зони, недостатнім урахуванням вимог ергономіки, що може призвести до випадків травматизму та зниження комфорту праці;

б) незадовільна професійна підготовка фахівців, що може призвести до порушення технологічного процесу і як наслідок до випадків травматизму;

в) можливість ураження електричним струмом через порушення правил електробезпеки, відсутність захисного заземлення, частково оголених проводів, що може призвести до електричних травм або летальних наслідків;

г) напруженість праці – характеристика трудового процесу, обумовлена навантаженням переважно на центральну нервову систему, органи чуття, емоційну сферу працівника;

д) раптове руйнування посудин для зберігання захисних газів – внаслідок використання балонів з терміном придатності, яких закінчився, неправильного поводження з балонами, неправильного зберігання та транспортування цих балонів;

е) можливість механічного травмування, яке пов'язане з порушенням правил охорони праці або не використання індивідуальних захисних засобів;

е) незадовільні параметри повітряного середовища у робочій зоні – виникають через неефективну роботу систем опалення та вентиляції на виробничій ділянці, що може призвести до загальних захворювань;

ж) незадовільне освітлення робочої зони, що пов'язане з виходом з ладу приладів освітлення або їх надмірної забрудненості, що може призвести до зниження рівня освітленості, і як наслідок до травматизму;

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		45

з) можливість займання внаслідок невиконання норм пожежної безпеки або коротких замикань;

і) небезпеки, пов'язані з умовами праці за надзвичайних ситуацій. [17]

4.2 Заходи щодо забезпечення безпеки праці

а) Для належної організації робочого місця передбачаються: [17]

- організаційні заходи: перевірка робочих місць на відповідність ергономічним показникам згідно з ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартів безпеки праці. Робоче місце під час виконання робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги»;

- технічні заходи:

1) робоче місце зварювальника має бути обладнане у спеціальних кабінках при постійному робочому місці;

2) габарити kabіни: не менше 2×2 м² при висоті 1,8-2 м. Для покращення вентиляції стіни не доводяться до підлоги на 100-150 мм; матеріал стін азбоцементні плити, вхід завішувати брезентовим полотном, підлога цегляна або бетонна, що запобігає ковзанню взуття;

3) висота столу 500–700 мм; стілець зварювальника доцільно робити з гвинтовим підйомом для зручності повороту зварювальника і для надання належної висоти в залежності від зросту зварювальника та розмірів виробів, що зварюються;

4) трансформатори винесені за межі kabіни, для обслуговування обладнання передбачена зона не менше ніж 1,5 м, а ширина не менше ніж 1 м;

б) для виключення негативних наслідків, пов'язаних із незадовільною професійною підготовкою фахівців, у проекті передбачені такі заходи. Допуск до роботи людей не молодших 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання за спеціальністю, окреме навчання з електробезпеки, атестацію на відповідну

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		46

групу електробезпеки, відповідно до НПАОП 0.00.-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання та перевірки знань;

в) для виключення можливості ураження електричним струмом передбачені:

- організаційні заходи: допуск до роботи людей не молодших 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання за спеціальністю, окреме навчання з електробезпеки, атестацію на 2, 3 групу електробезпеки, відповідно НПАОП 0.00.-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення.

- технічні заходи: використання захисного заземлення відповідно до ПУЕ-2011 «Правила влаштування електроустановок». Влаштування захисного відключення електроустановок при аварійній ситуації відповідно до ГОСТ 12.4.155-85 «ССБТ. Влаштування захисного відключення. Класифікація. Загальні технічні вимоги. [17]

У тому числі захист від ураження електричним струмом забезпечується використанням індивідуальних засобів захисту: гумові килимки за ГОСТ 4997-75 «Килими діелектричні гумові. Технічні умови», наявність запобіжних пристроїв для переривання кола при неправильних діях персоналу за ГОСТ 17242-86 «Запобіжники низьковольтні плавкі силові. Загальні технічні умови».

г) Для релаксації наслідків напруженості та інтенсивності трудового процесу передбачено оптимальну організацію режимів праці та відпочинку згідно з КЗпП.

д) Для запобігання раптовому руйнуванню посудин для зберігання захисних газів передбачено:

- Організаційні заходи:

1) використання балонів згідно з ГОСТ 949-73 «Балони сталеві малого та середнього обсягу для газів на P_r не більше 19,6 МПа (200 кг/см^2). Технічні умови» місткістю до 50 дм^3 , робочим тиском $200 \times 10^2 \text{ кПа}$ (200 кгс/см^2) при температурі навколишнього повітря робочої зони не вище плюс $60 \text{ }^\circ\text{C}$ та коефіцієнті заповнення $0,72 \text{ кг/дм}^3$;

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		47

2) атестація балонів;

3) перед отриманням балонів зі складу. Огляд на відсутність вм'ятин та пошкоджень, наявності бірки про термін придатності балона, справність вентиля, перевірка наявності газу в балоні.

- технічні заходи: [17]

1) при зварюванні в середовищі захисних газів можна застосовувати лише редуктори згідно з ГОСТ Р 54791-2011 «Обладнання для газового зварювання, різання та споріднених процесів» із справними манометрами;

2) всі з'єднання редуктора повинні бути герметичні;

3) під час транспортування балонів з газом на них необхідно накрутити захисні ковпачки для запобігання випадковим пошкодженням та забрудненням. Переносити або пересувати їх слід на спеціальних пристроях (візках, ношах), щоб уникнути їх падіння або ударів один про одного;

4) в процесі зберігання та експлуатації не можна піддавати балони з газами нагріву, так як це призводить до підвищення тиску в них і може призвести до вибуху;

е) Для виключення механічних травм необхідно використовувати спецодяг: брезентові захисні костюми (штани, куртка) за ГОСТ 27575-87 «Костюми чоловічі для захисту від загальних виробничих забруднень та механічних впливів», брезентові рукавиці за ГОСТ 12.4.010-75 Засоби індивідуального захисту. Рукавиці спеціальні. Технічні умови», спеціальне взуття (шкіряні черевики або напівчоботи, з металевим носком) з глухим коміром за ГОСТ 28507-90 «Взуття спеціальне шкіряне для захисту від механічних впливів». [17]

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		48

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблялася технологія складання та зварювання корпусу відцентрового компресора двигуна Д-27.

Корпус – деталь відцентрового компресора, виготовлена із нікелевого сплаву ЕП-718, складається з п'яти зварних елементів та арматури.

Зварюваність матеріалу ускладнюється багатокomпонентністю його легування та різноманітністю умов експлуатації корпусу, який при роботі нагрівається до високих температур (понад 600 °С) та витримує високий тиск (понад 50 атм.). Ці особливості враховуються при виборі способу зварювання та матеріалів.

Базовою технологією зварювання корпусу відцентрового компресора є ручне та автоматичне аргонодугове зварювання неплавким електродом (TIG зварювання) з присадним матеріалом – дротом Св-ЕП533 (Св-08Х20Н57М8В8ТЗР). Цьому способу притаманні такі недоліки, як низька проплавляюча здатність дуги, яка в деяких випадках при зварюванні може призвести до перегріву шва, зони термічного впливу, а також деформування і значно ускладнити подальше стикування та складання виробу.

Щоб усунути недоліки базової технології, а також знизити витрати на матеріали, для зварювання вибирається А-TIG зварювання, при якому на поверхню матеріалу, що зварюється попередньо тонким шаром наносять спеціальний аерозольний активатор ПАТИГ Н-А. Застосування активатора при зварюванні корпусу відцентрового компресора дозволить збільшити значення погонної енергії та глибину проплавлення металу, що зменшить зварювальний струм та збільшить швидкість зварювання. Також це дасть можливість виконувати зварювання без присадного дроту і замінити захисний газ з гелію на аргон, що істотно скоротить витрати матеріалів.

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		49

Для автоматичного зварювання було обрано автомат типу А1002 із встановленим пальником Robacta TTW 4500. Джерело живлення – зварювальний випрямляч ВСВУ-350, обертач зварювальний універсальний – М-11040. Зварювальний апарат закріплений на зварювальній поворотній колоні ПК-2. Все обладнання зібране в єдину установку. Прихоплення та ручне зварювання виконується на установці для зварювання УДГУ-251.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		50

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зрілов В.А. Вітчизняні газотурбінні двигуни. Основні параметри та конструктивні схеми: навч. посібник/В.А. Зрілов. - М: Машинобудування, 2005. - 336с.
2. Технологія експлуатації, діагностика та ремонт газотурбінних двигунів / Ю.С Єлісеєв., В.В. Кримів, К.А. Маліовський, Попов В.Г. – М.: Вища школа, 2002. – 355 с.
3. Газотурбінні двигуни/А.А. Іноземців, В.Л. Сандрацький. - М: Видавництво ВАТ «Авіадвигун», 2006. – 1202 с.
4. Основи конструювання авіаційних двигунів та енергетичних установок: у 6 т. / Іноземців А.А., Ніхамкін М.А., Сандрацький В.Л. Т.2. Компресори. Камера згоряння. Форсажні камери. Турбіни. Вихідні пристрої. М.: "Машинобудування", 2008. – 367 с.
5. Координація зварювальних робіт [Електронний ресурс] – Електронні метод. вказ. до практичних занять та самостійної роботи з дисц. для студ. напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр/ Уклад.: О.А. Гаєвський, В. О. Гаєвський – К.: 2012.-48 с.
6. Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник / Г.О.Кривов, К.О.Зворикін. - К.: КВІЦ, 2012. - 896 с.
7. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. Посібник. – К.: Арістей, 2005. – 268 с.
8. Акулов А.І. Технологія та обладнання зварювання плавленням: Підручник для студентів вишів. / А.І. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Дем'янцевич. - М.: «Машинобудування», 1977. - 432с.

					КРБ.ЗТ-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		51

9. Савицький М. М., Кушніренко В. Н., Олійник О. І. Особливості зварювання сталей вольфрамовим електродом з флюсами, що активують (А-TIG-процес) // Автомат. зварювання. - 1999. - № 12. - С. 20-26.

10. Ющенко К. А., Коваленко Д. В., Коваленко І. В. Застосування активаторів при дуговому зварюванні вольфрамовим електродом в інертних газах (А-ТІГ) сталей та сплавів // Автоматичне зварювання. - 2001. - № 7. - С. 37-43.

11. Вплив активуючих флюсів на проплавну здатність зварювальної дуги та концентрацію енергії в анодній плямі / О. Є. Островський, В. Н. Крюковський, Б. Б. Бук та ін. // Зварювальне виробництво. - 1977. - № 3. - С. 3-4.

12. Щільність струму в анодній плямі при зварюванні звичайних та рафінованих сталей/М.М. Савицький, В.С. Гвоздецький, В.І Скринник, Н.І. Варенко// Автоматичне зварювання. - 1979. - №7. С. 17-20.

13. Прохоров В.І. Курс лекцій з дисципліни «Контроль зварних з'єднань» К.: НТУУ «КПІ», 2005. -161с.

14. А-TIG зварювання нікелевого сплаву НІМОНІК-75 / К. А. Ющенко, І. В. Коваленко, Д. В. Коваленко та ін // Зварювальник. - 2000. - № 4. - С. 26-27.

15. А.Д. Гітлевич Альбом механічного обладнання зварювального виробництва / Гітлевич А.Д.. - М.: Вища школа, 1974. – 142 с.

16. Зварювання у машинобудуванні. Довідник Т4/За ред. Зоріна Ю. І. - М.: Машинобудування, 1972. – 296 с.

17.Вайнштейн В.Е. Безпека і охорона праці на підприємствах машинобудування [Текст] / В.Е. Вайнштейн. - К.: Вища школа, 1999.-262 с.

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		52

ДОДАТКИ

					КРБ.3Т-56.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		53