

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: «Розробка технологічного процесу складання та зварювання барабана
авіадвигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В»

Виконав: студент 2 курсу, групи ІФ-312м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма

«Технології та устаткування зварювання»

Пелешко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н, доц, Лаптева Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Франов В.С.

(прізвище та ініціали)

2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний інститут, Інженерно-фізичний факультет
Кафедра Інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій
Ступінь вищої освіти _____
Спеціальність 131 Прикладна механіка

(код і найменування)

Освітня програма «Технологія та устаткування зварювання»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Олександр КАПУСТЯК

« 21 » грудня 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТА(КИ)
Пелешко Владислав Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Розробка технологічного процесу складання та зварювання барабана авіадвигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В

керівник проєкту к.т.н., доц., Лаптева Г.М.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «__» _____ 2023р. №__

2. Строк подання студентом проєкту _____
3. Вихідні дані до проєкту барабана авіадвигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В, виготовлений з титанового сплаву ВТ8

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристики авіадвигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В 2. Характеристика умов роботи барабана 3. Характеристика матеріалу барабана 4. Технологічні особливості зварювання титанових сплавів 5. Розробка технологічного процесу електронно-променевого зварювання барабану 6. Охорона праці та безпека при виконанні електронно-променевого зварювання 7. Техніко-економічна оцінка ефективності пропонованої технології

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Конструктивно-компонувальна схема двигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В 2. Барабан 3. Умови роботи барабана 4. Зношування деталей КВТ 5. Установка ЕЛУ-9Б 6. Пристосування для ЕПЗ барабана 7. ЕПЗ барабана 8. Техніко-економічна оцінка ефективності технології ЕПЗ барабану

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Лаптева Г.М., к.т.н., доц.	03.09.23	10.09.23
2	Лаптева Г.М., к.т.н., доц.	10.09.23	15.10.23
3	Лаптева Г.М., к.т.н., доц.	16.10.23	30.10.23
4	Лаптева Г.М., к.т.н., доц.	02.11.23	11.10.23
5	Лаптева Г.М., к.т.н., доц.	12.10.23	20.11.23
Нормоконтр 6	Корнієнко О.Б., ст. в.к.п. Нестеров О.В.		21.12.23

7. Дата видачі завдання «09» вересня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1	Характеристики авіадвигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В	10.09.23	виконав
2	Характеристика умов роботи барабана	15.10.23	виконав
3	Характеристика матеріалу барабана	30.10.23	виконав
4	Технологічні особливості зварювання титанових сплавів	11.10.23	виконав
5	Розробка технологічного процесу електронно-променевого зварювання барабану	20.11.23	виконав
6	Охорона праці та безпека при виконанні електронно-променевого зварювання	30.11.23	виконав
7	Техніко-економічна оцінка ефективності технології ЕПЗ барабану	12.12.23	виконав

Студент(ка)


(підпис)

Пелешко В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту


(підпис)

к.т.н., доц. Лаптева Г.М.
(прізвище та ініціали)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АДЗ – автоматичне дугове зварювання
- ВНА – вхідний направляючий апарат
- ГТД – газотурбінний двигун
- ЛА – літальний апарат
- НА – направляючий апарат
- КВТ – компресор високого тиску
- ТО – термообробка
- ТУ – технічні умови
- ЕПЗ – електронно-променеве зварювання
- ЗТВ – зона термічного впливу

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з 69 ст., 7 розділів, 23 рисунків, 14 таблиць, 28 літературних джерел.

БАРАБАН АВІАДВИГУНА ТВ3-117ВМА-СБМ1В, ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ ЗВАРЮВАННЯ, СПЛАВ ВТ8

Об'єкт дослідження – барабан авіадвигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В, виготовлений з титанового сплаву ВТ8.

Мета роботи – розробити технологію складання та електронно-променевого зварювання барабана авіадвигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В, виготовленого з титанового сплаву ВТ8.

Метод дослідження - аналіз літературних даних, виконання експериментальних зварювальних зразків та конструкції з дотриманням розробленої технології.

ABSTRACT

The master's thesis comprises a certain 69 number of pages, 7 chapters, 23 illustrations, 14 tables, and 28 references.

**ENGINE DRUM TV3-117VMA-SBM1V, ELECTRON BEAM WELDING,
VT8 ALLOY**

The research object is the drum of the TV3-117VMA-SBM1V aircraft engine, manufactured from the titanium alloy VT8.

The aim of the work is to develop the assembly and welding technology of the drum of the TV3-117VMA-SBM1V aircraft engine, made of the titanium alloy VT8.

The research method involves the analysis of literature, the execution of experimental welding samples, and the construction adhering to the developed technology.

ЗМІСТ

Реферат.....	5
Вступ.....	9
1 Характеристики авіадвигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В.....	11
1.1 Характеристика барабана двигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В.....	14
2 Характеристика умов роботи барабана.....	18
3 Характеристика матеріалу барабана.....	22
3.1 Аналіз механічних, хімічних та фазово-структурних властивостей титанового сплаву ВТ8.....	22
4. Технологічні особливості зварювання титанових сплавів.....	28
4.1 Зварюваність титанових сплавів.....	28
4.2 Технологічні прийоми електронно-променевого зварювання титанових сплавів.....	31
5. Розробка технологічного процесу електронно-променевого зварювання барабану.....	36
5.1 Технологія складання та зварювання барабану двигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В.....	36
5.2 Контроль якості зварних з'єднань вихроструменевим методом та ЛЮМ-10В.....	44
6. Охорона праці та безпека при виконанні електронно-променевого зварювання.....	47
6.1 Аналіз потенційних небезпек при виготовленні барабану двигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В.....	47
6.2 Заходи безпеки під час виконання складально-зварювальних робіт.....	42

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці...	53
6.4 Заходи з пожежної безпеки.....	56
6.5 Заходи електробезпеки при виконанні зварювальних робіт.....	57
6.6 Заходи від ураження рентгенівським випромінюванням під час роботи з ЕПВ	59
6.7 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях....	60
Висновок.....	63
Перелік джерел посилання.....	64
Додаток А Вихрострумний дефектоскоп ВД-43А.....	67
Додаток Б Зварювальна установка ЕЛУ-9Б.....	69

ВСТУП

Вирішальне значення у вирішенні проблем із забезпеченням ресурсу та надійності авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД), а також у розробці двигунів нового покоління має розвиток, вдосконалення та впровадження нових технологічних процесів, методів обробки деталей і устаткування. Ці ініціативи спрямовані на підвищення не лише продуктивності, але й якості виготовлення.

Однією з ключових стратегій для покращення робочих характеристик роторів компресора турбінного двигуна є розробка та впровадження виробничих технологій нового покоління. Ці технології дозволяють досягти високої якості виготовлення та підвищити тривалість служби деталей ротора компресора. В сучасній авіаційній промисловості, де особливо важлива надійність та безпека польотів, підвищення тривалості служби деталей є вагомим метою. Розробка передових технологічних методів дозволяє уникнути дефектів та недоліків під час виготовлення роторів компресора, таких як тріщини, подряпини чи деформації. Використання нових технологій, таких як лазерне зварювання, електроерозійна обробка або високоточна обробка, дозволяє досягти високої точності та якості деталей. Підвищення тривалості служби деталей ротора компресора має значний вплив на ефективність та надійність турбінного двигуна. Збільшення тривалості служби дозволяє знизити витрати на технічне обслуговування та ремонт, а також забезпечує безпечний та стабільний роботу двигуна протягом тривалого періоду. Отже, розробка та впровадження передових виробничих технологій є невід'ємною частиною сучасної авіаційної промисловості. Впровадження нових технологій дозволяє досягти високої якості виготовлення деталей ротора компресора турбінного двигуна, що сприяє підвищенню тривалості їх служби та забезпечує безпеку та ефективність авіаційного двигуна.

Використання нових структурних матеріалів, заснованих на

високотемпературних і високоактивних металах вимагає розробки методів їх обробки з використанням високоенергетичного джерела тепла в умовах захисту від взаємодії з газами повітря, такими як кисень та азот. Електронно-променева технологія є найбільш відповідною цим вимогам [1].

У проєкті розглядається технологічний процес складання та зварювання за допомогою ЕПЗ способу барабана авіадвигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В.

1. ХАРАКТЕРИСТИКИ АВІАДВИГУНА ТВ3-117ВМА-СБМ1В

Призначений для встановлення на вертольоти середнього класу різного призначення. Потужність на злітному режимі складає від 2000 до 2500 к.с. в залежності від налаштування САУ. Двигун ТВ3-117ВМА-СБМ1В 1 серії створений на базі сертифікованого двигуна ТВ3-117ВМА шляхом застосування модернізованої електронно-цифрової системи автоматичного управління, яка дозволяє [2]:

- підвищити точність підтримки і обмеження параметрів роботи двигуна;
- виключити з конструкції двигуна механічний привід регулятора оборотів основного гвинта ("гнучкий валик");
- вести облік напруцювання двигуна по режимах;
- реалізувати алгоритм протипомпажного захисту двигуна;
- застосувати в конструкції двигуна систему виміру обертаючого моменту.



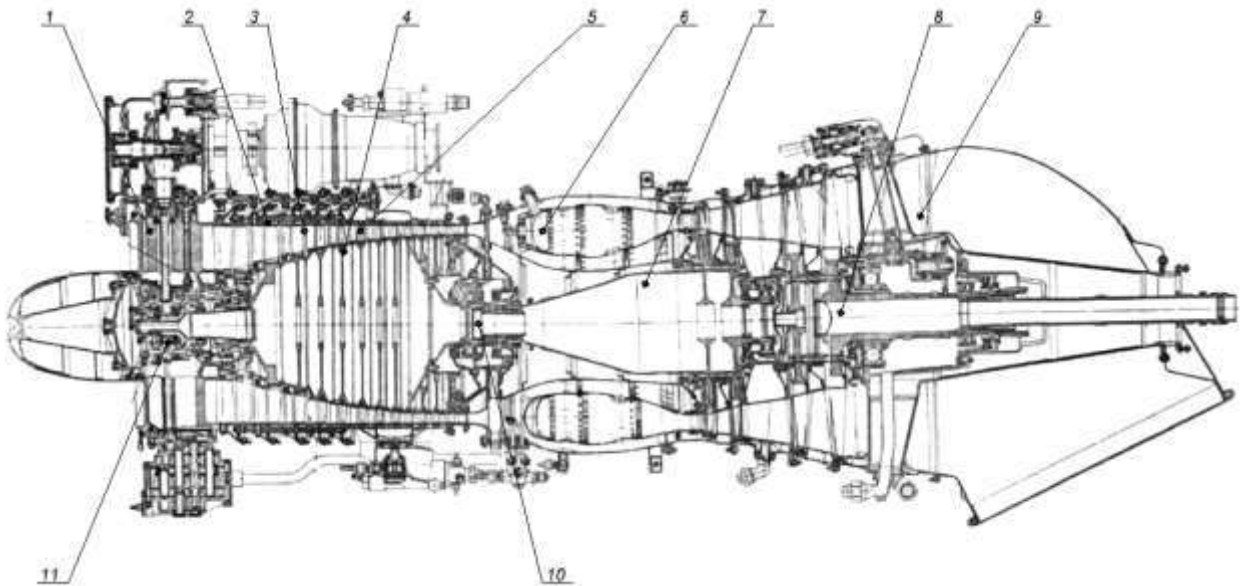
Рисунок 1.1 – Вертолітний авіадвигун виробництва “Мотор Січ” ТВ3-117ВМА-СБМ1В 1 серії [2]

Авіадвигн ТВЗ-117ВМА-СБМ1 складається із таких основних вузлів:

- а) 12-ти ступеневий компресор;
- б) кільцева камера згорання з 12 форсунками;
- в) 2-ступінчаста осьова турбіна, соплові лопаті турбіни охолоджуються повітрям відібраним за компресором;
- г) 2-ступінчаста вільна турбіна;
- д) задній редуктор;
- ж) редуктор гвинта.

Двигун може експлуатуватися на вертольоті як з встановленим на вході пілозахисним пристроєм, так і без нього.

На рисунку 1.2 зображена конструктивно - компоновочна схема двигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ. включає в себе вхідний пристрій, компресор, камеру згорання, турбіну компресора, вільну турбіну і вихідний пристрій.



1 – ВНА, 2 – компресор, 3 – НА, 4 – барабан, 5 – робочі лопатки компресора, 6 – камера згорання, 7 – турбіна, 8 – вільна турбіна, 9 – вихідний пристрій, 10 – задня опора, 11 – передня опора

Рисунок 1.2 – Конструктивно - компоновочна схема двигуна ТВЗ - 117ВМА-СБМ1В [3]

Основні переваги авіадвигна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В наступні:

- висока надійність;
- великий ресурс;
- простота обслуговування в експлуатації;
- низька вартість життєвого циклу.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики ТВЗ-117ВМА- СБМ1В [3]

Режим 2,5-хвилинної потужності Перший режим тривалої потужності 60 хв. (1ТП) при ОНД (Н=0, М=0, МСА):	
Потужність, к.с. (кВт) підтримується до t_3 , °С	2800(2059), 2400(1765)* ¹ +38, +41* ¹
Другий режим тривалої потужності 60 хв. (2ТП) при ОНД Режим тривалої злітної потужності 30 хв., Злітний режим (Н=0, М=0, МСА):	
Потужність, к.с. (кВт) підтримується до t_3 , °С	2000*(1470) ... 2500*(1838) +58...+37
Питома витрата палива, кг/к.с.·год (кг/кВт·год)	0,220(0,299) ... 0,209(0,284)
Крейсерський режим (Н=0, М=0, МСА):	
Потужність, к.с. (кВт) підтримується до t_3 , °С	1500(1104) ... 1750(1278) +45... +35
Суха маса двигуна, кг	295

* САУ двигуна дозволяє налаштувати значення потужності на злітний режим - 2500, 2400, 2200 і 2000 к.с. (залежно від типу літального апарату, на який встановлюється двигун).

*¹ Для двигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В-02К 1 серії

Однією з особливостей конструкції турбовального двигуна є присутність незалежної турбіни, яка не має кінематичного зв'язку з ротором

турбокомпресора. Потужність, що генерується вільною турбіною, передається редуктору і складає ефективну потужність двигуна.

Ця характеристика має ряд конструктивних та експлуатаційних переваг:

- забезпечує можливість досягнення заданої частоти обертання ротора вільної турбіни, незалежно від обертання ротора турбокомпресора двигуна;
- спрощує процес розкручування ротора турбокомпресора при запуску двигуна:
- дозволяє отримати оптимальні витрати палива при різних режимах експлуатації двигуна;
- усуває необхідність використання фрикційної муфти в силовій системі вертольота [3].

В таблиці 1.1 наведені технічні характеристики авіадвигна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В [1].

1.1 Характеристика барабана двигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В

Конструкцією, що поєднує в собі переваги роторів барабанного і дискового типу, є ротор змішаного типу, що показано на рисунку 1.3. В даному випадку окремі секції, що мають диски і барабанні секції, з'єднуються між собою. Причому з'єднання робиться на такому радіусі, де окружна швидкість невелика і допускається за умовами міцності барабана.

Достоїнствами ротора барабанно-дискового типу є:

- порівняно велика жорсткість;
- висока критична частота обертання;
- велика несуча здатність дисків;
- висока робоча окружна швидкість - до 400 м/с.

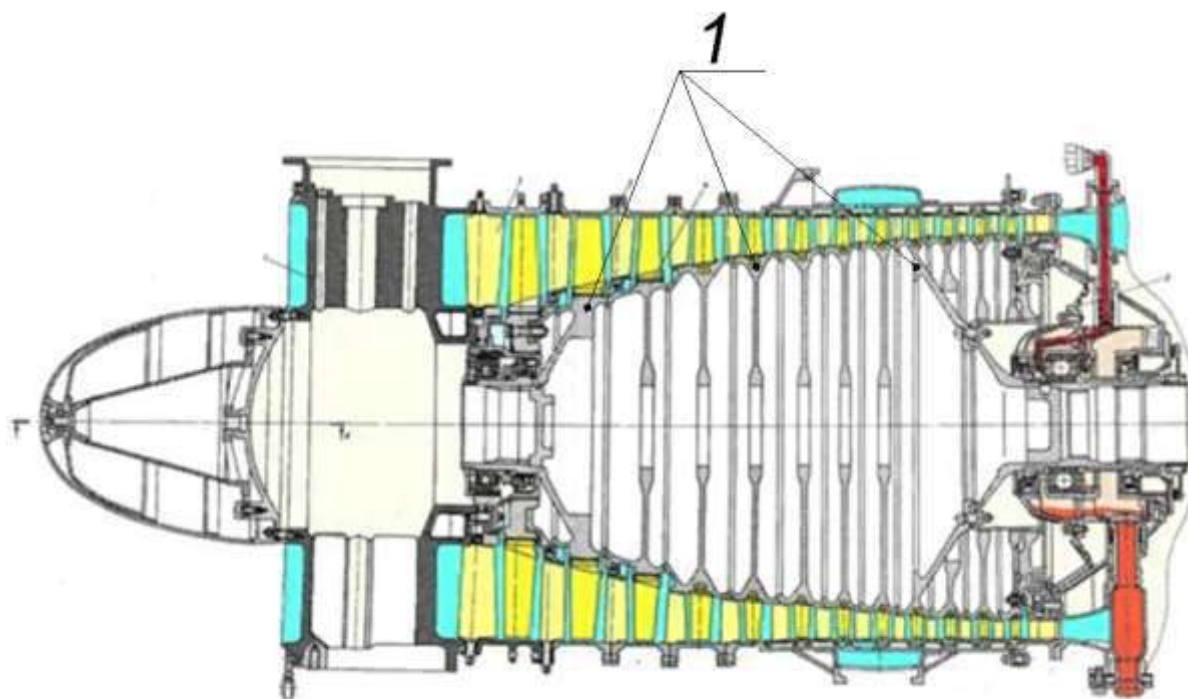


Рисунок 1.3 – Ротор (1) барабанно-дискового типу авіадвигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В [1]

Барабани компресора мають зварену конструкцію. Вона включає в себе диски, які з'єднані між собою за допомогою методу електроннопроменевого зварювання. Для виробництва барабанів використовують двофазні титанові сплави, такі як ВТ8, ВТ9 та інші. Ці сплави досягають необхідного рівня механічних властивостей завдяки складній системі легування, яка комбінується із спеціальним структурним станом.

На рисунку 1.4 зображено загальний вигляд компресора з лопатками авіаційного двигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В [1]

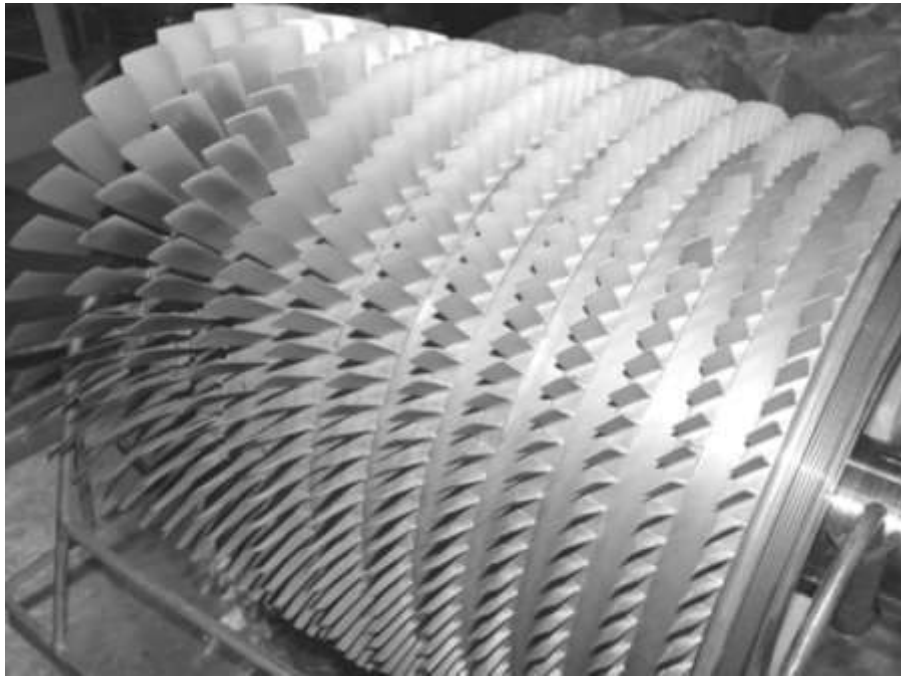


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд компресора з лопатками авіаційного двигуна ТВ3-117 [4]

Ротор компресора дискобарабанного типу (рисунок 1.5) виготовлений з дванадцяти дисків, з'єднаних між собою зварюванням, крім диска першого ступеня, який кріпиться болтами (10) до проставки, привареною до диску другого ступеня.

Передня цапфа (9) ротора виготовлена як одне ціле з диском другого ступеня. Задня цапфа (6) кріпиться болтами (3) до диска дев'ятій ступені.

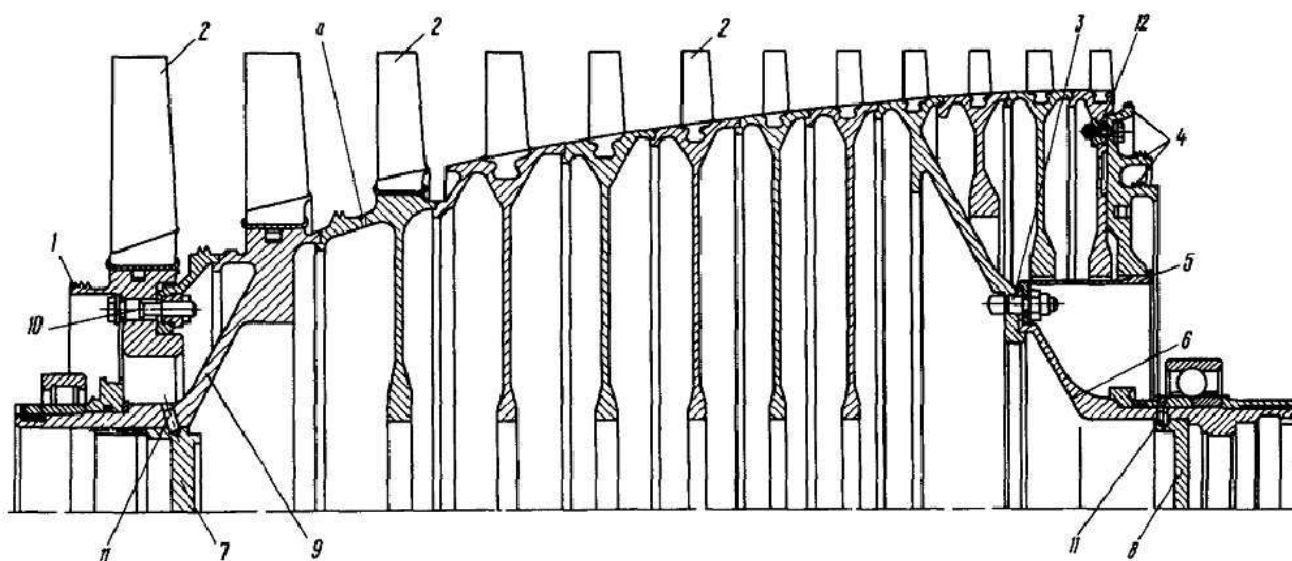
З передньої і задньої сторін ротор має лабіринтові ущільнення (1) і (4). Ущільнення (1) виконано як одне ціле з диском першого ступеня. Ущільнення (4) кріпиться до диска дванадцятої шаблі гвинтами (12). Усередині барабана встановлені дві заглушки - заглушка (7) відокремлює масляну порожнину першої опори від внутрішньої порожнини барабана. Заглушка (8) відокремлює внутрішню порожнину барабана від попадання вторинного повітря камери згоряння. Заглушки (7) і (8) фіксуються від переміщення штифтами (11).

Для дренажу можливого попадання масла з внутрішньої порожнини барабана виконаний отвір. Для запобігання попадання масла в порожнину

ротора встановлений екран (5), який кріпиться болтами (3) до диска дев'ятої ступені.

Лопатки робочих коліс першої, другої і третьої ступені встановлені в окремі пази типу "ластівчин хвіст". Лопатки інших ступенів встановлені в кільцеві проточки з профілем типу "ластівчин хвіст", в які лопатки заводяться через спеціальне вікно. Крутний момент від валу турбіни передається до ротора компресора через евольвентні шліци, виконані всередині шийки задньої цапфи.

Статичне балансування ротора проводиться підбором по масі робочих лопаток і вкладишів. Динамічне балансування ротора в передній площині здійснюється підбором по масі болтів кріплення диска I ступені, а в задній площині - балансувальними штифтами, встановленими в диск лабіринтів [3].



1 – лабіринтове ущільнення, 2 – лопатки, 3 – болт, 4 – лабіринтове ущільнення, 5 – екран, 6 - задня цапфа, 7 – заглушка, 8 – заглушка, 9 – передня цапфа, 10 – болт, 11 –штифт, 12 – гвинт, а – дренажний отвір

Рисунок 1.5 - Ротор компресора [3]

2 ХАРАКТЕРИСТИКА УМОВ РОБОТИ БАРАБАНА

Барабан авіадвигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В працює у складних високонавантажених умовах. На нього діють стискаючі та розтягуючі сили при високих обертах, підвищенні температури, а також абразивні частинки, що призводять до абразивного, втомного зношування.

В таблиці 2.1 наведені основні експлуатаційні параметри двигуна, що дозволяє оцінити навантаженість барабана.

Таблиця 2.1 - Основні експлуатаційні параметри двигуна [3]

Режим	Потужність на вивідному валу	Частота обертів, %	Температура газів перед турбіною, °С	Питома витрата палива, г/л.с.год
Максимальний тривалий (номінальний)	1700	100	845	251
1 Крейсерський	1500	100	815	262
2 Крейсерський	1200	100	770	283

Основними факторами, які найчастіше призводять до несправностей та відмов компресора, є пошкодження внаслідок потрапляння сторонніх предметів, руйнування внаслідок втоми, а також корозія і ерозія [5].

Високий рівень газоабразивного зношування помітний на компонентах газоповітряного тракту газотурбінних двигунів вертольотів, які експлуатуються на наземних аеродромах та в місцях з великою кількістю пилу [6].

Фактори експлуатації, які активують процеси газоабразивного зношування елементів газоповітряного тракту, включають такі основні аспекти:

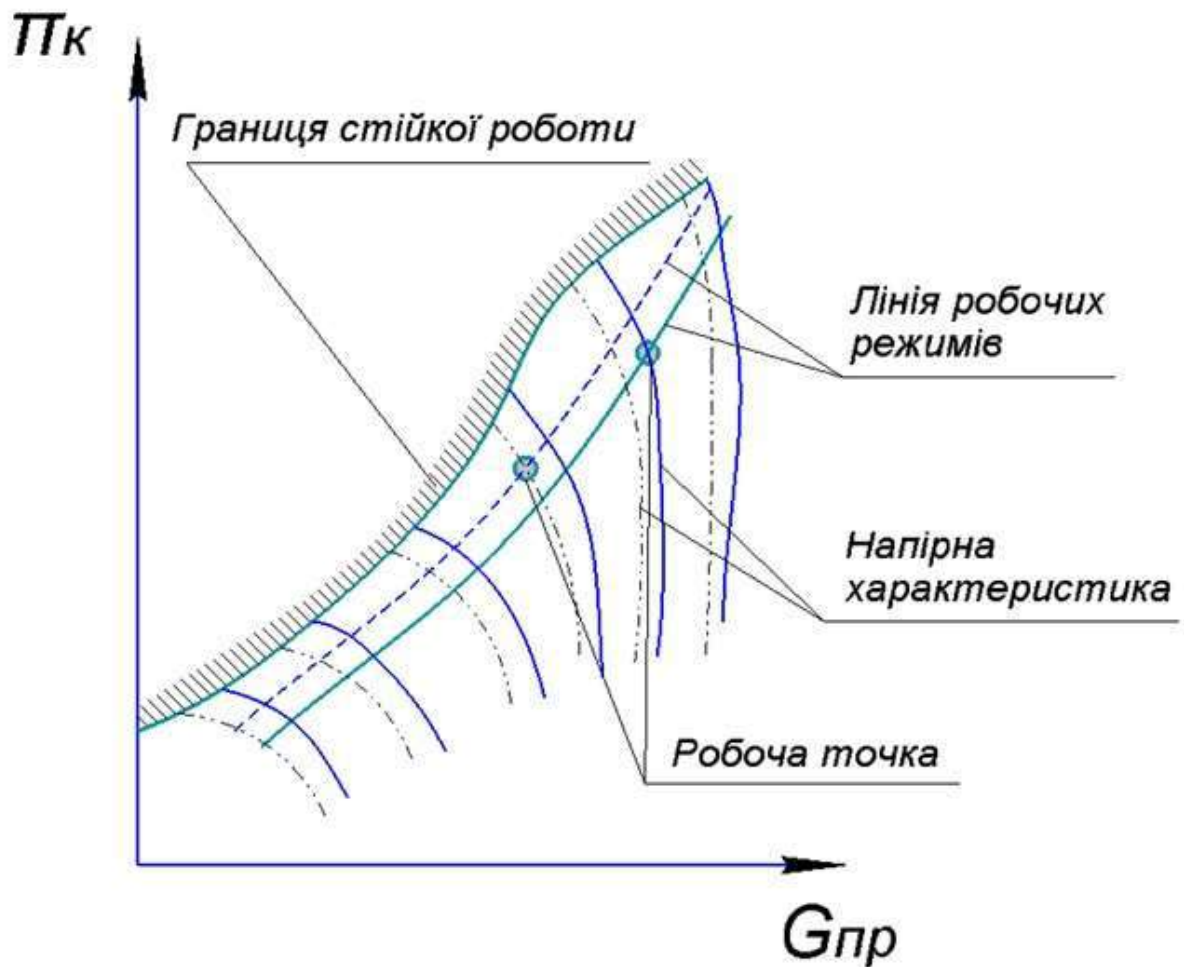
- а) параметри газового потоку;
- б) вплив зовнішніх механічних чинників (механічне навантаження, вібрації, швидкість руху абразивів у потоці, розміри та геометрична форма часток);
- в) температурні умови.

В залежності від робочого режиму двигуна, показників температури, вологості та забрудненості оточуючого середовища, зовнішні впливи можуть коливатися в значному діапазоні.

Навіть при невеликій кількості агресивних компонентів у газовому потоці, через те, що по газовому тракту проходять значні обсяги повітря, взаємодія цих агресивних агентів з поверхнею деталей під час тертя має виразний вплив [7].

Порушення стабільності роботи ГТД, відоме як втрата газодинамічної стабільності двигуна є однією з найнебезпечніших його відмов. Таким чином, робота на режимах, де робоча точка на характеристиці компресора авіаційного двигуна розташовується близько до межі стабільності, де запас стабільності є невеликим, є неприпустимою.

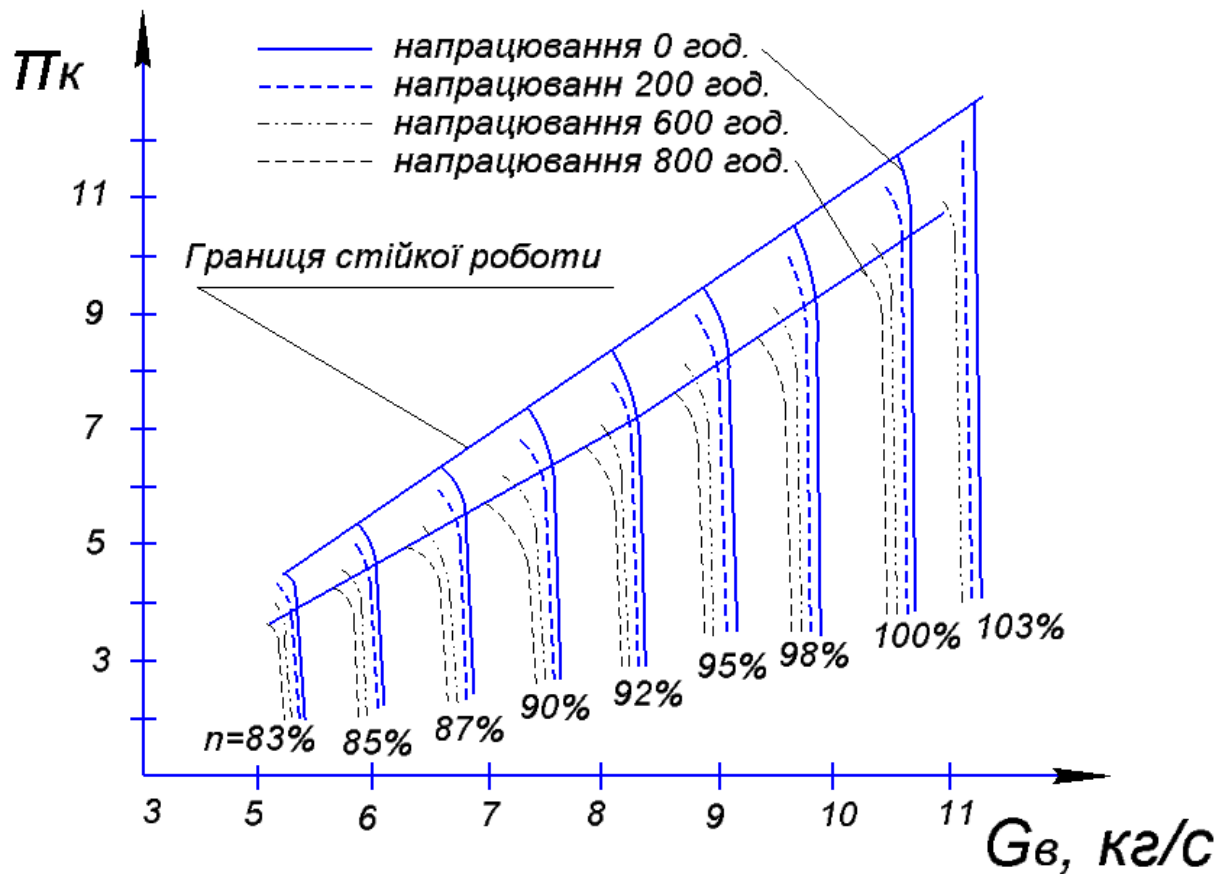
Переміщення кривої характеристики, що зображено на рисунку 2, може бути викликане різноманітними факторами, включаючи знос поверхонь проточної частини, ушкодження ущільнень, ерозію, забруднення, а також обмерзання деталей проточної частини та інші [8].



де π_k – ступінь підвищення тиску, $G_{пр}$ – приведена витрата в робочій точці

Рисунок 2.1 – Характеристики компресора з нормальною та погіршеною проточною частиною [8]

Дослідження, проведені в умовах забрудненої атмосфери, показали, що зі зростанням інтенсивності зношування лопаток компресора ТВ3-117 відбувається розсування всієї характеристики компресора (рисунок 2.2). Результатом є зниження ступеня стиснення та ККД компресора. Крім того, межа стійкої роботи зменшується, що призводить до зменшення $\Delta K_{ст}$, як видно з таблиці 2.2 [9]



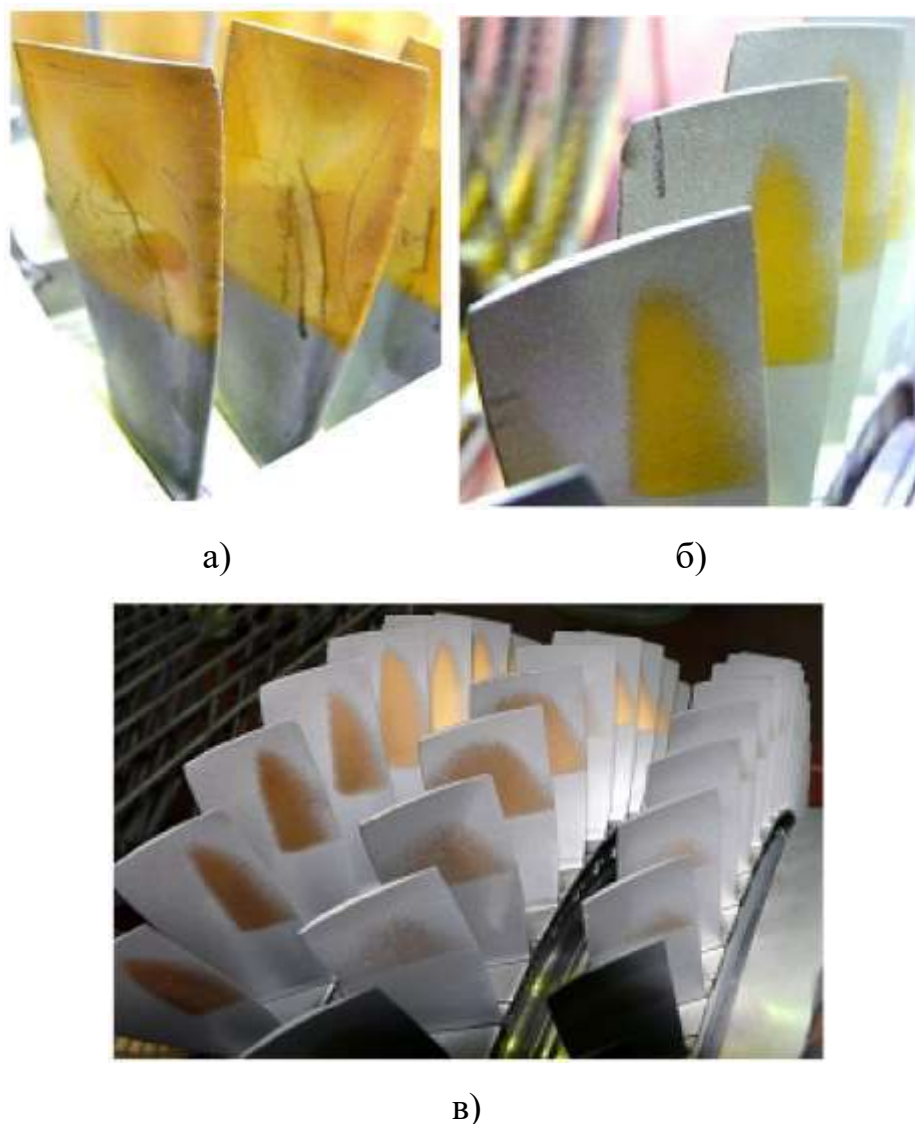
де π_k – ступінь підвищення тиску, $G_{пр}$ – витрата в робочій точці
 Рисунок 2.2 – Запас газодинамічної стійкості компресора при різному
 напрацюванні в умовах запиленої атмосфери [8]

Таблиця 2.2 – Запас газодинамічної стійкості компресора при різному
 напрацюванні в умовах запиленої атмосфери [9]

Час напрацювання, год	$n_{пр} = 95\%$	$n_{пр} = 98\%$	$n_{пр} = 100\%$
0	25,25%	22,14%	20,58%
200	21,3%	18,32%	16,52%
400	17,35%	14,51%	12,46%
600	13,39%	10,69%	8,39%
800	9,44%	6,87%	4,33%

Відомо, що зменшення запасу газодинамічної стійкості компресора на 15% призводить до виникнення стійкого зриву, тобто помпажу під час стендових випробувань двигунів сімейства ТВЗ-117 [9].

З урахуванням умов експлуатації, робочі лопатки ротора компресора піддаються найбільшому зносу в процесі роботи, а сам ротор в меншій, що ілюструє рисунок 2.3.



а) лопатки з наявністю вибоїн на вхідній кромці;

б) та в) зносом захисного покриття TiN

Рисунок 2.3 – Ротор осевого компресора турбувального двигуна ТВЗ-117 після експлуатації з високою концентрацією пилу [10]

3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛУ БАРАБАНА

3.1 Аналіз механічних, хімічних та фазово-структурних властивостей титанового сплаву ВТ8

Сплав ВТ8 застосовують: для виготовлення напівфабрикатів (листів, стрічок, фольги, смуг, плит, прутків, профілів, труб, поковок і штампованих заготовок) методом деформації, а також злитків; деталей різного призначення, що працюють за температури до +480 °С; деталей газотурбінних авіаційних двигунів (дисків, лопаток компресора низького тиску, деталей кріплення вентилятора).

Титановий сплав з високою корозійною стійкістю. Сплав ВТ8 забезпечує більш високі міцнісні та жароміцні властивості порівняно зі сплавом ВТ6 за рахунок високого вмісту алюмінію і легуванням кремнію. Сплав ВТ8 (і ВТ8-1 і ВТ8-1М) перевершує сплави ВТ3-1 і ВТ9 за термічною стабільністю, пластичністю, технологічністю і характеристиками тріщиностійкості. Подвійний та ізотермічний відпал забезпечують оптимальне поєднання властивостей; вміст β -фази у відпаленому сплаві приблизно 10 %. Сплав термічно зміцнюється, а також задовільно деформується в гарячому стані. Технологічні властивості під час оброблення тиском гірші, ніж у сплаву ВТ6.

В таблиці 3.1 наведено хімічний склад титанового сплаву ВТ8.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сплаву ВТ8, % [11]

Ti	Al	Mo	Si	Zr	Fe	O	C	N	H
87,55-90	5,8-7	2,8-3,8	0,2-04	<0,5	<0,3	<0,15	<0,1	<0,05	<0,015

В таблицях 3.2, 3.3 наведено фізичні властивості та механічні властивості сплаву ВТ8 відповідно.

Таблиця 3.2 - Фізичні властивості сплаву ВТ8, [11]

Густина г/см ³ , (10 ³ кг/м ³)	Коефіцієнт теплопровідності при 25°-500°С, кал/см·с·°С (х418,68 Вт/м·°С)	Коефіцієнт лінійного розширення 20-100°С·10 ⁶ , 1/°С
4,48	0,017	8,4

Таблиця 3.3 - Механічні властивості титанових сплаву ВТ8, [11]

σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	НВ, МПа
1110	1020	12	3100-3500

Сплав ВТ8 має $\alpha+\beta$ –структуру, тому добре піддається термічній обробці. Він має підвищену жароміцність порівняно з іншими титановими сплавами. Застосовується для виготовлення, катаних і штампованих деталей, що працюють при температурах до 600°С.

Для сплаву ВТ-8 можуть використовуватися наступні види ТО:

1. Зміцнююча обробка: гартування в воду з 925 °С і подальшого старіння при 843 К протягом 1-6 год. і охолодження на повітрі.

2. Високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО) полягає у гартуванні у воді після високотемпературної деформації з подальшим старінням при 569 °С протягом 2 год. та охолодженням на повітрі

3. Подвійний відпал: нагрів при 917 °С, витримка 1...4 год., охолодження на повітрі, потім нагрівання при 587 °С та подальша витримка 1 год. з охолодженням на повітрі. Це основний режим, що застосовується для деталей, які тривалий час працюють при температурах до 500 °С [12].

Структурно-фазовий стан ВТ-8 змінюється в прямій залежності від температури нагріву, часу витримки та швидкості охолодження, як показано у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Зміна кількості β -фази та фазового складу сплаву ВТ-8 у залежності від температури гартування [12]

Температура гартування, К	Фазовий склад	Кількість β -фази, %	Температура гартування, К	Фазовий склад	Кількість β -фази, %
Після гартування	$\alpha + \beta$	9	1153	$\alpha + \alpha'' + (\beta)$	-
773	$\alpha + \beta$	-	1173	$\alpha + \alpha''$	0
873	$\alpha + \beta$	-	1223	$\alpha (\alpha'') + \alpha$	0
973	$\alpha + \beta$	-	1323	α'	
1123	$\alpha + \beta$	18			

За уповільненої швидкості охолодження під час гартування з 1000 °С одночасно з α' -фазою з'являється β -фаза, а після гартування з 900 °С проявляються α'' -, α - і β -фази.

Незалежно від швидкості охолодження, після нагрівання 850...900 °С, пластичність деформованого сплаву ВТ-8 збільшується, а міцність зменшується. Швидкість охолодження не вплине на тимчасовий опір розриву після нагріву до 650...850 °С. Нагрівання до 950...1000 °С та зі збільшенням швидкості охолодження, призводить до того, що пластичність зменшується, а тимчасовий опір розриву зростає.

Збільшення $T_{\text{нагріву}}$ гартування з 900 °С до 975 °С призводить до того, що тимчасовий опір розриву сплаву ВТ8 зростає. Оптимальне поєднання механічних властивостей досягається після гартування від 950 °С ($\sigma_{\text{в}} = 1220$ МПа; $\delta = 16,5$ %; $\psi = 50,5$ %). Межа текучості з підвищенням температури гартування спадає і досягає мінімального значення після гартування з 850 °С, а надалі збільшується з підвищенням температури до 1223...1273 °С. Однак, при гартуванні з 1000...1273 °С різко погіршується пластичність та тимчасовий опір розриву.

Значних змін мікроструктура не зазнає після відпалу при $T < 800$ °С в порівнянні зі структурою після кування. Після гарту від 900...950 °С зменшується кількість α -фази, якщо порівнювати зі структурою деформованого металу сплаву.

Зерна первинної α -фази на тлі перетвореної β -фази спостерігаються після гартування від 975 °С. При швидкому охолодженні з 1000 °С утворюється α' -мартенсит, а при охолодженні на повітрі з 950...975 °С, то будуть спостерігатися дві структурних складових: α -фаза і перетворена β -фаза.

При збільшенні температури нагріву для загартування з 950 до 975 °С виявляється, що кількість α -фази зменшується, тоді як кількість α' -мартенситу збільшується. У випадку структури сплаву ВТ-8 після відпалу та охолодження на повітрі спостерігається помітне зменшення кількості α -фази порівняно із випадком відпалу та охолодження з використанням пічі. Чим менша швидкість охолодження, тим більше стає грубою структура перетвореної β -фази, з більшою кількістю виділень α -фази, які також мають більші розміри, α - фаза проявляється як у об'ємі вихідних β -зерен, так і по їх кордонах.

Процес старіння сплаву ВТ-8 сприяє підвищенню його міцнісних характеристик і одночасно зниження пластичності внаслідок розпаду нестабільних фаз. Максимальні показники міцності досягаються після етапу старіння при температурах 400 і 500 °С протягом однієї години.

Видиме зниження міцності виявляється при процесі старіння за температури 600 °С протягом 25 годин. Збільшення температури старіння приблизно до 700 °С призводить до повного погіршення міцності сплаву. Зменшення температури нагріву під час гарту з 975 до 950 °С майже не впливає на характеристики після старіння.

Мікроструктура сплаву ВТ8 майже не відрізняється від мікроструктури, отриманої після гартування і після процесу старіння при температурі 400...500°С. При старінні при температурі 600...700 °С проявляється високий рівень травлення шліфа, що зумовлено розпадом α'' -фази. Зі збільшенням часу старіння при 600...700 °С, погіршення міцносних властивостей сплаву, який був

закалений при 975 °С, корелює з коагуляцією складових розпаду метастабільних фаз [12, 13].

На рисунку 3.1 показано вплив температури на межу повзучості сплаву ВТ8.

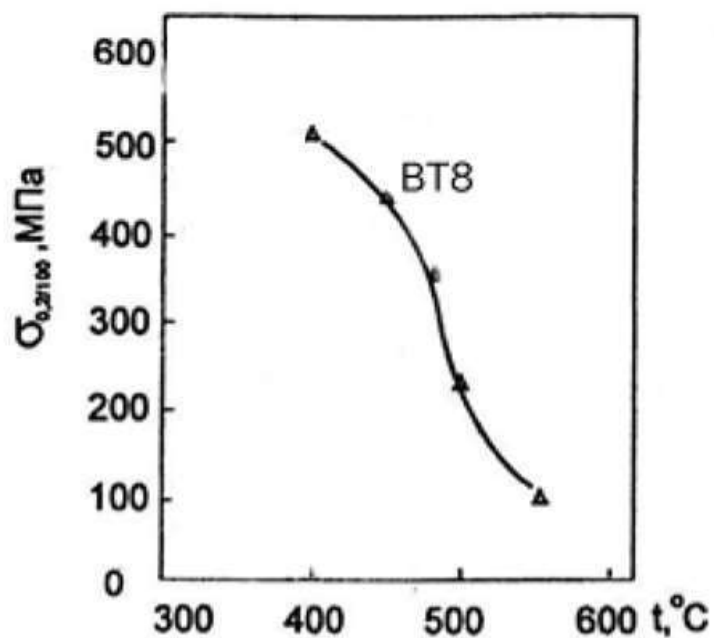


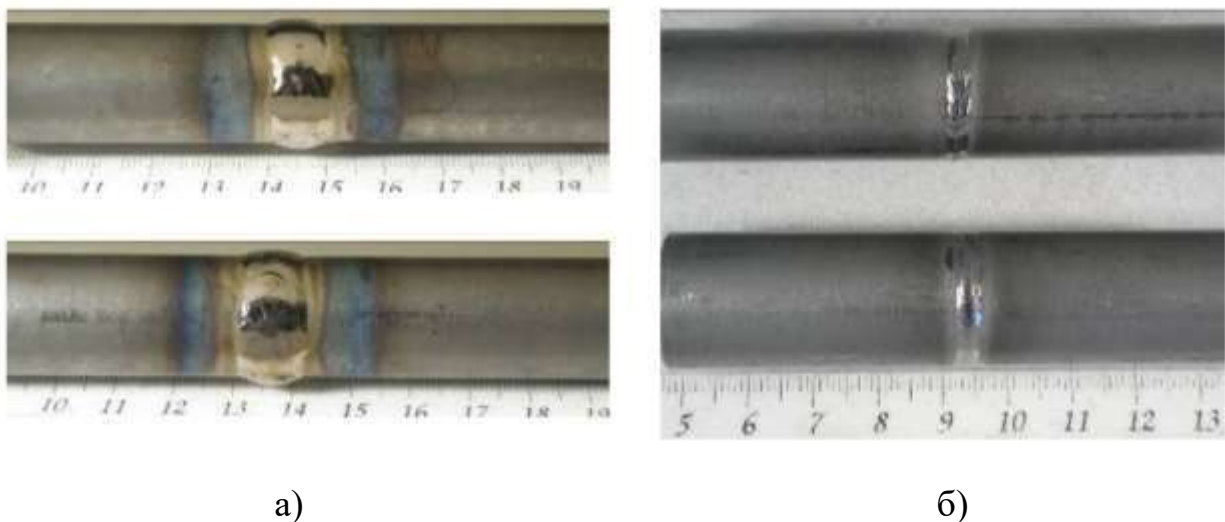
Рисунок 3.1 – Вплив температури на межу повзучості сплаву ВТ8 [12]

4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

4.1 Зварюваність титанових сплавів

Треба відзначити, що жароміцні двофазні титанові сплави мають обмежену здатність до зварювання [14]. Використання методів зварювання плавленням призводить до суттєвих змін у структурі та зниження механічних властивостей. Для забезпечення нормальної ефективності зварювання, зазвичай, необхідно збільшення запасу міцності звареного з'єднання, що досягається збільшенням силового перерізу в області зварювання.

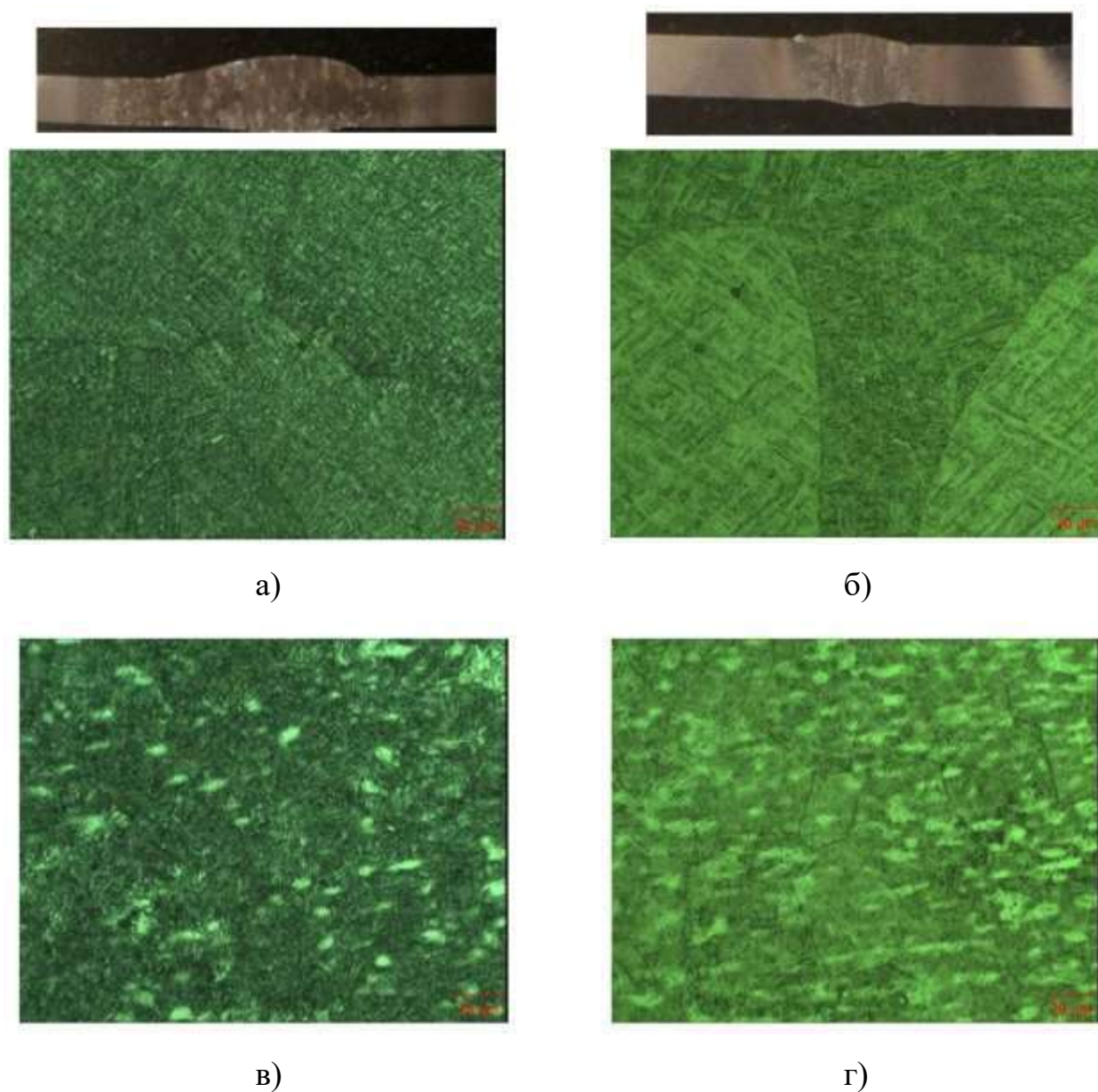
На рисунку 4.1 наведено порівняльний приклад зварювання титанового сплаву VT8 способами АДЗ та ЕПЗ.



а) АДЗ, б) ЕПЗ

Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд зразків з титанового сплаву VT8 [15]

У роботі [16] показано, що Основний вплив на структуру і властивості чинить час перебування зварного з'єднання за температур вище поліморфного перетворення.



а) АДЗ, зварний шов, б) ЕПЗ, зварний шов, в) АДЗ, зона термічного впливу, г) ЕПЗ, зона термічного впливу

Рисунок 4.2 – Макро- та мікро- структура зварних з'єднань з титанового сплаву VT8 [15]

Дослідження розподілу твердості в різних зонах отриманих зварних з'єднань. Результати досліджень [15] представлені на рисунку 4.3.

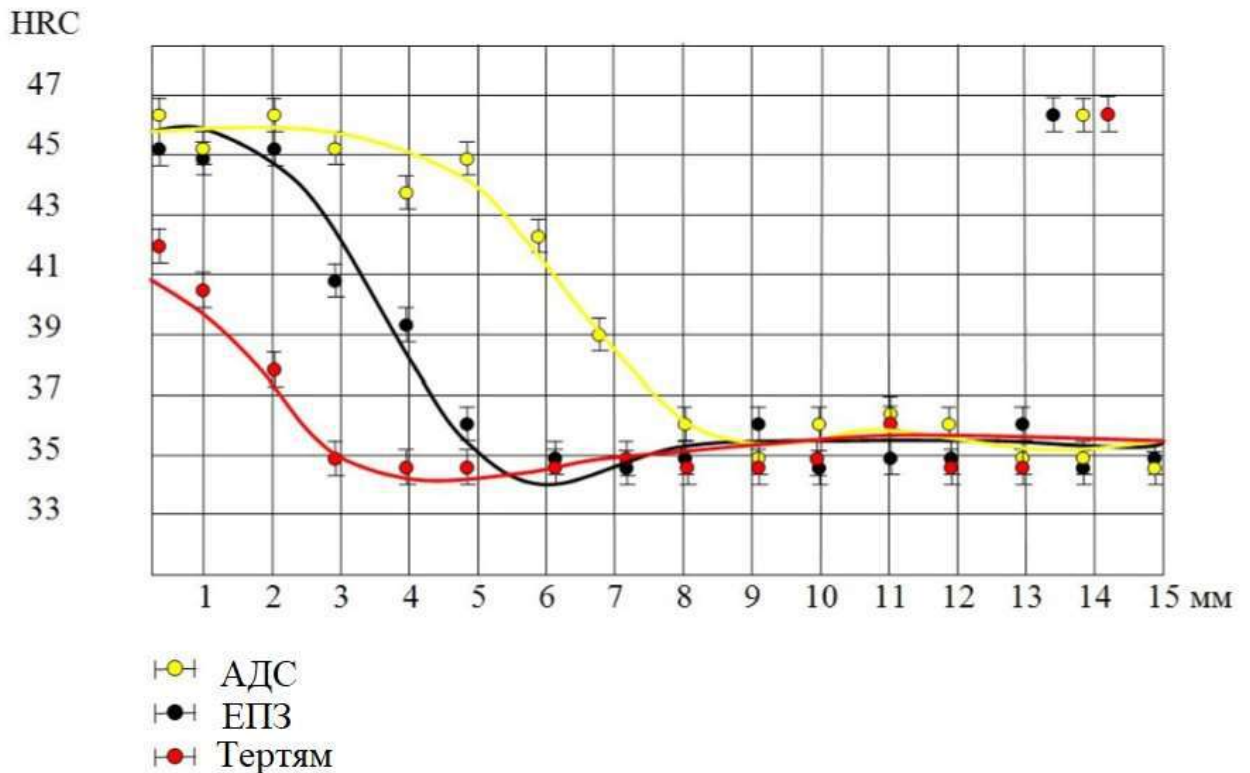


Рисунок 4.3 – Розподіл твердості в зварних з'єднаннях [15]

Показано, що обмежений діапазон зміни значень твердості свідчить про менші зміни механічних властивостей титанових сплавів під час зварювання ЕПЗ, порівняно з зварюванням АДЗ. За результатами вимірювань, глибина зміненої твердості у зразках, виконаних АДЗ становить 5...7 мм від центру шва, у зразках, отриманих за допомогою ЕПЗ, протяжність ЗТВ знаходиться в діапазоні 1...4 мм.

В таблиці 4.1 наведені механічні властивості зразків зі сплаву ВТ8 для різних способів зварювання.

Таблиця 4.1 – Механічні властивості зразків зі сплаву ВТ8

Вид зварювання	$\sigma_{В\text{ OM/CKO}}$, МПа	$\sigma_{В\text{ CB.}} / \sigma_{В\text{ OM}}$, МПа	δ , %
АДЗ	979,9/53,5	0,88	9
ЕПЗ	1020,3/47,8	0,92	9

4.2 Технологічні прийоми електронно-променевого зварювання титанових сплавів

ЕПЗ – спосіб зварювання, що оптимально підходить для виробництва багатьох авіаційних конструкцій з титанових сплавів. У ньому за ідеального вакуумного захисту забезпечується поєднання досить високої питомої енергії джерела нагріву з можливостями ЧПК з точного повторення траєкторії зварювання за умови суворої синхронізації переміщення з керуванням енергетичними параметрами електронного пучка.

Електронно-променеве зварювання представляє собою один із найбільш перспективних та ефективних методів з'єднання деталей, виготовлених із тугоплавких, хімічно активних, високоміцних сплавів на основі титану та алюмінію. Цей метод володіє значним спектром технологічних можливостей, що дозволяють утворювати високоякісний зварний шов за один прохід на глибину від 0,1 до 400 мм, при цьому не погіршуючи такі механічні характеристики як в'язкість матеріалу та його пластичність.

ЕПЗ титану створює ідеальні умови для захисту металу від впливу атмосферних газів. Для забезпечення високоякісних зварних з'єднань необхідно зберігати високу точність складання деталей перед зварюванням. Для досягнення необхідних параметрів технології електронно-променевого зварювання використовується спеціальне обладнання з числовим програмним керуванням, що забезпечує необхідний вакуум.

Технологічні особливості та високоякісне обладнання дарують ряд переваг у процесі електронно-променевого зварювання деталей з титану та його сплавів:

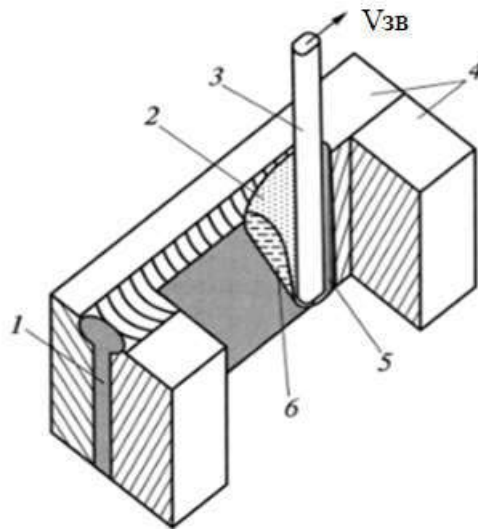
- забезпечення високої якості і надійності з'єднання завдяки значній глибині провару;
- можливість з'єднання вже повністю оброблених деталей без погіршення їхніх механічних характеристик;

- висока автоматизація технологічного процесу, що дозволяє зварювати деталі за найскладнішим контуром з мінімальним часом і витратами на підготовку виробництва.;

- відсутність окалини, забруднень і окислень у ділянці зварного шва, що усуває потребу в додаткових механічних операціях з обробки;

- можливість надійного зварювання деталей у важкодоступних місцях.

На рисунку 4 зображена схема формування зварного шва під час ЕПЗ.



1 – зварний шов; 2 – динамічний парогазовий канал; 3 – електронний промінь;
4 – заготовки; 5 – фронт розплавленого металу; 6 – основний обсяг розплаву; $V_{зв}$ - швидкість переміщення електронного променя

Рисунок 4.4 – Схема формування зварного шва під час ЕПЗ [17]

Сутність електронно-променевої обробки матеріалів полягає у використанні кінетичної енергії пучка електронів, що рухаються у вакуумі без зіткнень із залишковими молекулами повітря. молекулами повітря. Під час бомбардування електронами поверхні оброблюваного матеріалу переважна частина кінетичної енергії електронів перетворюється на теплову, яка і використовується для обробки. При ЕПЗ кінетична енергія пучка електронів використовується для розплавлення стику деталей, що примикають одна до одної, і утворення зварного шва. Формування зварного шва (рис. 4.4) має низку

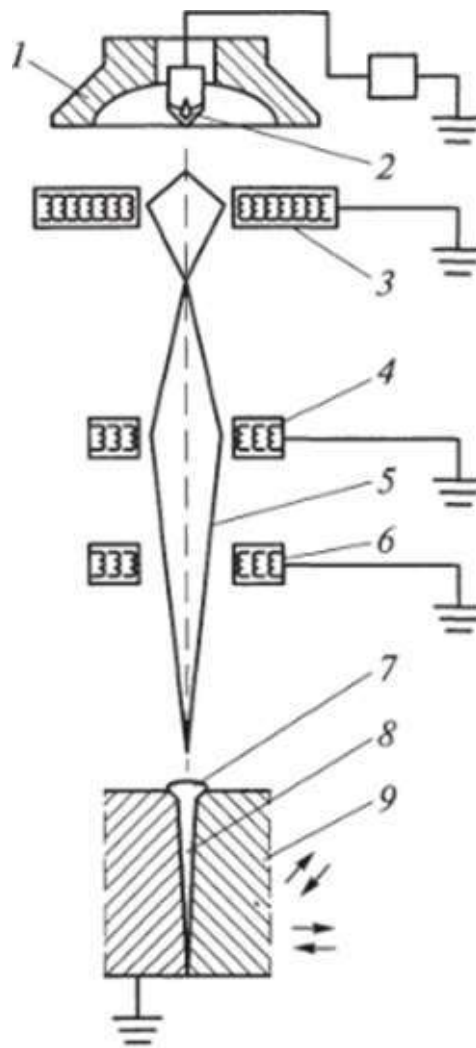
особливостей, зумовлених випаровуванням матеріалу, що зварюється, і силовим впливом тиску віддачі пари на розплавлений метал. Тиск цієї віддачі на 3...5 порядків перевищує тиск електронного променя.

Для електронно-променевого зварювання кращі стикові з'єднання, оскільки в цьому випадку вдається отримувати вузькі зварні шви з мінімальною деформацією виробів.

Зварювання з відборткуванням крайок на тілах обертання застосовується частіше в приладобудуванні. Вироби, що значно різняться за товщиною (наприклад, приварювання мембрани до корпусу), зварюють із попередньою обробкою кромки більшої товщини для вирівнювання температурного поля, що забезпечує симетричне проплавлення деталей. З'єднання внапуск широко застосовують під час зварювання різнорідних металів, що розрізняються за температурою плавлення. Електронний промінь у цьому разі зміщують на більш тугоплавку крайку.

Можливість зварювання у вузьких розділках і важкодоступних місцях є однією з переваг електронно-променевого зварювання. Це досягається завдяки малим розмірам перерізу електронного променя і його автономності щодо зварюваного виробу. Однопрохідне зварювання декількох розташованих один над одним стиків може бути виконано проникаючим променем, а в деяких конструкціях з'єднання двох оболонок може бути здійснено через ребро жорсткості.

На рис. 4.5 зображено принципову схему ЕПЗ зі стандартною електронною гарматою.



1 – катод; 2 – вольфрамова спіраль; 3 – кільцевий анод; 4 – фокусувальна обмотка; 5 – електронний промінь; 6 – спрямляюча обмотка; 7 – центр фокусування променя, зварний шов; 9 – деталь

Рисунок 4.5 – Схема електроннопроменевої гармати [18]

Діапазон швидкостей зварювання електронно-променевим способом складає $1-25 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ [18].

Титан та його сплави мають низькі показники теплопровідності, що обумовлює виникнення великих градієнтів температури та залишкових напружень в зварній конструкції і що має враховуватись під час вибору технологічних параметрів зварювання. В дослідженні [19] показано, що під час зварювання жаростійких титанових сплавів на установці УЛ-144 доцільно використовувати напругу прискорення $U_{\text{прск}}=60 \text{ кВ}$, зварювальний струм що

складає $I_{ел}=90$ мА, швидкість руху променя ($V_{зварювання}$) $V_{ел} \geq 7$ м·с⁻¹.

За вибору струму магнітної фокусуєчої лінзи $I_{ф}$, який визначає фокусування електронного променя, було враховано, що за умови розфокусування променя і отримання широкого (4...4,5 мм) зварного шва у міцному титановому сплаві виникають холодні тріщини та нерівномірна ширина шва за довжиною стику [19].

Велика енергетична концентрація в промені дозволяє формувати не лише шви з мінімальною зоною розплавленого металу, але й з'єднання, де метал у навколишній області залишається стійким до структурних змін завдяки впливу мінімальної теплоти та високим швидкостям охолодження.

Завдяки тому, що відсутня значна по довжині зона термічного впливу, це виключає питання, які пов'язані зі зміною фізико-механічних властивостей металу в пришовній зварювальній зоні.

При ЕПЗ спостерігається глибоке проплавлення металу при малій погонній енергії і сприяє підвищенні швидкості відводу теплоти від зони зварювання. Це сприяє зростанню швидкості кристалізації невеликої за розміром зварювальної ванни з утворенням дрібнокристалічної структури металу шва, що за властивостями незначно відрізняється від основного металу. Застосування суттєво меншої кількості теплоти у порівнянні з дуговими способами зварювання, при ЕПЗ дозволяє значно зменшити деформації деталей.

Такі особливості ЕПЗ як невеликий поперечний переріз променя, одержання вузьких швів з малою площею розплавленого металу та транспортувань енергії на значну відстань дозволяють отримувати більш ефективні види зварених з'єднань та значно покращувати якість складальних одиниць.

5 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ БАРАБАНУ

5.1 Технологія складання та зварювання барабану двигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В

005 Підготовча

1. Деталі на дільницю поступають комплектно, зібрані у барабан, чисті з технологічним паспортом, на піддоні, накриті брезентовим чохлам. До комплекту додається зразок-свідок для відпрацювання режимів зварювання.

2. Перевірити комплектність та відповідність індивідуального номеру.

3. Розібрати барабан

4. Проконтролювати зварювані крайки дисків на наявність забоїв, вм'ятин, тріщин, заусин та ін. пошкоджень, слідів мастила або лугу. Наявність чорного металу не допускається.

На рисунку 5.1 зображено диски барабана компресора двигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В.

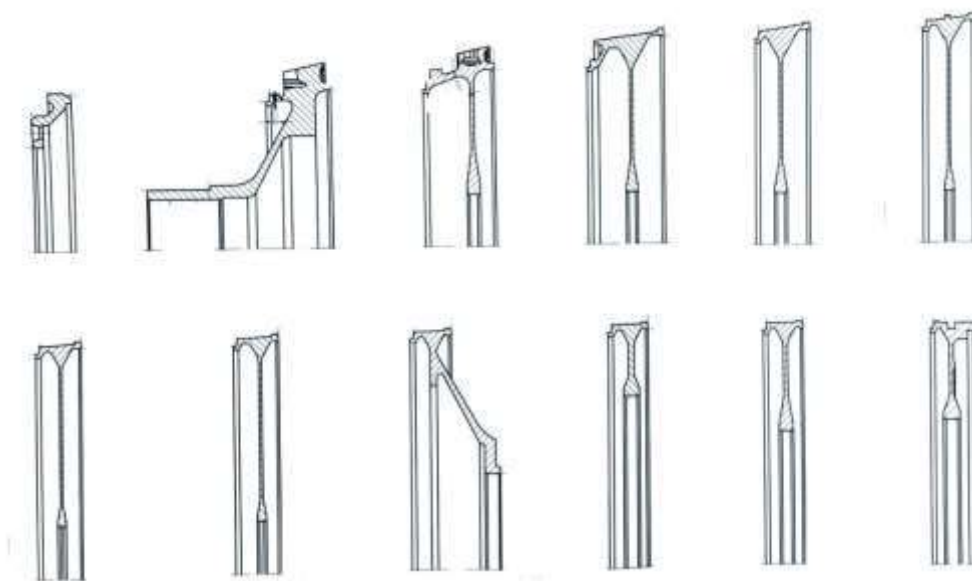


Рисунок 5.1 – Диски барабана компресора двигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В

010 Складально-підготовча

1. Відкрити установку ЕЛУ-9Б.
2. Протерти робочу планшайбу серветкою хб. Наявність крапель металу та інших забруднень не допускається.
3. Перевірити торцеве биття робочої поверхні планшайби на відстані 10-15 мм від краю . Допустиме торцеве биття 0,05 мм. (Індикатор ІЧ 10 кл.0)
4. Встановити на робочу поверхню планшайби оснащення і попередньо закріпити за допомогою чотирьох зажимів.
5. Вивірити торцеве биття по установочних місцях оснастки. Допустима величина торцевого биття не більше 0,02 мм.
6. Закріпити оснастку чотирма гвинтами остаточно.
7. Встановити деталі поз.1-12 на контрольну плиту.
8. Нанести на поверхні 1 та 2 (зона А) між деталями поз.3 та 4 речовину, що попереджає налипанню крапель металу.
9. Протерти зварювані поверхні бензином для знежирення, а потім спиртом для зневоднення. Виконувати безпосередньо перед складанням деталей на планшайбі.
- 10.Зібрати деталі поз.1-12 в барабан згідно креслення.
11. Встановити зібраний барабан на плиту і проконтролювати розміри 4, 5. (штангенрейсмус ШР-60-630-0.05 Г, ОСТ 164-90)
12. Встановити барабан та закріпити за допомогою кришки.
13. Перевірити радіальне биття 8, 9.
14. Перевірити торцеве биття поверхонь 6, 7 (не більше ніж 0,05 мм)
15. Перевірити торцеве биття по зовнішнім поверхням на всіх дисках. (0,06мм)
16. Перевірити перепад зварюваних крайок. Допустимий перепад 0,3 мм. (набір щупів №2).
17. Проконтролювати зазор між деталями. Допустима величина 0,05 мм.
18. Повторно протерти зварювані поверхні бензином для знежирення, а потім спиртом для зневоднення.

19. Встановити планшайбу в горизонтальне положення

20. Закрити камеру та створити вакуум $5 \times 10^{-5} \dots 1 \times 10^{-4}$ мм.рт.ст.

На рисунку 5.2 наведено ескіз барабан компресора зібраного для зварювання .

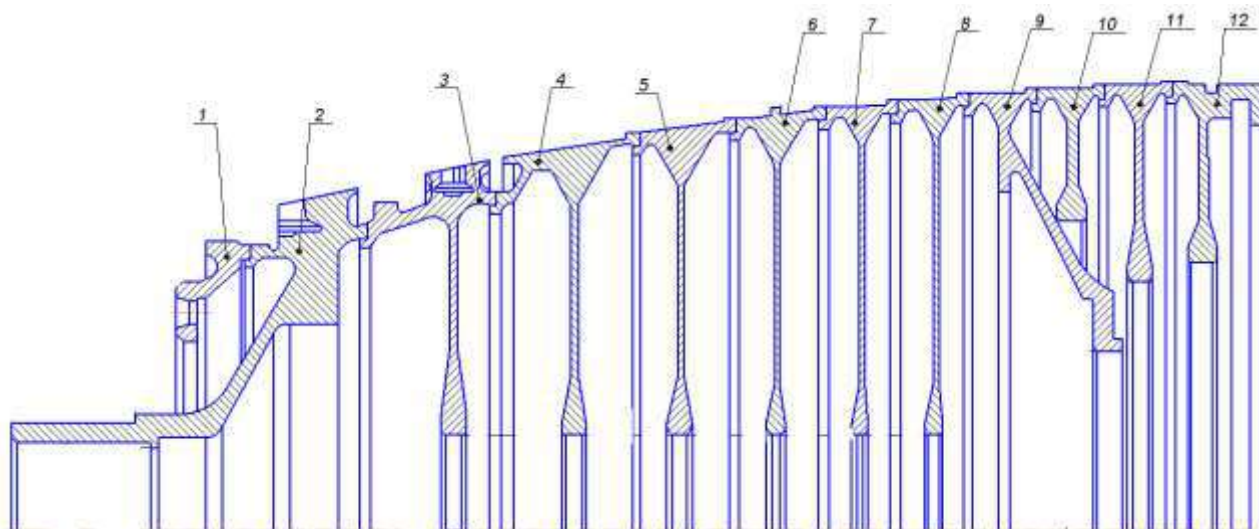


Рисунок 5.2 – Барабан компресора

На рисунку 5.3 зображено розроблене пристосування для складання барабану та ЕПЗ для покращення якості зварювання.

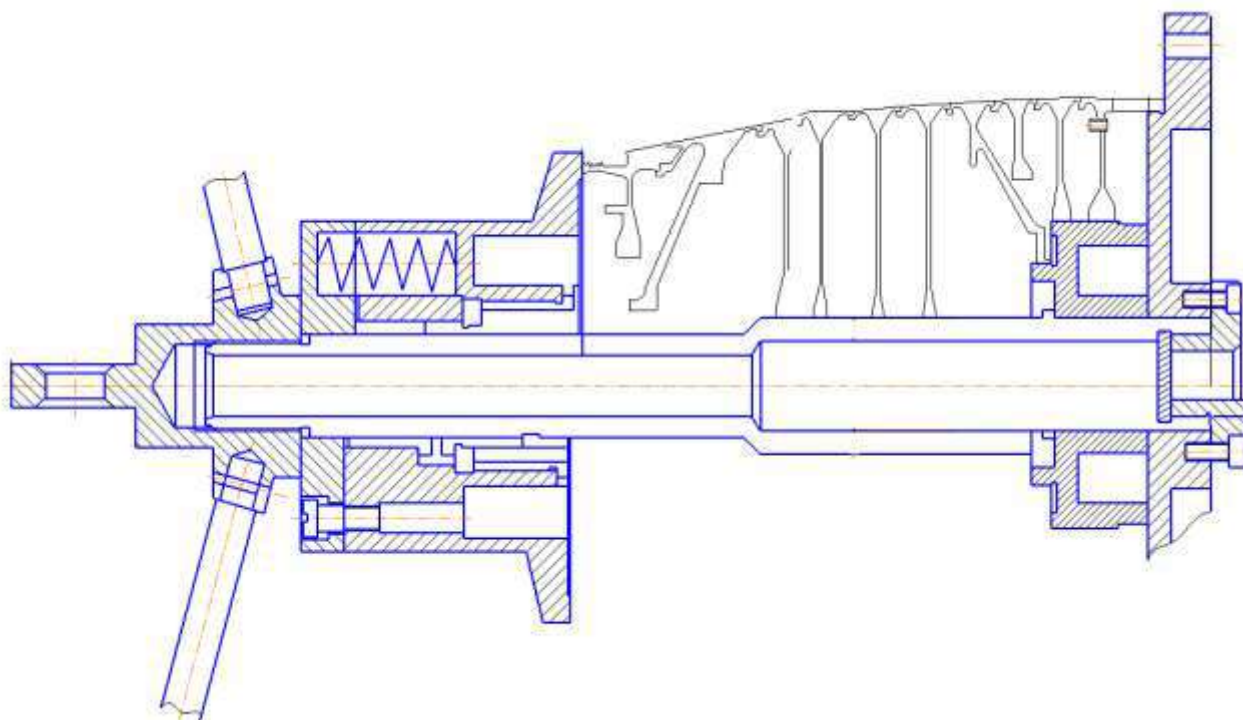


Рисунок 5.3 – Розроблене пристосування для складання барабану та ЕПЗ

015 Електронно-променеве зварювання

Зварювання виконували на установці ЕЛУ-9Б з енергоблоком ЕЛТА60/15 ДП, до якого входить електронна гармата з катодом непрямого підігріву. Контроль фокусування електронного пучка здійснювали на поверхні зразка за найбільшою яскравістю пучка при струмі променя 1 мА (I_0). Робоча відстань від гармати до зразка становила 200 мм.

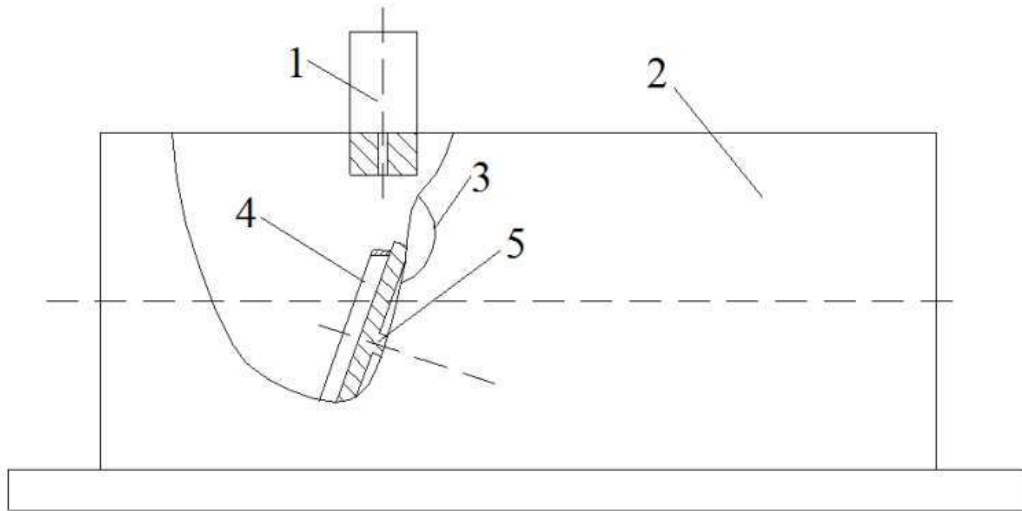


Рисунок 5.4 - Схема виконання електронно-променевого зварювання: 1 - електронно-променева гармата; 2 - камера установки; 3 - оглядове вікно; 4 – диск барабану; 5 – планшайба-маніпулятор;

1. Підготувати установку до зварювання, згідно інструкції на експлуатацію.
2. Виставити промінь на стик.
3. Встановити робочу відстань променевої пушки до з'єднання №1 на рівні 150 ± 5 мм.
4. Виконати контроль направлення променя на з'єднання по гостросфокусованому при струмі 3...5 мА світловій плямі по всій довжині з'єднання.
5. Виконати точкову прихватку деталей згідно схеми прихваток. Розмір прихватки 3...5 мм. Режими прихваток наведені у таблиці 5.1.

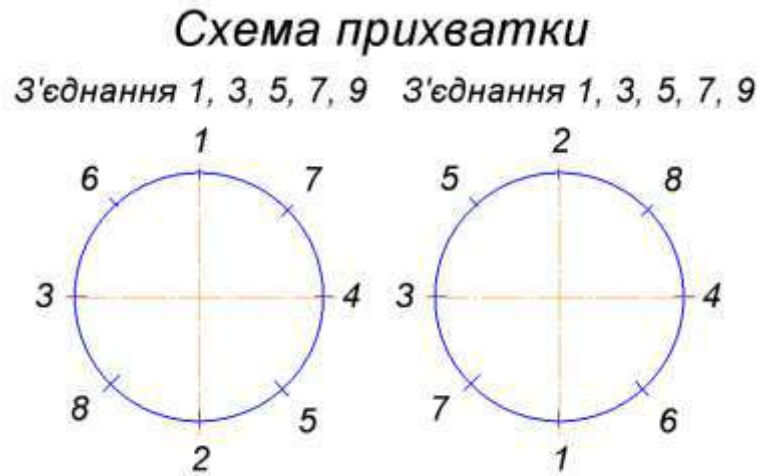


Рисунок 5.5 – Схема прихваток ЕПЗ

Таблиця 5.1 – Режими встановлення прихваток ЕПЗ

Сила струму емісії, мА	Прискорююча напруга, В	Відстань до зрізу пушки, мм	Розмір точок, мм
15...20	60	150±5	3...5

6. Виконати додаткові прихватки з кроком 20...30 мм.
 7. Повторити переходи 2...6 для інших з'єднань.
 8. Підвести зварювальну пушку до з'єднання №1.
 9. Виставити промінь на стик.
 10. Виконати контроль направлення променю на з'єднання по гостросфокусованому при струмі 3...5 мА світловій плямі по всій довжині з'єднання.
 11. Виконати зварювання деталей згідно режимам, наведеним в таблиці 5.2. Перекривати початок зварного шву на 30...40 мм.
 12. Повторити переходи 9...11 для інших десяти з'єднань.
- При виконанні зварних швів кожен наступний виконувати під кутом 180° до попереднього з ціллю попередження зміщення осі барабану.

Таблиця 5.2 – Режим ЕПЗ

Сила струму емісії, мА	Прискорююча напруга, В	Відстань до зрізу пушки, мм	Сила струму фокусувальної котушки, мА	Швидкість зварювання, м/год	Величина вакууму, Па
35±5	60	150±5	20	80	10 ⁻² ...10 ⁻³

На рисунку 5.6 показано позначення зварних швів ЕПЗ.

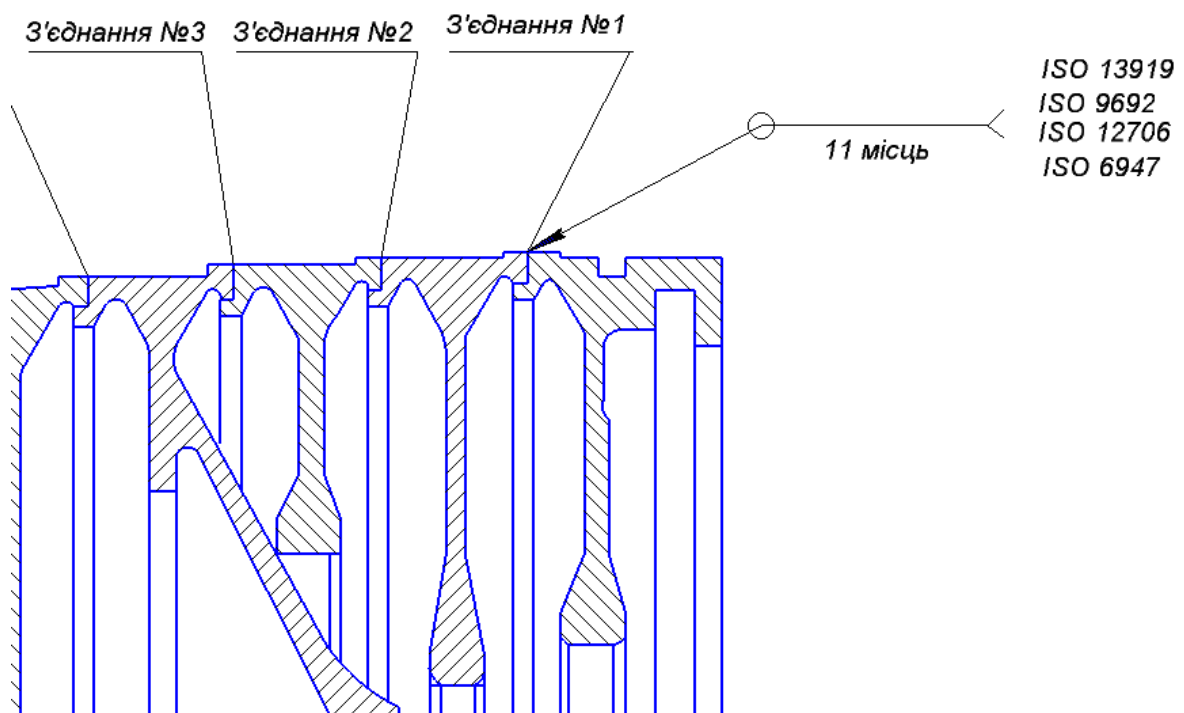


Рисунок 5.6 – Позначення зварних швів електронно-променевого зварювання

13. Вимкнути установку і витримати у вакуумі 20...25 хв.
14. Відкрити камеру.
15. Встановити планшайбу обертача у горизонтальне положення.
16. Встановити зварений барабан на контрольну плиту.
17. Зачистити зварні поверхні від крапель металу.

020 Контрольна

1. Проконтролювати якість зварних швів. Допускаються без виправлення: подрізи, кратери, раковини поверхневі пори розміром до 0,3 мм; вибоїни металу у підкладці замків по всій довжині зварних швів.

Недопустимі дефекти: подрізи, кратери, раковини поверхневі пори розміром більше 0,3 мм, а також тріщини.

2. Контролювати висоту барабана використовуючи штангенрейсмас ШР-60-630-0,05 ГО, СТ 164-90.

3. Контролювати радіальне зміщення за допомогою індикатора ІЧ 10 кл.0.

020 Транспортна

Транспортувати складальну одиницю на ділянку виконання ТО.

025 Термообробка

Виконати відпал складальної одиниці згідно техпроцесу термічного цеху.

025 Контрольна

Виконати візуальний контроль складальної одиниці.

030 Транспортна

Транспортувати барабан на ділянку ЛЮМ-1ОВ контролю.

035 Контроль ЛЮМ-1ОВ

Виконати ЛЮМ-1ОВ контроль згідно ДСТУ EN ISO 12706:2016.

040 Контроль

Виконати вихроструменевий контроль зварювальних швів складальної одиниці.

045 Радіаційний контроль

В таблиці 5.3 наведені режими радіаційного контролю.

Таблиця 5.3 – Режим радіаційного контролю

Джерело випромінювання	1,5-БПВ7-1
Фокусна відстань, см	15
Напруга, кВ	60
Анодний струм, мА	7
Час експозиції, хв.	1,2
Чутливість, мм	0,2
Тип плівки	D5
Тип та товщина екрану, мм	Pb/ 0,5
Розміри контрольованої зони, мм	60x300
Розміри плівки, мм	50x340
Витрата плівки (при умовній ширині), м	1,46

В таблиці 5.4 наведені допустимі дефекти радіаційного контролю, дозволені без виправлення.

Таблиця 5.4 – Допустимі дефекти радіаційного контролю

1	Рядок пор розташованих по всій довжині шва діаметром не більше 0,1 мм
2	Одиничні пори і раковини діаметром не більше 0,3 мм в кількості не більше 1 шт. на 100 мм довжини зварного шву
3	Преривисті вибоїни частинок металу у підкладці замку по всій довжині шва
4	Одиничні мілкі пори та раковини діаметром не більше 2 мм, в кількості не більше 1 шт. на зварювальний шов, і не більше 4 на барабан.

050 Транспортна

Транспортувати складальну одиницю.

055 ЕПЗ

У випадку знаходження дефектів зварних швів, що перевищують норми табл. 5.4, виконати їх відмітку червоним олівцем та наступне повторне ЕПЗ.

Допустимо проводити рентгеноскопію не більше двох разів однієї і тієї ж ділянки зварювального шву.

Комплектаційна карта на додадкові матеріали

1. Серветка х/б.
2. Бензин БТ-7, ТУ38.101913-82.
3. Перчатки хб.
4. Спирт етиловий згідно з ДСТУ 4221-2003.

5.2 Контроль якості зварних з'єднань вихроструменевим методом та ЛЮМ-10В

Надійність авіаційних двигунів підтримується за допомогою комплексу заходів, включаючи в себе різноманітні методи неруйнівного контролю, що виступає однією з ключових складових цього процесу.

Для перевірки елементів з титанових сплавів авіаційних двигунів найчастіше використовують капілярний, ультразвуковий та вихрострумний неруйнівний контроль [20, 21]. Під час проведення капілярного контролю використовується особливо чутливий метод ЛЮМ1-0В [22].

На рисунку 5.7 зображено криві ймовірності виявлення тріщини методом ЛЮМ1-0В для рівнів довірчої ймовірності 50 % і 95 %.

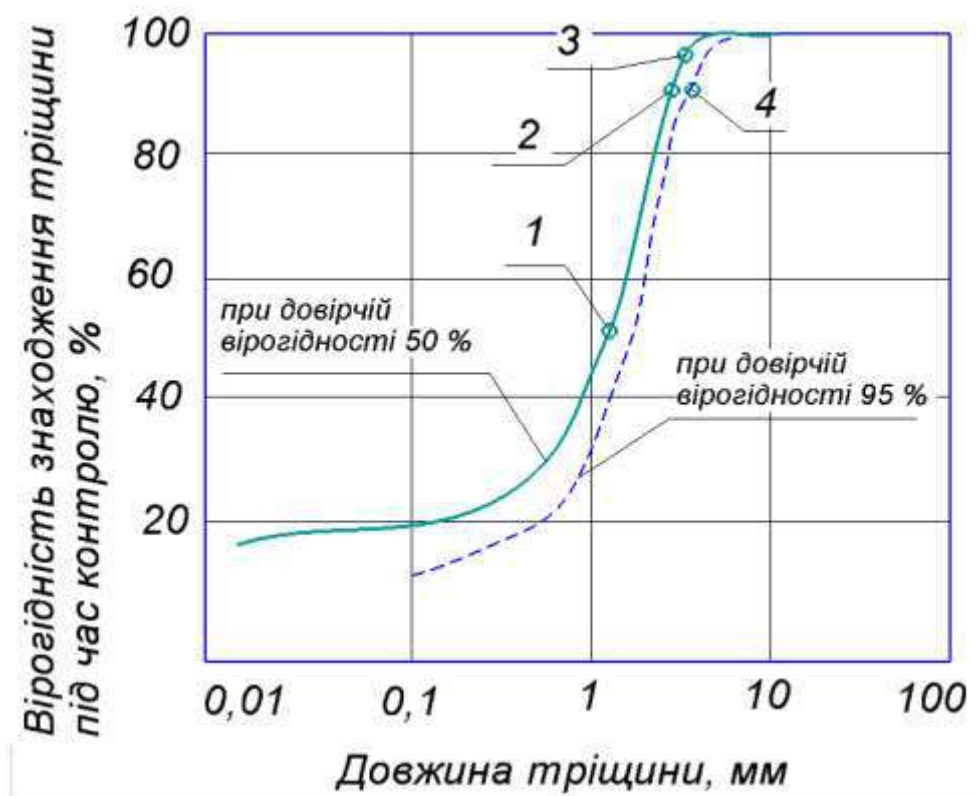


Рисунок 5.7 – Криві ймовірності виявлення тріщини під час контролю ЛЮМ1-ОВ [23].

Таблиця 1 - Значення величин у точках 1, 2, 3, і 4, на рисунку 5

Номер точки на рисунку 5.1	Імовірність виявлення тріщини, % / за довірчої ймовірності, %	Довжина тріщини, мм
1	50/50	1,22
2	90/50	2,85
3	95/50	3,31
4	90/95	3,37

Згідно з ДСТУ EN ISO 12706 : 2016 [22] комплект дефектоскопічних матеріалів ЛЮМ1-ОВ дає змогу виявляти поверхневі дефекти типу тріщин із мінімальною шириною розкриття 0,12-0,5 мкм і протяжністю від 0,1 мм. Таким чином, виявлення тріщини протяжністю 4 мм і шириною розкриття 4 мкм із

застосуванням капілярного методу ЛЮМ1-ОВ є стандартною контрольною операцією.

Внутрішні дефекти під час капілярного неруйнівного контролю визначити неможливо, тому застосовують ультразвуковий та вихрострумний неруйнівний контроль. Але недоліком ультразвукового контролю є те, що ефективно виявляються лише дефекти, площина яких орієнтована перпендикулярно до напрямку прозвучування.

Тому вихрострумного методу, який відзначається кількома перевагами в порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю [23]. Вихрострумний контроль можна проводити без видалення покриття або нагару, і не потрібні витратні дефектоскопічні матеріали. Цей метод володіє відносно високою ефективністю та не ставить високих вимог до шорсткості оброблюваної поверхні та ширини розкриття дефекту. У зв'язку з низькою електропровідністю титанових сплавів для контролю барабанів використовується високочастотний вихрострумний дефектоскоп типу ВД-43А з частотою 20 МГц [24].

Проведення контролю здійснюється шляхом сканування зони галтельного переходу в напрямку, перпендикулярному його циліндричній поверхні. Важливо забезпечити перпендикулярну орієнтацію вихрострумного перетворювача відносно контрольованої поверхні.

Загальні вимоги до якості зварних швів виконувати згідно ДСТУ EN ISO 13919-1:2015 2015 Зварювання. З'єднання, виконані електронно-променевим та лазерним зварюванням. Настанова щодо оцінювання рівня якості залежно від дефектів [25].

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ ВИКОНАННІ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ

У розділі виконано аналіз основних негативних та потенційно небезпечних впливів, які можуть створити ризик для здоров'я працівників. Також розглянуті умови, що можуть спричинити можливі травматичні ситуації під час виконання робіт. Розроблені заходи спрямовані на ліквідацію цих факторів та забезпечення належних та безпечних процедур під час проведення зварювальних та складальних робіт.

6.1 Аналіз потенційних небезпек при виготовленні барабану двигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В

Оцінка потенційних ризиків включає аналіз різноманітних чинників, які можуть стати причиною травм і створити загрози для безпеки та здоров'я працівників. Серед цих аспектів можна виокремити:

а) недостатня якість професійної підготовки працівників, що може призвести до порушень технологічного процесу та виникнення травм;

б) недостатньо якісна організація робочих місць та постів, що може створити передумови для травмування робітників;

в) можливість отримання травм механічного характеру під час підготовчих операцій, складальних операцій та зварювання складальних одиниць;

г) збільшення ймовірності отримання ураження електричним струмом може виникнути через порушення правил електробезпеки, відсутність або неправильне використання захисного заземлення та наявність відкритих електричних з'єднань. Це може призвести до травм електрострумом.

є) важливо враховувати ризик отруєння газами та аерозолями, які виникають під час проведення робіт з ЕПЗ;

ж) недостатньо якісні параметри повітряного середовища на робочих ділянках;

з) можливість виникнення пожежі збільшується внаслідок невиконання правил пожежної безпеки;

л) негативний вплив електромагнітних випромінювань при ЕПЗ;

м) інтенсивне видиме, ультрафіолетове, інфрачервоне та рентгенівське випромінювання;

н) додаткові ризики, що виникають внаслідок особливих обставин у робочих умовах в надзвичайних ситуаціях.

Робоча зона повинна відповідати встановленим нормам щодо небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Це означає, що показники важкості праці не повинні перевищувати II класу відповідно до "Гігієнічної класифікації праці". Крім того, концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони повинна бути не вище гранично допустимих значень. Рівні шуму та звукового тиску під час зварювання відповідають вимогам ДСН 3.3.6.037-99. Інфрачервоне випромінювання і температура нагрітої поверхні устаткування не повинні перевищувати 140 Вт/м^2 і $45 \text{ }^\circ\text{C}$. Належна процедура захисного заземлення і занулення також повинна бути виконана згідно зі стандартами.

Параметри електромагнітних полів на робочих місцях повинні відповідати стандартам, встановленим Державними санітарними нормами і правилами для роботи з джерелами електромагнітних полів. Ці стандарти були затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18 грудня 2002 року під номером 476.

6.2 Заходи безпеки під час виконання складально-зварювальних робіт

Зварювальні установки цехів повинні мати запобіжники або автоматичні вимикачі з боку живильної мережі. Пересування зварювальних установок та їх ремонт під напругою забороняється.

Підключення і відключення від мережі електрозварювальних установок, а також їх ремонт проводиться електротехнічним персоналом підприємства з кваліфікаційною групою не нижче III. Забороняється ці операції виконувати зварювальникам, електрозварювальники повинні мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче II.

Складально-зварювальні цехи, в яких постійно виконується збирання і зварювання великих металоконструкцій, повинні обладнуватися складальними стендами і вантажопідійомними пристроями, що використовуються для переміщення виробів масою понад 20 кг.

Під час електронно-променевого зварювання, що проводиться з фокусованим магнітним і електростатичним полями потоком електронів, небезпечними факторами є висока напруга, світлове і рентгенівське випромінювання, шкідливі виділення.

У приміщеннях, де розміщуються зварювальні установки, має бути влаштована механічна припливно-витяжна вентиляція. Пристрої повинні забезпечувати необхідний захист людини-оператора від рентгенівського випромінювання.

Усі струмоведучі частини пристрою, що перебувають під напругою, мають бути розташовані всередині металевого корпусу, що має елемент для заземлення.

Електронно-променева гармата повинна мати блокування, що вимикає електричне живлення при знятті заземленого ковпака з її відкритих частин, які перебувають під напругою. У джерелі живлення повинен бути розрядник, що

встановлюється між виводом позитивного полюса випрямляча і його заземленим корпусом.

Для захисту від рентгенівського випромінювання оглядові вікна повинні бути обладнані свинцевим склом, а для захисту очей від світлового випромінювання оглядове вікно повинно бути закрито світлофільтром.

Всі роботи з виробництва складальної одиниці повинні бути виконані відповідно до наряду-допуску під керівництвом та наглядом керівника робіт.

Відповідальний керівник повинен:

- провести огляд робочого місця перед початком роботи;
- переконатися в дотриманні всіх заходів безпеки, визначених у відповідній технології;
- детально розповісти персоналу про всі можливі небезпеки, пов'язані з виконанням робіт;
- перевірити наявність у працівників усіх належних посвідчень;
- визначити і узгодити безпечний маршрут для переміщення персоналу на ділянку;
- слідкувати за діями персоналу під час виконання складально-зварювальних робіт.

Роботодавець повинен організувати:

- проведення медичних оглядів працівників відповідно до вимог, визначених Порядком проведення медичних оглядів працівників певних категорій, що затверджений наказом МОЗ України від 21.05.2007 № 246;
- реалізацію процедури атестації робочих місць у відповідності до Порядка проведення атестації робочих місць за умовами праці, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.1992 № 442;
- працівники зобов'язані пройти навчання і перевірку знань з питань охорони праці відповідно до вимог “Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці”. Це положення затверджено наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року № 15;

- зобов'язаний розробити та затвердити перелік робіт з підвищеною небезпекою відповідно до “Переліку робіт з підвищеною небезпекою”, від 26 січня 2005 року № 15;

- зобов'язаний забезпечити безпечну експлуатацію електроустаткування відповідно до вимог “Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів”, від 09 січня 1998 року під номером №4;

- повинен забезпечити працівників засобами індивідуального захисту відповідно до вимог “Положення про порядок надання працівникам спеціального одягу, взуття та інших засобів індивідуального захисту” [26].

Відповідно до статті 13 Закону України від 14 жовтня 1992 року № 2694-ХІІ "Про охорону праці", роботодавець має зобов'язання створити на робочому місці та в кожному структурному підрозділі умови праці, що відповідають вимогам нормативно-правових актів.

Робочі повинні користуватися спеціальним взуттям, спеціальним одягом та індивідуальними засобами захисту, такими як захисні рукавиці, захисні окуляри, щитки із світлофільтрами, а також засоби захисту органів слуху. Вибір засобів індивідуального захисту органів дихання повинен відповідати вимогам “Правил вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання”.

Використання контрольно-вимірювальних приладів та також зварювального обладнання, що є випромінюють іонізуюче випромінювання, повинно здійснюватися з дотриманням “Вимог та умов безпеки (ліцензійні умови) провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання”, та “Норм радіаційної безпеки України НРБУ-97”.

Сигнальні кольори та знаки безпеки у приміщеннях де виробляють та зберігають продукцію повинні відповідати вимогам “Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників”, що затв. 25 листопада 2009 року № 1262.

Зону проведення зварювальних робіт позначити і огородити знаками безпеки за ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір». Забезпечити заборону доступу сторонніх осіб до зони робіт.

Одяг і рукавиці зварювальника повинні бути вільні від слідів олії, жиру, бензину, гасу та інших горючих рідин. З метою захисту очей та обличчя від ультрафіолетових та інфрачервоних променів, зварювальник зобов'язаний користуватися ручними або наголовними щитками із склом-світлофільтром. Під час проведення зварювальних робіт світлофільтри мають бути використані з урахуванням сили струму та вибраного методу виконання завдань.

Розташування робочих місць повинно відбуватися за межами траєкторії руху вантажів, які переміщуються за допомогою вантажопідіймальних механізмів.

При виникненні будь-яких неприємних відчуттів чи болю в очах працівникам слід негайно звертатися до лікаря для отримання допомоги та консультації щодо можливого впливу ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання на зір та шкіру.

При зварюванні легованих сталей і кольорових металів у робочій зоні можуть утворюватися токсичні аерозолі конденсації. Серед цих аерозолів особливо токсичними є частки оксидів марганцю, цинку, ванадію, нікелю та інших металів та їх сполук. Відпрацьовані елементи та їх оксиди у вигляді пилу, парів і аерозолів можуть становити загрозу для якості повітря виробничого приміщення. Тому, крім загальної системи вентиляції, на робочих місцях паяльників слід встановлювати місцеві витяжні пристрої, щоб ефективно видаляти небезпечні викиди.

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Освітлення вкрай важливе для будь-якої людини, оскільки 90% інформації про навколишній світ людина отримує саме від зорового апарату. Тому дотримання правильної кількості світла на робочому місці - це ключове завдання для забезпечення необхідної працездатності працівника.

Розрізняють штучне освітлення - освітлення, отримане від різного виду ламп і світильників (освітлення, створене людиною), і природне - джерелом світла є Сонце. За порівняльною оцінкою, впливу цих видів світла на працездатність людини, можна дійти висновку, що природне освітлення краще, тому що має більш сприятливий нашому оку спектр випромінювання, ніж штучне.

Людина під час роботи в недостатньому освітленні або освітленні низької якості може відчувати: втоми очей, перевтому, головні болі. Усі ці фактори призводять до зниження працездатності робітника. Під час роботи рівень освітленості в цехах зварювального виробництва належить до IVв - розряду і підрозряду зорової роботи. Освітленість робочих поверхонь у такому разі - 200 лк, і може бути як денним світлом, якщо воно є, так і штучним від загального або локалізованого освітлення, наприклад, настільних ламп або комбінацією денного і природного світла.

У нашому випадку для освітлення зварювального цеху рекомендовано використовувати газорозрядні джерела світла: лампи ДРЛ, ДРІ; для освітлення високих цехів (до 4 м) великої площі - люмінесцентні лампи, також допускається і застосування ламп розжарювання. А для місцевого освітлення краще використовувати світильники з непрозорими відбивачами, із захисним кутом $\geq 30^\circ$, у разі, якщо світильники розташовані нижче за рівень очей працівника, то захисний кут може бути встановлений у межах 10... 30°.

Недостатня освітленість зазвичай спричинена кількома упущеннями: неправильним розташуванням ламп, нестачею або відсутністю вікон у приміщенні, неправильним розрахунком кількості приладів освітлення і

необхідної їм напруги. Усі ці фактори в сукупності та окремо можуть призвести до спотвореного сприйняття робітником технологічного процесу, а також до його перевтоми, що підвищить відсоток браку і загальну працездатність працівника.

У питанні пульсацій освітленості прийнято, що для виробничих приміщень і лабораторій коефіцієнт пульсацій освітленості (K_p) не повинен перевищувати 10 %. Коефіцієнт природного освітлення для зварювальних і складально-зварювальних робіт має бути не менше ніж 1,5 % за бічного та 5 % за верхнього або комбінованого освітлення.

Для зменшення пульсацій ламп і світильників, їх можуть вмикати в різні фази трифазного кола, це стабілізує сталість проходження в них змінної напруги. Але найкращим варіантом із можливих заходів буде - правильне розташування джерел світла в цеху, їхнє під'єднання, шляхом замірів освітленості люксометром, а також порівняння всіх отриманих результатів із нормами згідно з документами.

Тривала дія шуму на людину також призводить до зниження працездатності людини, але, крім цього, є інші несприятливі наслідки: знижується концентрація, увага, гострота зору і слуху, а також підвищується кров'яний тиск. З цієї причини місце розташування технологічного і виробничого відділів зазвичай далеко від зовнішніх джерел шуму, таких як: автомобільні та залізничні дороги, великі вулиці тощо. Розглянемо спершу робоче місце розроблення проєкту.

Шум на робочому місці створюється внутрішніми джерелами, такими як пристрої кондиціонування повітря та іншим технічним обладнанням. Для оцінки шуму використовують частотний спектр вимірюваного рівня звукового тиску, вираженого в децибелах (дБ), в активних смугах частот, який порівнюють із граничним спектром.

Рівень шуму на робочому місці зварювального виробництва. У виробничому цеху з ЕПЗ слід забезпечити рівень шуму не більше 80дБ,.

Основним джерелом шуму на зварювальному виробництві є електродвигуни системи охолодження, що застосовуються повсюдно у зварювальному обладнанні. Зменшити вплив шуму на організм людини можливо шляхом:

- ізолюванням джерел шумів;
- проведенням акустичної обробки приміщення.

Заходи, спрямовані на забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці, розробляються відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил, визначених у "Гігієнічній класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу".

Вимоги до системи вентиляції включають:

- забезпечення функціонування вентиляційної системи без створення додаткових негативних факторів, таких як перегрів, шум, вібрація та пожежо-вибухонебезпека;
- забезпечення оптимальної ефективності та надійності системи вентиляції протягом всього періоду експлуатації, з урахуванням принципів економічності;
- гарантування оптимального балансу між введенням та видаленням повітря з приміщення для забезпечення ефективного загального обміну;
- збалансованість кількості вводу повітря та витягу; різниця між цими обсягами не повинна перевищувати 10-15%. Для уникнення викидів із забруднених приміщень кількість витягу повітря повинна перевищувати кількість вводу, створюючи легке зниження тиску у порівнянні з зовнішнім середовищем або сусідніми приміщеннями, з метою уникнення проникнення шкідливих речовин.

Освітлення на робочих місцях освітлення повинно відповідати документації, яка була затверджена згідно норм.

Додатково, необхідно передбачити аварійне освітлення, яке автоматично вмикається у випадку аварійного вимкнення робочого освітлення. Це освітлення необхідне на робочих місцях і технологічних ділянках, де негайне

припинення роботи неможливе, а також на ділянках, де раптове припинення технологічного процесу може становити небезпеку для життя людей або призводити до значних економічних збитків.

У разі аварійного вимкнення робочого освітлення також повинно бути забезпечене евакуаційне освітлення, яке забезпечує освітленість підлоги на головних маршрутах евакуації та сходах.

Використання системи рециркуляції повітря в приміщеннях для проведення зварювальних робіт з металами заборонене.

Виробничні приміщення аеруються за допомогою відкривання вікон і світлоаераційних ліхтарів, а також через отвори вентиляційних шахт, відповідно до інструкції, розробленої роботодавцем. Ця інструкція враховує пору року, напрямки вітру та спрямована на уникнення перенесення шкідливих речовин з одного приміщення в інше.

Розміщення патрубків аварійної вентиляції в місцях, де працюють працівники постійно, та в областях, де розташовані повітрязбірні пристрої систем вентиляції та кондиціонування, не допускається. Вмикання аварійної вентиляції повинно здійснюватися віддалено.

6.4 Заходи з пожежної безпеки

Розташувати на робочому місці основні засоби для пожежогасіння. Щодня здійснювати прибирання робочого місця після завершення робіт, видаляючи сміття та горючі матеріали.

Здійснення зварювальних та інших вогневих робіт дозволяється лише після вжиття заходів, спрямованих на попередження можливості загоряння (вимкнення обладнання, видалення всіх горючих матеріалів з робочого місця, захист конструкцій та обладнання, забезпечення первинними засобами пожежогасіння).

При проведенні електрозварювальних робіт необхідно використовувати електрозварювальні апарати, що пройшли вчасну перевірку та випробування. Заземлення електрозварювального обладнання має відповідати вимогам розділу 8 Правил влаштування електроустановок (ПУЕ).

Підключення та відключення електрозварювального обладнання до/від електромережі має виконувати персонал електроцеху. Під час перерв у роботі та після закінчення робочої зміни електрозварювальні апарати слід відключати від електромережі. Після завершення робіт всі апарати та обладнання слід прибрати в спеціально призначені приміщення.

Виконання тимчасових зварювальних та інших вогневих робіт має відповідати вимогам НАПБ В.01.034-2005/111 "Правила пожежної безпеки у компаніях на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України". Керівник робіт повинен забезпечити перевірку місця виконання тимчасових вогневих робіт протягом 2 годин після їх завершення.

6.5 Заходи електробезпеки при виконанні зварювальних робіт

Електричні проводи та кабелі, що використовуються для живлення електроустаткування машин і установок, повинні бути обладнані зовнішньою ізоляцією та захистом від механічних пошкоджень, таких як козухи, підвіски, пристрої для укладання кабелів та тросів.

Механізми керування машин для термічного різання повинні бути оснащені системою блокувального захисту, яка заважає автоматичному ввімкненню машини в разі несподіваного відновлення напруги, незалежно від положення органів управління.

Рукоятки, маховики від частин машин, металеві вали ручних приводів повинні бути ізольовані, якщо знаходяться під напругою, і мати електричний

контакт із незнімними частинами виробу, на яких розташований елемент заземлення.

При прокладанні або переміщенні зварювальних проводів слід дотримуватися заходів для запобігання пошкодженню їх ізоляції і уникати зіткнення з водою, маслом, сталевими канатами та гарячими трубопроводами. Бажано забезпечити відстань не менше 0,5 м між зварювальними проводами та гарячими трубопроводами і балонами з киснем, а від горючих газів - не менше як 1 м.

Пульти керування слід оснащувати блокуванням, яке забезпечить унеможливлення одночасного керування з різних пультів. Крім того, необхідно передбачити наявність сигналізації та аварійних кнопок для активації установки (лінії).

Заборонено залишати на робочому місці електрозварювальний інструмент, який знаходиться під електричною напругою.

Заборонено проводити ремонт електрозварювальних установок при наявності напруги. Під час переміщення пересувних електрозварювальних установок необхідно відключити їх від джерела живлення.

В цеху лазерного зварювання і різання металів слід розмістити план з відзначенням місцезнаходження установок та вказанням лазерної небезпечної зони.

Для зниження температури поверхонь обладнання та зменшення нагріву повітря на робочих місцях слід використовувати теплоізоляційні пристрої відповідно до вимог ДСТУ 2894-94.

Головними причинами уражень електричним струмом є доторкання до струмоведучих частин і дотик до конструктивних частин, що перебувають під напругою. Тому з метою зниження небезпеки ураження електричним струмом необхідно виконувати такі пункти правил електричної безпеки:

- перед увімкненням установки ЕЛУ-9Б слід візуально перевірити електропроводку обладнання на можливі видимі порушення ізоляції і якщо такі ділянки є, усунути їх;

- у разі виникнення неполадок в устаткуванні, необхідно негайно вимкнути установку.

Також існують захисні заходи безпеки дотику до струмоведучих частин електрообладнання, до цих заходів відносять: ізоляцію, огороження, зменшену напругу, блокування, індивідуальні електрозахисні засоби.

Крім цього захист від ураження електричним струмом під час роботи з електрообладнанням включає:

а) захисне заземлення, необхідне для зменшення напруги дотику і напруги кроку до безпечних для людини величин, шляхом замикання на корпус або замикання на землю;

б) занулення - це замикання на корпус електроустановок;

в) запобіжні пристрої;

г) захисний розподіл дротів;

д) встановлення системи екстреного вимкнення устаткування в разі виникнення небезпеки пробією в корпус машини.

На роботу з електроустановками можуть бути допущені особи, які досягли віку 18 років, пройшли обов'язковий інструктаж та отримали навчання з безпечних методів праці. Ефективність електробезпеки безпосередньо залежить від професійної підготовки працівників і високого рівня виробничої та трудової дисципліни. Крім того, рекомендується проводити інструктаж для кожного працівника з питань надання першої медичної допомоги у випадку потрапляння під дію електричного струму.

6.6 Заходи від ураження рентгенівським випромінюванням під час роботи з ЕПВ

Під час функціонування ЕПЗ утворюється рентгенівське випромінювання, оскільки ця установка є високовольтним електровакуумним приладом. Джерела невикористаного рентгенівського випромінювання

визначаються як радіаційно-небезпечні тільки під час роботи, тобто під час подачі на них високої напруги. Зазвичай можна очікувати виходу рентгенівського випромінювання за межі корпусу ЕЛУ при напругзі 10 кВ і вище.

Вплив на людину іонізуючого випромінювання, що випускається джерелами невикористаного рентгенівського випромінювання, може бути зумовлений тільки зовнішнім опроміненням. Ступінь радіаційної небезпеки під час роботи з джерелами невикористаного рентгенівського випромінювання визначається потужністю експозиційної дози, якістю (енергією) випромінювання, часом і характером опромінення (загальне, місцеве).

Виробнича дільниця, призначена для використання приладів і установок, які є джерелами невикористаного рентгенівського випромінювання, повинна розміщуватися в окремих, спеціально призначених для цих цілей приміщеннях.

Приміщення, в яких встановлені прилади та установки, які видають невикористовуване рентгенівське випромінювання, повинні відповідати вимогам "Санітарних норм проектування промислових підприємств" та служити для технологічних процесів, де використовуються ці прилади та установки. Вентиляція в таких приміщеннях повинна бути організована відповідно до будівельних норм і правил. При цьому необхідно враховувати можливість забруднення повітря озоном, оксидами азоту, вихлопами вакуумних насосів та іншими шкідливими речовинами, що видаються під час технологічних процесів, а також потребу видалення надлишкового тепла.

6.7 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, що можуть статися на виробництві, належать:

- а) пожежа;
- б) вибух;

в) розрив або зруйнування обладнання; викид шкідливих речовин; сполучення перелічених видів небезпеки.

Пожежа вкрай небезпечна не тільки з точки зору знищення матеріальних цінностей виробництва, а й не менш небезпечна для життя людей, основні шкідливі фактори пожеж такі:

а) висока температура в місцях горіння і біля них, відкритий вогонь та іскри;

б) токсичні продукти горіння, як-от дим і чадний газ;

в) низький вміст кисню, зважаючи на його участь у процесах окиснення під час горіння;

г) імовірність вибуху, вибухонебезпечних речовин і матеріалів;

д) обвалення будівлі або її частин.

Вплив високих температур під час пожежі на людину здатен призвести до опіків різного ступеня тяжкості, також критичним є цей вплив і на будівлю, вогонь може спричинити втрату несучої здатності конструкції та її обвалення. Димоутворення - процес, що супроводжує будь-яку пожежу, також є вкрай небезпечним для здоров'я людини. Дим є різномірною сумішшю газоподібних і твердих дрібнодисперсних частинок продуктів горіння. Вдихання таких продуктів горіння у великих кількостях є гострим отруєнням і веде до незворотних наслідків для організму.

З метою уникнення та вирішення надзвичайних ситуацій на підприємстві необхідно розробляти план локалізації та усунення аварійних ситуацій згідно з встановленими нормативами. При проведенні аналізу ризиків на підприємстві важливо ідентифікувати всі можливі аварійні сценарії, включаючи ті, які мають низьку ймовірність, але можуть мати серйозні наслідки. Слід розглядати та оцінювати наслідки розвитку таких ситуацій з метою попередження їх виникнення.

Визначення можливостей виникнення аварій слід проводити, базуючись на аналізі характеристик роботи як окремого обладнання (механізмів, машин і т.п.), також як і технологічних блоків. Важливо також враховувати небезпечні

властивості використовуваних у виробництві речовин, матеріалів, об'єктів (вибухопожежонебезпечних, шкідливих). У цьому контексті слід урахувати параметри стану речовин (тиск, агрегатний стан, температуру та інші характеристики) і стан устаткування, яке відповідає як нормальному технологічному режиму, так і режимам, що можуть виникнути під час аварійних ситуацій.

Для підприємств різного розміру в систему заходів захисту від надзвичайних ситуацій входять наступні компоненти:

- а) проведення планування необхідних заходів для захисту працівників і об'єктів господарювання та реалізація цього планування;
- б) створення та контроль за матеріальними резервами для попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій на підприємстві;
- в) розроблення планів локалізації та ліквідації аварій з подальшим їх узгодженням з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;
- г) забезпечення своєчасного оповіщення працівників про загрозу виникнення або сам факт надзвичайної ситуації;
- д) підтримання готовності до застосування засобів щодо запобігання виникненню та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз умов роботи, матеріалів та счасного виробництва роторів авіадвигунів. Виконано аналіз зварюваності титанового сплаву VT8, його фізико-механічних та структурни властивостей.

Розроблено та вдосконалено технологію ЕПЗ барабана авіадвигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В за рахунок розробленого пристосування для складально-зварювальних операцій. Це довзило підвищити якість отримання зварювальних швів і як наслідок зменшити кілкість складальних одиниць що бракуються.

Було проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть впливати на робітників. На основі цього аналізу представлені рекомендації з їх усунення або захисту від впливу цих факторів на здоров'я.

Розраховано економічний ефект від застосування вдосконаленої технології, і який складає 1 500 000 грн. на рік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Спеціальні способи зварювання : підручник / І. В. Кривцун [та ін.] ; за заг. ред. акад. НАН України, д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Патона ; НАН України, Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона. Миколаїв : НУК, 2017. 346 с.
2. https://motorsich.com/ukr/products/aircraft/turboshaft/tv3-117vma-sbm1v_1_serii
3. Рубльов В.І. Конструкція і льотна експлуатація турбувального двигуна ТВ3-117ВМА СБМ1В 4Е СЕРІЇ : навчальний посібник /В.І. Рубльов, Р.І. Рубльова, Н.М. Отрешко, В.І. Жирун. Х.:ХНУПС, 2023. 126 с.
4. Двирник Я. В., Павленко Д. В. Предельное состояние осевого компрессора ГТД эксплуатируемого в условиях запыленной атмосферы. Системи озброєння і військова техніка. 2018. №1 (53). С. 97–107
5. Кудрін, А. П., Лабунець, В. Ф., Кучеренко, В. О., & Хижко, В. Д. (2021). GAS ABRASIVE WEAR OF NICKEL-BASED HEAT-RELATIVE ALLOYS. *Proceedings of National Aviation University*, 15(4), 43–45. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.15.15272>
6. Крылов К.А., Хаймзон М.Е. Долговечность узлов трения самолетов. М.: Транспорт, 1976. 184 с.
7. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Бершадский Л.И., Караулов А.К. Надежность и долговечность машин. К.:Техніка, 1975. 408 с.
8. Сиротин Н. Н., Марчуков Е. Ю. Основы конструирования, производства и эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок в системе CALS технологий. Эксплуатация и надежность ГТД и ЭУ. Книга 3. М.: Наука, 2012. 615 с.
9. Двирник Я. В., Павленко Д. В. Предельное состояние осевого компрессора ГТД эксплуатируемого в условиях запыленной атмосферы // Вестник двигателестроения. Запорожье «Мотор Сич». 2018. С. 97–107

10. Павленко Д. В., Двирник Я. В. Закономерности изнашивания рабочих лопаток компрессора вертолетных двигателей, эксплуатирующихся в условиях запыленной атмосферы // Вестник двигателестроения. Запорожье АО «Мотор Сич». 2016. № 1. С. 42-51.
11. http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=1801
12. Аношкин Н. Ф., Бочвар Г. А., Глазунов С. Г. и др. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов. Москва: Металлургия, 1980. 464 с.
13. Борисов Е. А., Бочвар Г. А., Брун М. Я и др. Металлография титановых сплавов. Москва: Металлургия, 1980. 464 с.
14. Гуревич, С. М. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов . Наук. думка, 1979. 180 с.
15. Овчинников А.В., Петрик И.А., Селиверстов В.Г. Повышение свойств сварных соединений роторных деталей из титановых сплавов // Авиационно-космическая техника и технология. №8/115, 2014. с.25-29.
16. Шоршоров М. Х., Назаров Г.В. Сварка титана и его сплавов М. : Машгиз, 1959. – 136 с.
17. Черепакін А.А. Технологія конструкційних матеріалів. Зварювальне виробництво: підручник, К., 2018 р.
18. Назаренко, О. К., Кайдалов, А. А., Ковбасенко, С. Н., и Бондарев, А. А., Шевелев, А. А., Чвертко А. И., Зубченко, Ю. В., Ланкин, Ю. Н., и Шелягин, В. Д. (1987) Электронно-лучевая сварка. Б. Е. Патон (ред.). Киев: Наукова думка. 256 с.
19. Врижевский, Э. Л., Великоиваненко, Е. А., Розынка, Р. Ф., Ахонин, С. В., и Миленин, А. С., Влияние режимов электронно-лучевой сварки жаропрочных титановых сплавов на склонность к образованию холодных трещин. Титан, 2013. 2(40), 35–39
20. Ball D. L. The Role of Nondestructive Testing in Aircraft Damage Tolerance Materials Evaluation. 2003. № 7. P. 814–818.
21. Schmidt H.-J., Schmidt-Brandecker B., Tober G. Design of modern aircraft structure and the role of NDI // Insight. 2000. 42, № 3. P. 141–147

22. ДСТУ EN ISO 12706:2016 Неруйнівний контроль. Капілярний контроль [Чинний від 01.08.2016], ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2016
23. Учанин В.Н., Дереча В.Я. Вихретоковый метод выявления поверхностных дефектов узлов авиационной техники в условиях эксплуатации // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2006. № 4. С. 20-28
24. Троицкий В. А. Вихретоковый контроль. Учебн. пособие К.: «Феникс» 2011. с. 148
25. ДСТУ EN ISO 13919-1:2015 Зварювання. З'єднання, виконані електронно-променевим та лазерним зварюванням. Настанова щодо оцінювання рівня якості залежно від дефектів [Чинний від 01.01.2016], ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2016
26. НПАОП 28.52-1.31-13. Правила охорони праці під час зварювання металів [Чинний від 08.02.2013], Міністерство надзвичайних ситуацій України (МНС), 2013
27. <https://ultracon.com.ua/produktsiia/vykhrostrumovyi-kontrol/vikhrostrumovij-defektoskop-vd-43a/>
28. Николаев Г.А. Сварка в машиностроении. Справочник в 4 томах М:Машиностроение, 1978. 4 т. 512 с.

Додаток А

Вихрострумний дефектоскоп ВД-43А

Вихрострумний дефектоскоп призначений для контролю виробів з феро- та нон-феромагнітних металів і сплавів за допомогою методу вихрових струмів. Використовується для виявлення поверхневих тріщин у різних виробках.



Рисунок А1 – Вихрострумний дефектоскоп ВД-43А

Характеристики:

- компактні розміри та легка вага;
- графічний індикатор (128x64 точок) із яскравим підсвічуванням для одночасного відображення необхідної інформації, що робить представлення даних більш наочним;
- графічна і звукова сигналізація виявлених дефектів;
- проста та зрозуміла структура меню;
- можливість підключення різних перетворювачів;
- контроль рівня заряду батареї;
- функція автоматичного вимкнення пристрою.

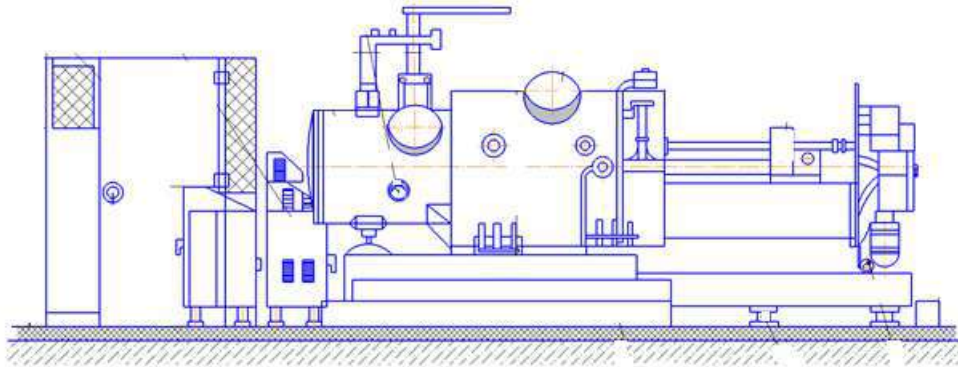
Технічні характеристики вихрострумового дефектоскопа ВД-43А наведені у таблиці А1.

Таблиця А1 – Технічні характеристики вихрострумового дефектоскопа ВД-43А [27]

Параметр	Величина
Діапазон робочих частот дефектоскопа, МГц	1,0...3,5
Автоматична сигналізація дефекту (АСД)	звукова і графічна
Поріг чутливості:	
Розкриття, мкм	не більше 2
Довжина, мм	не більше 4
Глибина, мм	не більше 0,3
Роздільна здатність, мм	не більше 4
Швидкість сканування, не більше, мм/с	50
Екран дефектоскопа	FSTN-матриця, 128'64 точок
Час встановлення робочого режиму дефектоскопа, не більше, с	60
Габаритні розміри дефектоскопа, не більше, мм	122x65x23
Маса дефектоскопа, не більше, кг	0,15

Додаток Б

Зварювальна установка ЕЛУ-9Б



1 – шафа управління , 2 – енергетичне обладнання, 3 – вакуумна камера , 4 – манометр , 5 – оглядове вікно , 6 – видвижний стіл, 7 – колесо , 8 – днмфер, 9 – основа

Рисунок Б1 – Розміщення основних вузлів установки ЕЛУ-9Б

В установці ЕЛУ-9Б використана секційна вакуумна камера. Вона складається з трьох частин - основної діаметром 1150 мм і завдовжки 1650 мм, додаткової того самого діаметра за довжини 1000 мм і подовжувальної діаметром 770 мм при довжині 1000 мм. Основна і додаткові камери мають люки для встановлення зварювальних гармат типу ЕП60/2,5.

Кожна гармата забезпечена пристроєм для переміщення по вертикалі, залежно від діаметра і форми зварюваних виробів. Відкатна кришка і жорстко пов'язана з нею консоль встановлені на роликах і можуть переміщатися по напрямних станини і камери для зручності перезавантаження установки і обслуговування робочої зони. Змінні зварювальні маніпулятори монтуються на відкатній кришці, а їхні електроприводи - на її корпусі.