

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 виготовлення апарату
направляючого 5...11 ступенів авіадвигуна ТВ3-117СБМ»

Виконав: студент 2 курсу, групи ІФ-312м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма

«Технології та устаткування зварювання»

 Іванів О.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н, доц, Лаптева Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент PhD Єфанов В.С.

(прізвище та ініціали)

2023 р.

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

Інститут, факультет Інженерно-фізичний факультет
Кафедра Кафедра інтегрованих технологій зварювання та моделювання
конструкцій

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка


(код і найменування)

Освітня програма «Технології та обладнання зварювання»

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

ІТЗ та МК


Олександр КАПУСТЯН
« 21 » листопада 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТА(КИ)

Іванів Олександр

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Розробка технологічного процесу виготовлення апарату
направляючого 5...11 ступенів авіадвигуна ТВ3-117СБМ

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 апарат направляючий 5...11 ступенів авіадвигуна
ТВ3-117СБМ, виготовлений зі сплавів 12X18H10T (обойма з просічками),
11X11H2B2MФ-III (лопатки)












4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристики авіадвигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В 2. Характеристика умов
роботи направляючого апарата 3. Аналіз об'єктів зварювання та зварювальних матеріалів 4
Дослідження технологічних особливостей зварювання та паяння 5. Розробка технологічного
процесу зварювання та паяння направляючого апарату 6. Охорона праці та безпеки при
виконанні зварювально-паяльних робіт 7. Цивільний захист населення 8. Техніко-економічна
оцінка ефективності запропонованої технології

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

1. Вертолітний авіадвигун ТВ3-117СБМ 2. ВНА та КВТ авіадвигуна ТВ3-117СБМ 3. Умови
роботи направляючого апарата 4. Характеристики мікроструктур зварювального шва
5. Складально-паяльне пристосування 6. Установка для паяння апарату направляючого 5...11

ступеней 7. Режими паяння та термообробки апарата направляючого 5...11 ступенів 8. Техніко-економічна оцінка ефективності запропонованої технології

6. Консультанти розділів проекту

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
Норми виконання Старший викладач Корнієнко О.Б.			 20.12.23

7. Дата видачі завдання «16» жовтня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Характеристики авіадвигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1В	10.09.23	виконав
2	Характеристика умов роботи направляючого апарата	15.10.23	виконав
3	Аналіз об'єктів зварювання та зварювальних матеріалів	30.10.23	виконав
4	Дослідження технологічних особливостей зварювання та паяння	11.10.23	виконав
5	Розробка технологічного процесу зварювання та паяння направляючого апарату	20.11.23	виконав
6	Охорона праці та техніка безпеки при виконанні зварювально-паяльних робіт	30.11.23	виконав
7	Техніко-економічна оцінка ефективності запропонованої технології	06.12.23	виконав
8			

Студент(ка)


(підпис)

Іванів О.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту


(підпис)

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

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВНА – вхідний направляючий апарат

ГТД – газотурбінний двигун

ЛА – літальний апарат

НА – направляючий апарат

КВТ – компресор високого тиску

РК – робоче колесо

ТО – термообробка

ТУ – технічні умови

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з 68 ст., 7 розділів, 17 рисунків, 14 таблиць, 19 літературних джерел.

АВІАДВИГУН ТВЗ-117СБМ, АПАРАТ НАПРАВЛЯЮЧИЙ,
ИНДУКЦІЙНЕ ПАЯННЯ, КОНДЕНСАТОРНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Об'єкт дослідження – апарат направляючий 5...11 ступенів авіадвигуна ТВЗ-117СБМ, виготовлений зі сталей 12Х18Н10Т та 11Х11Н2В2МФ-Ш.

Мета роботи – розробити та вдосконалити технологію виготовлення апарату направляючого 5...11 ступенів авіадвигуна ТВЗ-117СБМ.

Метод дослідження - аналіз літературних даних, виконання експериментальних зварювальних зразків та конструкції з дотриманням розробленої технології. Порівняльний аналіз зварюваності та здатності до паяння високолегованих сталей.

ABSTRACT

The master's thesis consists of an introduction 68 pages, 7 chapters, 17 figures, 14 tables, and 19 references.

AIRPLANE ENGINE TV3-117SBM, GUIDE DEVICE, BRAZING, CAPACITOR WELDING

The object of research is the guide apparatus of 5...11 stages of the TV3-117SBM aircraft engine, made of 12X18H10T and 11X11H2V2MF steels.

Purpose - to develop and improve the manufacturing technology of the guide apparatus for 5...11 stages of the TV3-117SBM aircraft engine.

Research methods - analysis of literature data, fabrication of experimental welding samples and structures in compliance with the developed technology. Comparative analysis of weldability and brazing ability of high-alloy steels.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Характеристики авіадвигуна ТВЗ-117СБМ.....	10
1.1 Характеристика апарату направляючого 5...11 ступеней авіадвигуна ТВЗ-117СБМ	12
2 Характеристики умов роботи направляючого апарата.....	16
3 Аналіз об'єктів зварювання та зварювальних матеріалів.....	19
3.1 Аналіз хімічно-механічних властивостей матеріалу обойми направляючого апарату.....	19
3.2 Аналіз хімічно-механічних властивостей матеріалу лопаток направляючого апарату.....	22
3.3 Аналіз хіміко-технологічних властивостей припою ПСр-50.....	23
3.4 Хіміко-технологічні властивості флюсу 18В.....	24
4. Дослідження технологічних особливостей зварювання та паяння високолегованих сталей при виготовленні направляючого апарату.....	26
4.1 Технологічні прийоми паяння направляючого апарату.....	26
4.2 Технологічні прийоми конденсаторного зварювання при виготовленні направляючого апарату.....	29
5. Розробка технологічного процесу зварювання та паяння направляючого апарату.....	31
5.1 Технологія складання, зварювання та паяння направляючого апарату.....	31
5.2 Контроль якості паяного з'єднання.....	41
5.2.1 Виправлення дефектів паяних швів.....	43

6. Охорона праці та безпеки при виконанні зварювально-паяльних робіт.....	44
6.1 Аналіз потенційних небезпек при виготовленні направляючого апарату.....	44
6.2 Заходи безпеки під час виконання робіт.....	45
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці...	53
6.4 Заходи з пожежної безпеки.....	56
6.5 Заходи від впливу магнітних полів.....	57
6.6 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	58
7. Техніко-економічна оцінка ефективності пропонованої технології	60
Висновки.....	63
Перелік джерел посилання.....	64
Додаток А.....	66

ВСТУП

Найпоширенішим типом двигуна, який використовується у вертольотах, є турбогвинтовий двигун. Цей тип двигуна застосовується у більшості вертольотів, а також у морських та допоміжних енергетичних системах. Турбокомпресор відіграє ключову роль в авіаційній промисловості і знаходить широке використання в промисловому виробництві електроенергії [1].

Газотурбінні двигуни (ГТД) широко використовуються в різних сферах техніки, зокрема в швидкісній авіації. З моменту виникнення перших газотурбінних двигунів, їхні конструкції безперервно удосконалюються, що призводить до виникнення сучасного асортименту цих виробів. Один з найважливіших компонентів ГТД різних типів - це КВТ з осесиметрично розташованими напрямними лопатками [2].

Конструкція і матеріал напрямних лопаток повинні забезпечувати їхню високу міцність, а якість виготовлення направляючого апарату (НА) високою, оскільки під час роботи вони відчують великі статистичні та динамічні навантаження [3]. Специфічні умови роботи деталей КВТ зумовлюють вибір для їхнього виготовлення жароміцних сплавів, які традиційно є важкодеформованими, важкооброблюваними та потребують складної багатостадійної термічної обробки [4]. Процес виготовлення цих деталей на всіх стадіях оброблення потребує тривалого та трудомісткого технологічного циклу, дорогого обладнання, а також фахівців високої кваліфікації.

Тож розробка ефективної технології якісного виготовлення НА є дуже відповідальним завданням.

1 ХАРАКТЕРИСТИКИ АВІАДВИГУНА ТВ3-117СБМ

Авіадвигун ТВ3-117СБМ призначений для встановлення на вертольотах. Це один з найкращих двигунів у світі з точки зору економії в його класі, що було досягнуто завдяки високій ефективності основних вузлів (ефективність компресора становить 86%, ефективність турбіни компресора – 91%, ефективність турбіни – 96%). Значення конкретного споживання палива та конкретної маси відповідають найкращим світовим стандартам.

Двигун має великі запаси газОВО-динамічної стабільності. У дизайні двигуна використовуються прогресивні технічні рішення: титановий ротор компресора, зварений з окремих дисків із використанням електронно-променевого зварювання; робочі та направляючі леза компресора з титанового сплаву, отриманого холодним способом; контактувати графітові ущільнювачі порожнин; за останніми модифікаціями електронна гідромеханічна система регулювання та контролю тощо. Двигун має великий ресурс, має високу надійність, легкість обслуговування та хорошу ремонтпридатність. Останні модифікації сертифіковані.

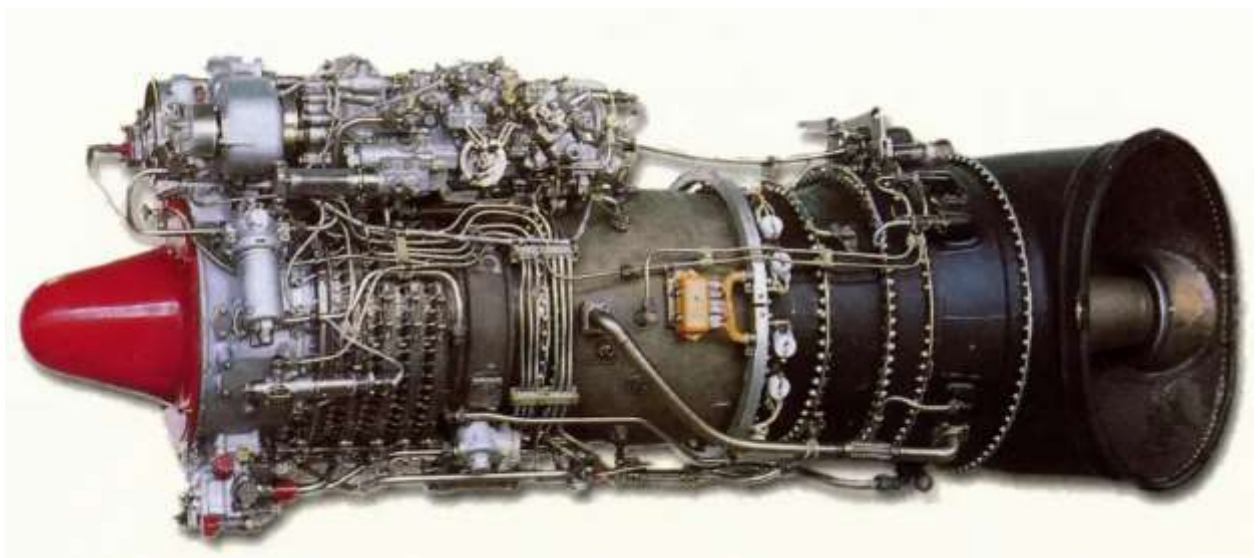


Рисунок 1.1 – Вертолітний авіадвигун виробництва “Мотор Січ”

ТВ3-117СБМ [1]

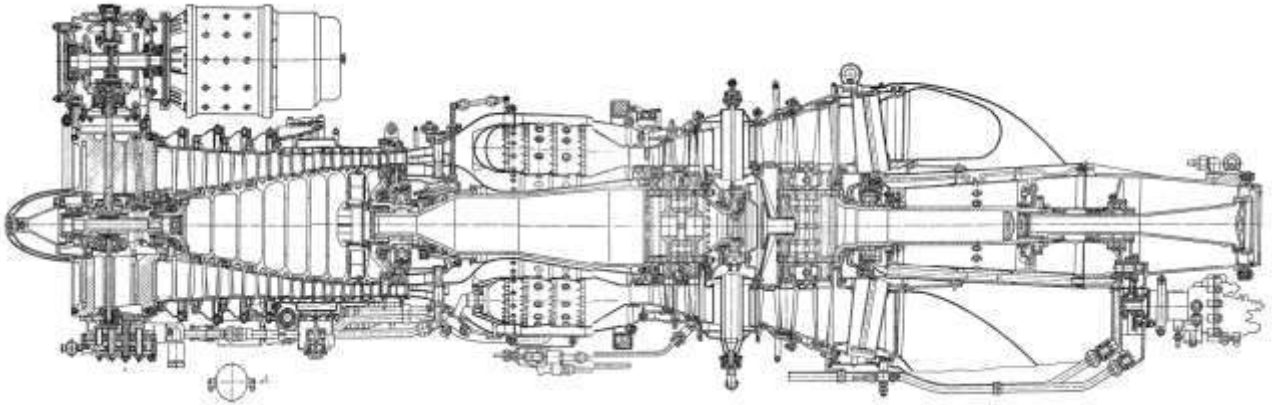


Рисунок 1.2 – Конструктивна схема двигуна ТВ3-117СБМ

В таблиці 1.1 наведено основні робочі характеристики гелікоптерного авіадвигна ТВ3-117СБМ.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики авіадвигна ТВ3-117СБМ [1]

Режим 2,5-хвилинної потужності	
Перший режим тривалої потужності 60 хв. (1ТП) при ОНД (Н=0, М=0, МСА):	
Потужність, к.с. (кВт)	2800(2059), 2400(1765)
підтримується до t_3 , °С	+38, +41
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)	2000(1470) ... 2500(1838)
підтримується до t_3 , °С	+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)	1500(1104) ... 1750(1278)
підтримується до t_3 , °С	+45... +35
Суха маса двигуна, кг	295

Головною умовою, яку необхідно виконати під час експлуатації літального апарата (ЛА), є забезпечення високої безпеки польоту при мінімальних витратах,

які в значній мірі залежать від надійності та ефективності двигунів, встановлених на ЛА. Отже, до двигунів ЛА висувуються такі основні вимоги:

- забезпечення виконання заданих льотно-технічних характеристик ЛА;
- висока довговічність та надійність при будь-яких умовах експлуатації ЛА;
- ефективне використання пального на всіх режимах роботи силової установки.

1.1 Характеристика апарату направляючого 5...11 ступеней авіадвигуна ТВЗ-117СБМ

Компресор є ключовим компонентом авіадвигуна, що використовується для підвищення тиску повітря, яке є робочим середовищем, і подачі його в камеру згоряння.

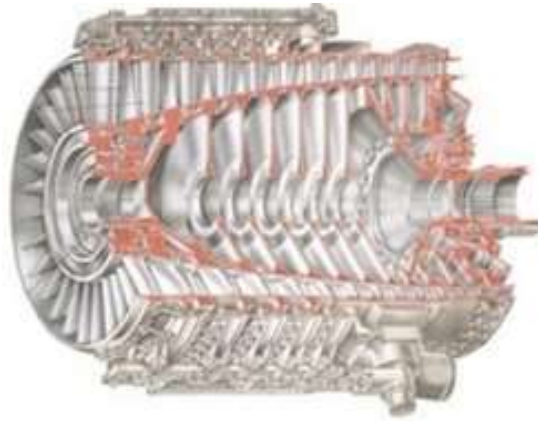
Основними конструктивними варіантами компресорів у сучасних авіаційних газотурбінних двигунах є осьові компресори, які можуть бути одно- або багатоступінчастими [5].

Компресор двигуна ТВЗ-117СБМ - осьовий, дванадцятиступінчастий, високонапірний, високомеханізований з поворотними лопатками вхідного направляючого апарату і направляючих апаратів перших чотирьох ступеней компресора, а також з двома керованими клапанами перепуску повітря у сьомій ступені компресора. Кожен ступінь компресора складається з робочого колеса, що складається з лопаток, та нерухомих лопаток направляючого апарату, розташованих за ним.

Компресор служить підвищення тиску повітря з допомогою механічної роботи, подводимой від турбіни компресора.

Перед компресором знаходяться ВНА, що допомагає створити попередню закрутку потоку повітря [5]. Міжлопаткові канали робочого колеса і

направляючого апарату мають дифузорну форму, розширюючись під час руху потоку з дозвуковою швидкістю, що призводить до зростання статичного тиску у цих каналах.



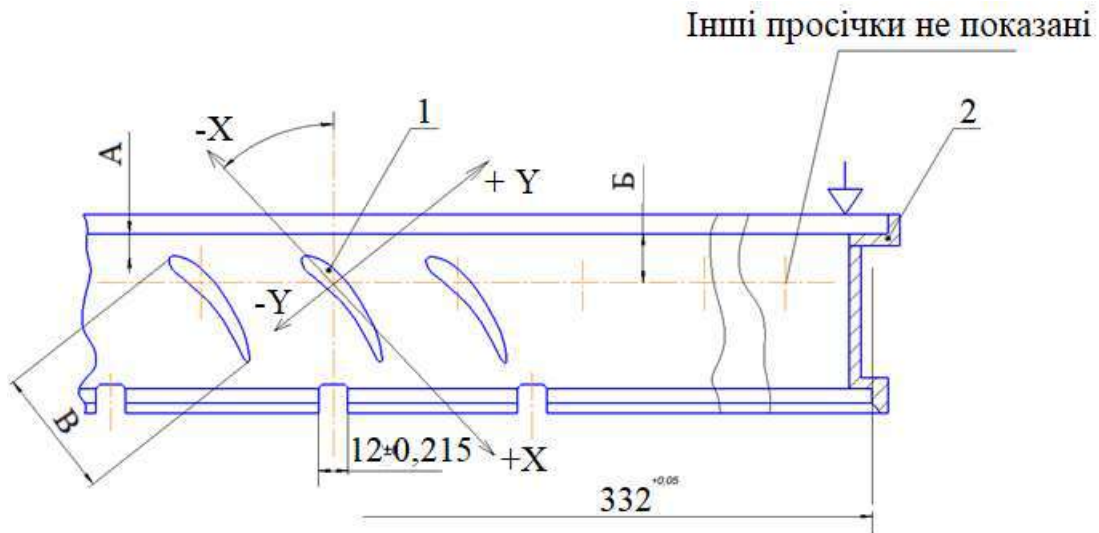
Риснок 1.3 – Загальний вигляд компресора турбовального двигуна
ТВЗ-117СБМ

Основними вимогами до компресорів ГТД є наступні:

- забезпечення мінімальних габаритів та ваги при одночасному збереженні ефективності у витраті повітря та ступені підвищення тиску;
- мінімізація гідравлічних втрат;
- стабільна та ефективна робота на всіх експлуатаційних режимах;
- висока надійність конструкції компресора;
- мінімізація кількості ступенів (оскільки їхня кількість впливає на вартість компресора) [5].

Апарат направляючий призначений для зміни напрямку повітряних потоків та зміни швидкісної енергії тиску. Пристрій складається з проставки на якій зібрані лопатки. Матеріал для виготовлення апарату направляючого повинен відрізнятися довговічністю, надійністю корозійною стійкістю.

На рисунку 1.4 зображено направляючий апарат однієї із ступеней авіадвигуна ТВЗ-117СБМ.



1 – лопатки, 2 – обойма

Рисунок 1.4 – Направляючий апарат авіадвигуна ТВ3-117СВМ

Лопатки кріпляться на кільцях направляючого апарату консольно замком типу "ластівчиний хвіст". Таке кріплення конструктивно найбільш просто і широко застосовується для коротких лопаток, недоліком є неможливість ущільнення зазору між кінцями лопаток НА і ротором. Крім того, внаслідок низької згинальної жорсткості консольних лопаток, можуть виникнути їх низькочастотні коливання. Кільця НА кріпляться до переднього і заднього корпусам гвинтами.

Вимоги до лопаток НА. Особливістю лопаток турбін є те, що проточна частина на лопатках виходить литтям і не обробляється. Така особливість лопаток виходить з того, що матеріалом для виготовлення служать жаростійкі матеріали, що важко обробляються типу: ЖС-32, ЖС-36, НС-88У, НС-104 та ін. Високі вимоги пред'являються до виготовлення проточної частини лопаток: шорсткість профілю пера лопаток $Ra = 1,6$ мкм; відхилення профілю пера від номінального становища $\pm 0,25$ мм.

Обов'язковою умовою є плавний перехід між точками профілю пера та перерізами лопатки по висоті. У зв'язку з тим, що профіль пера не обробляється, високі вимоги пред'являються до замкової та бандажної частини лопаток.

Зміщення площини симетрії хвостовика щодо ливарних баз не більше 0,1 мм, взаємне зміщення зубів хвостовика лопатки одного гребінки щодо іншого в напрямку площини симетрії хвостовика не більше 0,02 мм, шорсткість замкової частини повинна бути в межах $Ra = 0,8$ мкм.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА УМОВ РОБОТИ НАПРАВЛЯЮЧОГО АПАРАТУ

Основними причинами несправності та відмов компресора в порядку найчастішого їх виникнення є: пошкодження від потрапляння сторонніх предметів; руйнування від втоми; ерозія та корозія. Особливе значення серед них має поверхнева ерозія пера та фретинг-корозія лопатки [6].

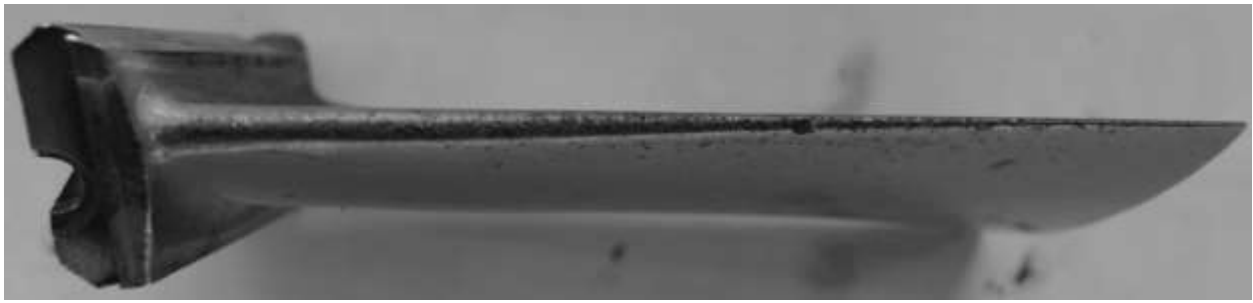
Виражене газоабразивне зношування спостерігається на елементах газоповітряного тракту вертольотних газотурбінних двигунів, які використовуються на ґрунтових посадкових майданчиках та в областях з високим рівнем пилу. Найбільший ступінь зносу від ударної дії абразивних частинок спостерігається на робочих та направляючих лопатках КВТ, який суттєво проявляється на гострих кромках лопаток та поверхні корита [7]. Знос призводить до утворення тріщин та викликає утомленість лопаток, що може призвести до їхнього руйнування.

Головними факторами експлуатації, які провокують розвиток процесів газоабразивного зношування елементів газоповітряного тракту є наступні:

- газовий потік;
- зовнішні механічні впливи (механічне навантаження, вібрації швидкість руху абразиву у потоці, розміри і геометрична форма часток);
- температура.

Залежно від режиму роботи двигуна, температури, вологості і запиленості середовища, зовнішні механічні впливи коливаються в широкому діапазоні.

Навіть при невеликій концентрації окремих агресивних компонентів у газовому потоці, через великі обсяги повітря, що проходять через двигун, взаємодія цих агресивних агентів з поверхнею деталей під час тертя проявляє значну дію [8].



а)



б)

а – вхідна кромка лопатки зі слідами ерозійного пошкодження; б – поверхні пера лопаток з ерозійними пошкодженнями (чорно-сірі крапки)

Рисунок 2.1 – Лопатки компресора із жароміцної сталі 11Х11Н2В2МФ після експлуатації (~2000 год) [9]

Найчастіше відмови робочих лопаток виникають внаслідок втоми [10, 11], а фактори, які можуть сприяти їх руйнуванню включають такі [11]:

- експлуатаційні аспекти (потрапляння сторонніх предметів; порушення режимів):

- конструктивні аспекти (наявність зривних, резонансних коливань і т.д.);

- технологічні аспекти (порушення режимів виготовлення лопаток, їх паяння або ТО; відхилення геометрії профільної частини лопатки від креслення; локальна структурна неоднорідність; залишкові напруження тощо).

Статистика розподілу цих дефектів вказана на рисунку 2.1 і є наступною: 29% конструктивні (К); 17% технологічні (Т); 11% експлуатаційні (Е); 43% поєднання конструктивних, технологічних та експлуатаційних.

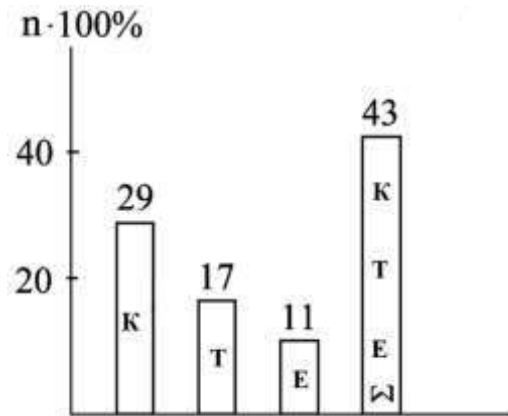


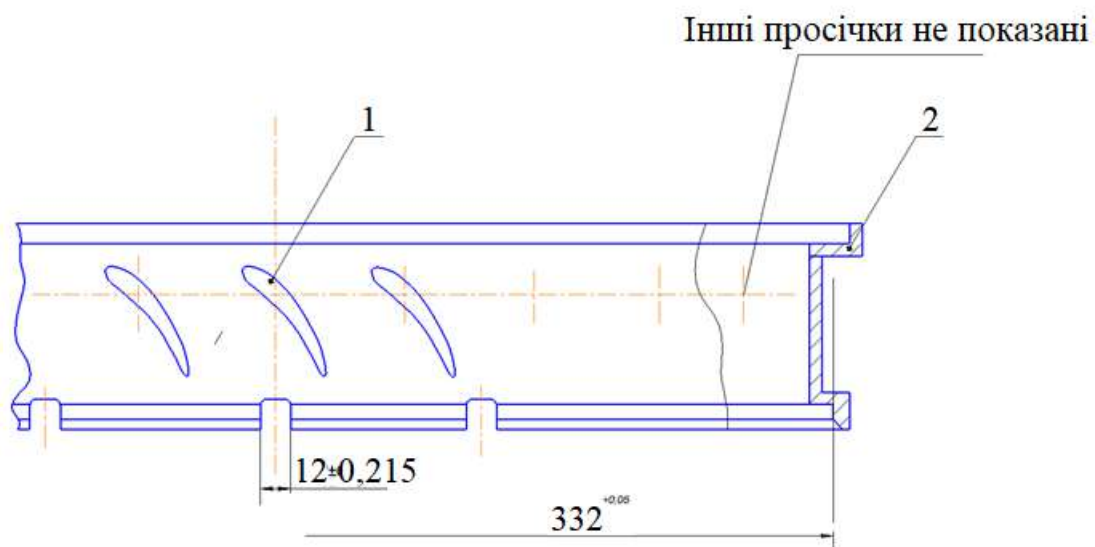
Рисунок 2.2 – Статистика розподілу дефектів лопаток НА

Основними причинами руйнування та зниження несучої здатності турбінних лопаток є: а) вібраційні напруження, б) термічна втома, в) зміна структури поверхневих шарів металу лопаток від тривалої роботи та від впливу високої температури, г) корозійно-ерозійні ушкодження, д) ушкодження за механізмом повзучості

3 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТІВ ЗВАРЮВАННЯ ТА ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Аналіз хімічно-механічних властивостей обойми направляючого апарата

Направляючий апарат складається з обойми (рисунок 3.1, поз.2), в якій виконані просічки та лопаток (поз.1).



1 – лопатки (11X11H2B2MФ-Ш), 2 – обойма 12X18H10T)

Рисунок 3.1 – Направляючий апарат авіадвигуна ТВ3-117СБМ

Характеристика сталі 12X18H10T. Це корозійностійка конструкційна сталь, яка може експлуатуватися в широкому інтервалі температур. Поставляється в різних профілях сортового і фасонного прокату, а також у вигляді дроту, поковок, каліброваного прутка, товстого і тонкого листа.

Це високолегована сталь аустенітного класу. Належить до хромонікелевих марок, але при цьому також легована титаном. Для неї суворо регламентується максимально допустима кількість технологічних домішок: наприклад, молібдену в сталі цієї марки повинно бути не більше ніж 0,50%, а для авіаційної галузі - не більше ніж 0,30%.

В таблиці 3.1 наведено хімічний склад сталі 12X18H10T.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 12X18H10T, % [12]

Si	Mn	Cr	Ni	Ti	C	S	P
< 0,8	< 2	17-19	9-11	0,5-0,8	<0,12	<0,02	<0,04

Фізико-механічні властивості. Сталь 12X18H10T має щільність 7900 кг/м³, високу стійкість до всіх видів корозії. Стійка проти окислення на повітрі, під впливом кислотно-лужних середовищ і продуктів згоряння палива за температур до +500°C (робота в умовах частоті зміни теплового впливу) і до +600°C за постійної роботи. Ця марка сталі належить до зварюваних матеріалів. Вироби з товщиною стінки понад 6 мм після зварювання необхідно загартувати з нагріванням до 1000±10°C з подальшим охолодженням у воді. У загартованому стані сталь добре сприймає пластичні деформації. Також 12X18H10T добре піддається формуванню в гарячому стані під час нагрівання до 850...1180°C, але в такому разі подальше охолодження здійснюється на повітрі. Однак обробка різанням у цієї сталі задовільна.

В таблицях 3.2, 3.3 наведено фізичні властивості та механічні властивості сталі 12X18H10T відповідно.

Таблиця 3.2 – Фізичні властивості сталі 12X18H10T [12]

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

Таблиця 3.3 – Механічні властивості [12]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	НВ, МПа
530	235	38	180

Сталь марки 12Х18Н10Т широко застосовується в промисловості як жароміцний, жаростійкий і корозійностійкий матеріал. Вона затребувана при виготовленні: газових турбін; турбокомпресорів; лабораторного посуду; пароперегрівальних і капілярних труб; зварних кілець і апаратів, що працюють в агресивних середовищах; кріпильних деталей. Рекомендується для виготовлення металоконструкцій і елементів устаткування харчової та хімічної промисловості, які не зазнають ударних навантажень і розраховані на експлуатацію при температурах від $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рисунку 3.2 зображено діаграму стану Fe-Cr-Ni-C.

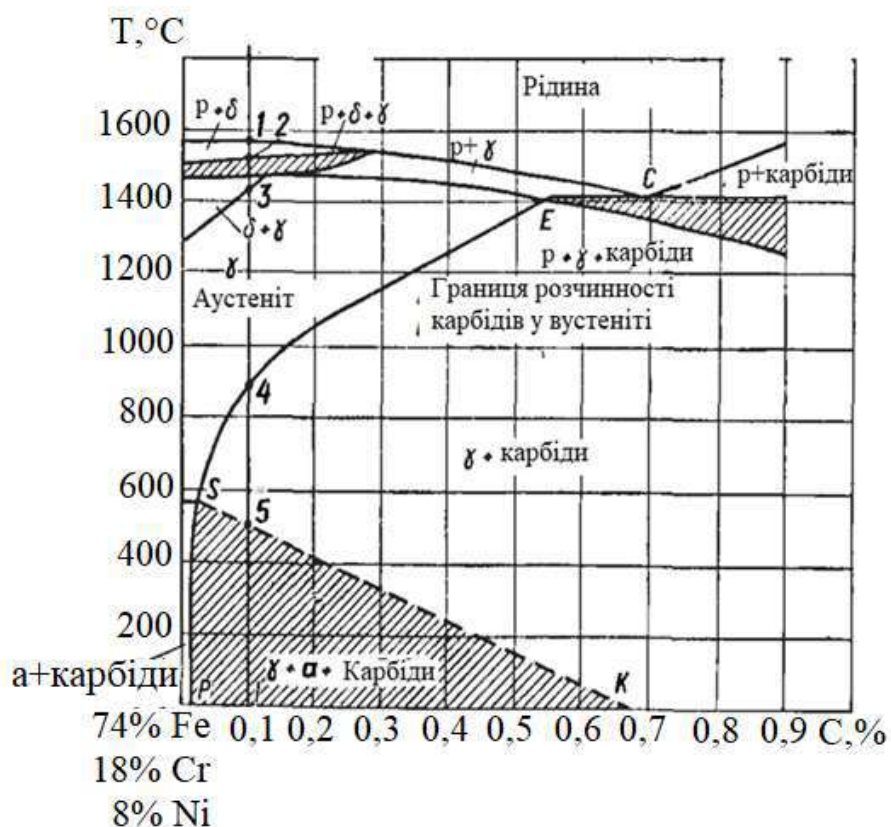


Рисунок 3.2 – Діаграма стану Fe-Cr-Ni-C хромонікелевого сплаву типу Cr 18% - Ni 10% [16].

3.2 Аналіз хімічно-механічних властивостей лопаток направляючого апарата

Сталь 11X11B2H2MФ застосовується для виготовлення лопаток парових турбін, що працюють при температурах до +580 °С; роторів, дисків, лопаток, болтів, бандажів, гайок, шпильок та інших деталей, що працюють при температурах до +780 °С. Це жаростійка сталь мартенсито-феритного класу.

Рекомендована максимальна температура експлуатації протягом тривалого часу — до +780 °С. Температура початку інтенсивного утворення окалини в повітряному середовищі +950 °С.

Таблиця 3.4 – Хімічний склад сталі 11X11B2H2MФ, % [13]

Si	Mn	Cr	Ni	V	Mo	W	Ti	C	S	P
< 0,4	< 0,6	11-13	2	1	1	1,6-2	< 0,2	0,12-0,18	<0,025	<0,03

Таблиця 3.5 - Механічні властивості сталі 11X11B2H2MФ [13]

Межа міцності σ_B , МПа	Межа текучості σ_T , МПа	Відносне видовження δ , %	Твердість НВ, МПа
830-1030	850	10-20	248-302

Сталі мартенситного класу визначаються набором властивостей, які відповідають різноманітним вимогам. До цього комплексу властивостей можна включити:

- стійкість структури та механічних властивостей під тривалим навантаженням і без нього;
- високу стійкість до релаксації мікроструктур;
- високе значення коефіцієнта лінійного розширення при великих значеннях теплопровідності;

- має хороший показник повзучості, що забезпечує опір деформаційним процесам в середовищах з високими температурами;
- стійкість проти корозії. Властивості сталі допускають експлуатацію в агресивних середовищах;
- високу технологічність в умовах виробництва металургії та машинобудування [14].

3.3 Аналіз хіміко-технологічних властивостей припою ПСр-50

Припій ПСр 50 – це евтектичний срібний сплав із вмістом срібла у кількості 50%. Окрім срібла до складу цього припою також входять мідь (49,19-50,5%), залізо, свинець, вісмут. Призначений для паяння та лудіння деталей з міді, нікелю, латуні, бронзи, нейзильберу, титану та сплавів з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.6 – Хімічний склад припою ПСр-50, % [15]

Fe	Cu	Pb	Ag	Ві	Домішок всього
≤0,15	49,19- 50,35	≤0,005	49,5-50,5	≤0,005	0,15

Температура плавлення припою ПСр-50: 779-860 °С.

Таблиця 3.7 – Фізичні властивості матеріалу ПСр50 при 20 °С [15].

T, °C	ρ, кг/м ³	R, 10 ⁻³ , Ом·м
20	9300	2,5

До температурно-часових характеристик режиму пайки відносяться: середня швидкість нагріву до робочої температури пайки і середня швидкість охолодження до 20°C . При необхідності забезпечення певної швидкості нагріву або охолодження у ТП вказують це на ділянках кривої термічного циклу. Важлива характеристика припою – його температурний інтервал плавлення. Цей інтервал обмежений двома температурами: початку (солідус) і кінця (ліквідус) плавлення припою. Припій ПСр-50 за температурою кінця розплавлення відносять до середньоплавкого типу ($450^{\circ}\text{C} < T_{\text{пл}} < 1100^{\circ}\text{C}$) [15].

Припій ПСр-50 забезпечує границю міцності 350 МПа спаяних з'єднань сталі 12Х18Н10Т [15].

3.4 Хіміко-технологічні властивості флюсу 18В

Корозійностійкі сталі різних типів паяють припоями на основі срібла, міді, нікелю з флюсами, що містять буру, борний ангідрид, або флюсами, що містять фториди металів або суміш бури, борного ангідриду з фторборатами. При паянні при температурі $600\text{-}800^{\circ}\text{C}$ найбільш широке застосування отримав флюс 18В та ін.

Флюс 18-В містить:

- фтористий калій 40%;
- борна кислота 60%.

Вимоги до флюсу:

- повинен мати $T_{\text{пл}}$ нижче, ніж у припою, забезпечуючи очищення поверхні деталей до розплавлення припою від домішок і неметалевої плівки;
- не взаємодіяти хімічно з припоєм, щоб захистити паяне з'єднання від негативного впливу навколишнього середовища;
- бути хімічно інертним або мінімально активним по відношенню до сплавів, що паяються (залишки флюсу не повинні мати корозійний вплив);

- видаляти неметалеві плівки, які утворюються на поверхні деталей і припоїв;
- в рідкому стані добре розтікатися по припою, затікати між деталями і змочувати їх;
- бути стійкими при зберіганні.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗВАРЮВАННЯ ТА ПАЯННЯ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ НАПРАВЛЯЮЧОГО АПАРАТУ

4.1 Технологічні прийоми паяння направляючого апарату

У багатьох випадках паяння є основним методом для отримання якісних з'єднань жароміцних нікелевих сплавів, оскільки через значну складність зварювання плавленням отримання з'єднання стає неможливим [15].

Для підвищення якості паяного з'єднання можна проводити пайку у спеціальній атмосфері, яка дозволяє мінімізувати процеси окиснення та покращити змочуваність поверхонь. Технологію паяння можна умовно розділити на дві групи в залежності від типу активації поверхонь перед паянням: паяння з використанням флюсу та паяння без використання флюсу.

При використанні флюсу при паянні він виконує функцію активатора поверхонь, а вакуумне середовище, повинне забезпечувати лише відсутність окислень на поверхнях.

Використання вакууму у процесі пайки поділяється на два етапи. Перший етап настає безпосередньо після введення паяного виробу в систему пайки в умовах вакууму, призначений для видалення повітря з робочої камери. Після створення вакууму, камеру можна наповнити спеціальним газом або газовою сумішшю. Другий етап включає створення вакууму під час фази плавлення. Під час переходу припою у рідкий стан, вакуум дозволяє витіснити повітря з об'єму, що паяється, ефективно усуваючи утворені порожнини.

При паянні у вакуумі, щоб уникнути окислення сталевих деталей при охолодженні, відкачування продовжують до температури 150-200 °С.

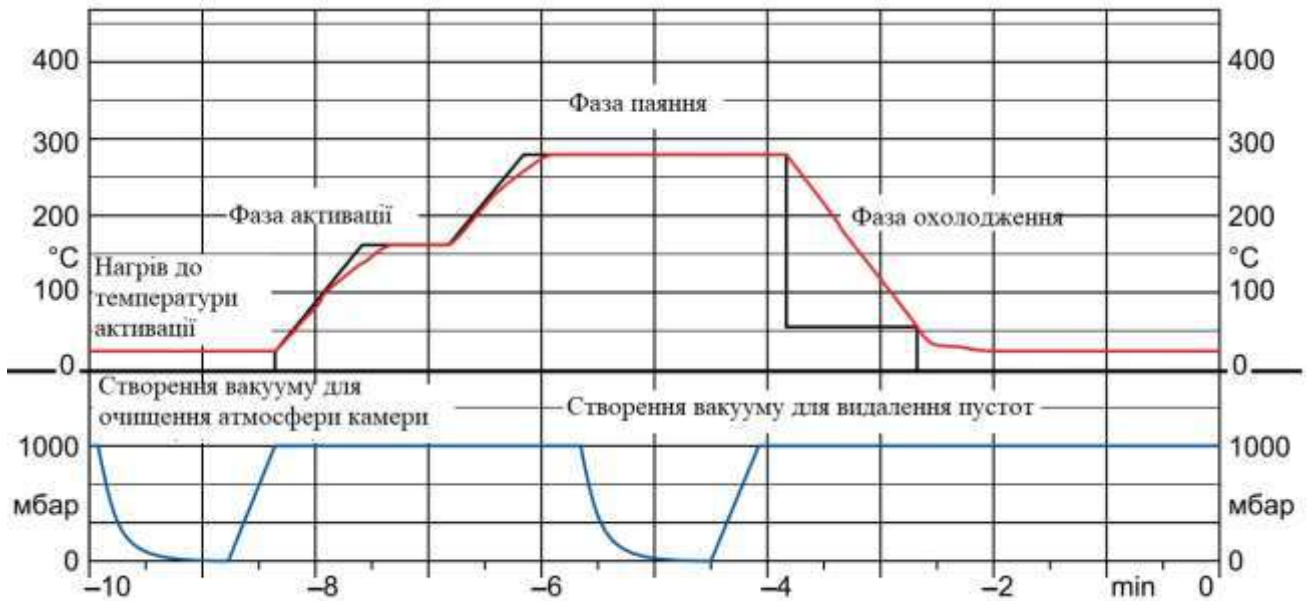


Рисунок 4.1 – Типовий режимний профіль процесу паяння у вакуумі

На поверхні корозійностійких сталей (аустенітного, мартенситного класів) утворюються оксиди, хімічно більш стійкі через розчинений у них хром. При нагріванні у вакуумі на поверхні виявлено тільки оксиди типу шпінелі ($\text{FeO} \cdot \text{Me}_2\text{O}_3$), тоді як при нагріванні на повітрі виявляються, як правило, два види оксидів Me_2O_3 і $\text{FeO} \cdot \text{Me}_2\text{O}_3$. Оксиди Me_2O_3 , що з'являються при вищих температурах, збагачені хромом, а на поверхні сталей, особливо багатих Cr, утворюється оксид хрому Cr_2O_3 .

При виконанні паяння з'єднань, в яких шви розташовані вертикально, використання припоїв, які включають велику кількість срібла, призводить до їхнього активного розплавлення і стікання до нижніх частин швів через їхню значну рідиннотекучість, тому у таких обставинах виникає доцільність використання композиційних припоїв. Припої, що містять срібло, проявляють низьку здатність до розчинення в корозійностійких сталях під час паяння, не проникають у міжзеренний простір матеріалу і не утворюють крихких інтерметалідних шарів.

Під час паяння нестабілізованих корозійностійких аустенітних сталей, важливо враховувати їхню можливу схильність до міжкристалітної корозії, особливо після нагрівання в діапазоні температур від 500 до 750 °C. У зв'язку з

цим, припої з температурою паяння в цьому інтервалі виявляються малоприсадними для паяння таких сталей.

На поверхні 12X18H10T утворюється стійка та хімічно стабільна оксидна плівка, що головним чином складена з оксидів хрому, які мають обмежену розчинність у звичайних флюсах, тому в прийнятій технології використовують свіжосформований флюї 18В.

Для паяння сталей, які мають низький вміст вуглецю або стабілізовані елементами, що сприяють утворенню карбідів (Ti, Zr) і усувають їхню схильність до інтеркристалітної корозії після нагрівання, застосовують срібні припої з температурою розтікання від 620 до 750 °С. Так для паяння лопаток складу 11X11H2B2MФ до обойми складу 12X18H10T обрано срібний припій ПСр-50.

При індукційному паянні через швидке і нерівномірне нагрівання і малу теплопровідність сталі в ній можуть створюватися великі місцеві розтягуючі напруження. Тому слід максимально обмежувати тривалість контакту сталі з рідким припоєм, не допускаючи виникнення розтягуючих напружень у паяних деталях і повторного перепаювання. Індукційне паяння застосовують для виробів великих розмірів, це дозволяє швидко нагрівати деталі та сприяє можливості механізації і автоматизації процесу.

Заміна зварювання паянням при виготовленні НА зі сталі 12X18H9T дозволяє підвищити втомний опір конструкції.

Слід зазначити, що кількість припою, який використовують в технології залежить від виду його нанесення: порошкоподібний припій використовують у чотириразовому обсязі порівняно з об'ємом капілярного зазору, дріт лише у дворазовому обсязі.

Зі збільшенням зазору пластичність швів знижується.

Поверхні пристосувань та деталей при пайці у вакуумі мають бути попередньо очищені від оксидів. Температура відновлення оксидів при нагріванні в захисній атмосфері повинна бути близька до температури плавлення припою, але не нижче.

Переваги цього способу пайки:

- хороші захисні властивості витратних матеріалів, що не допускають утворення оксидів металів, які входять до складу припою і основного металу;
- висока продуктивність, що забезпечує можливості пайки складних виробів одночасно в декількох місцях або пайки великої кількості однотипних виробів;
- висока стабільність якості паяного з'єднання, яку досягають контролем режимів пайки на кожній стадії технологічного процесу;
- мінімальні деформації і залишкові напруження в паяних вузлах, внаслідок рівномірного нагріву та охолодження в процесі пайки;
- простота управління і безпека процесу;
- висока міцність і пластичність паяних з'єднань.

4.2 Технологічні прийоми конденсаторного зварювання направляючого апарату

Найбільш розповсюдженим методом конденсаторного зварювання є використання понижуючого трансформатора, який генерує значні короткочасні імпульси струму через попередньо стиснені деталі. Машини за зарядною напругою конденсаторів поділяються на:

- невеликої потужності, що становить 400-500 В;
- середньої і великої потужності - від 3000 до 6000 В.

За необхідності використовуються низьковольтні конденсатори з напругою 400 В. Накопичена енергія у таких машинах може коливатися від 200 до 50000 Вт·с, а форма кривої струму залежать від регулювання параметрів, таких як U , C і $K_{тр}$ (коефіцієнт трансформації). Підвищення U і C призводить до збільшення максимального струму та тривалості розряду, що показано на рисунку 4.2.

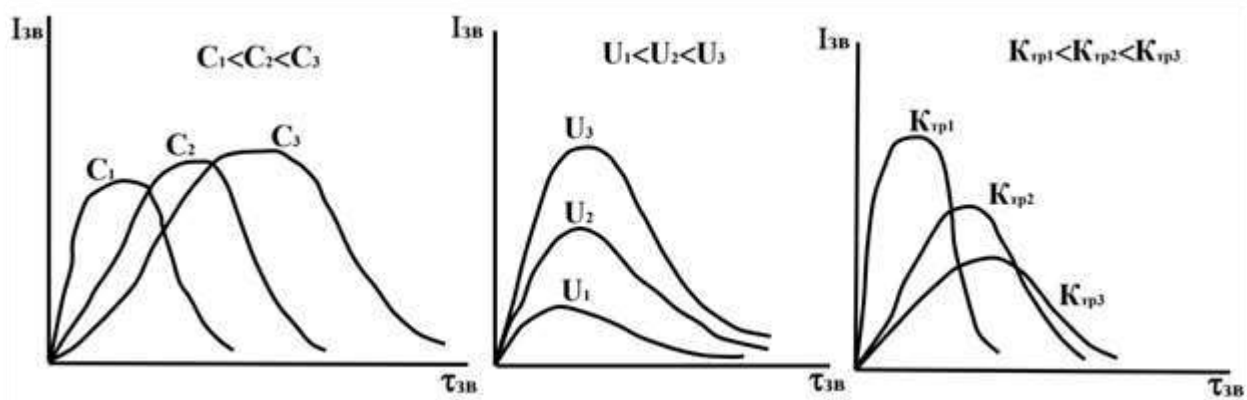


Рисунок 4.2 – Графіки залежності ємності, напруги та коефіцієнта трансформації від часу зварювання струмів при великих і малих значеннях C , U і $K_{тр}$ [16].

За допомогою конденсаторного зварювання можна отримувати якісні з'єднання із маловуглецевої, нержавіючої сталі, нікелю, фехралю, манганіну, мідних сплавів, титану, а також з'єднань різнорідних матеріалів типу: бронза з (сріблом, нікелем, латунню), сталь з (бронзою, нікелем, ніхром, латунню) тощо.

Переваги конденсаторного зварювання визначаються його властивостями. Завдяки високій щільності енергії та невеликій тривалості зварювального імпульсу, зона термічного впливу залишається дуже малою, а напруги та деформації є мінімальними. Обладнання просте та ефективне. Оскільки конденсаторний блок відключений від мережі під час розряду, він не впливає на її параметри. Головним недоліком є обмеженість застосування лише для роботи з тонкими металами.

Крім того, компактність є ще однією перевагою конденсаторного зварювання. Для його використання не потрібні потужні джерела живлення, а пристрій може заряджати між переміщенням електрода до наступної точки. У процесі зварювання практично відсутні шкідливі гази, і пристрій є дуже економічним, оскільки всю накопичену енергію використовується для розплавлення металів в точці з'єднання. Завдяки постійному заряду на конденсаторах, формується стабільна і якісна дуга.

5 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ ТА ПАЯННЯ НАПРАВЛЯЮЧОГО АПАРАТУ

Аналіз існуючих технологій показав, що паяння є основним способом з'єднання лопаток та обійми. Допоміжним технологічним прийомом є застосування конденсаторного зварювання для попереднього кріплення лопаток та припою стрічками фольги.

Для вдосконалення ТП та його здешевлення пропонується замінити середовище індуктивного паяння з аргонного на безгазове, вакуумне. Експериментально показано, що якість паяних з'єднань відповідає високому рівню забезпечення міцнісних характеристик складальної одиниці у процесі роботи.

5.1 Технологія складання, зварювання та паяння направляючого апарату

005 Комплектування

010 Пробивання проставки

1. Перевірити розміри пуасона. Інструмент: мікрометр МК 25-2, індикатор, кінцеві міри 1-Н2.
2. Установити деталі для пробивки на установку для пробивки.
3. Змазати внутрішню поверхню обійми олеїною кислотою.
4. Пробити рівнорозташовані просічки по колу, витримуючи вказаний кут.
5. Контролювати розміри просічок калібром.
6. Перевірити зміщення просічок від номінального положення по колу не більше 0,05 мм, відносно паза С - не більше 0,25 мм.
7. Перевірити зовнішній вигляд просічки по контрольному зразку.

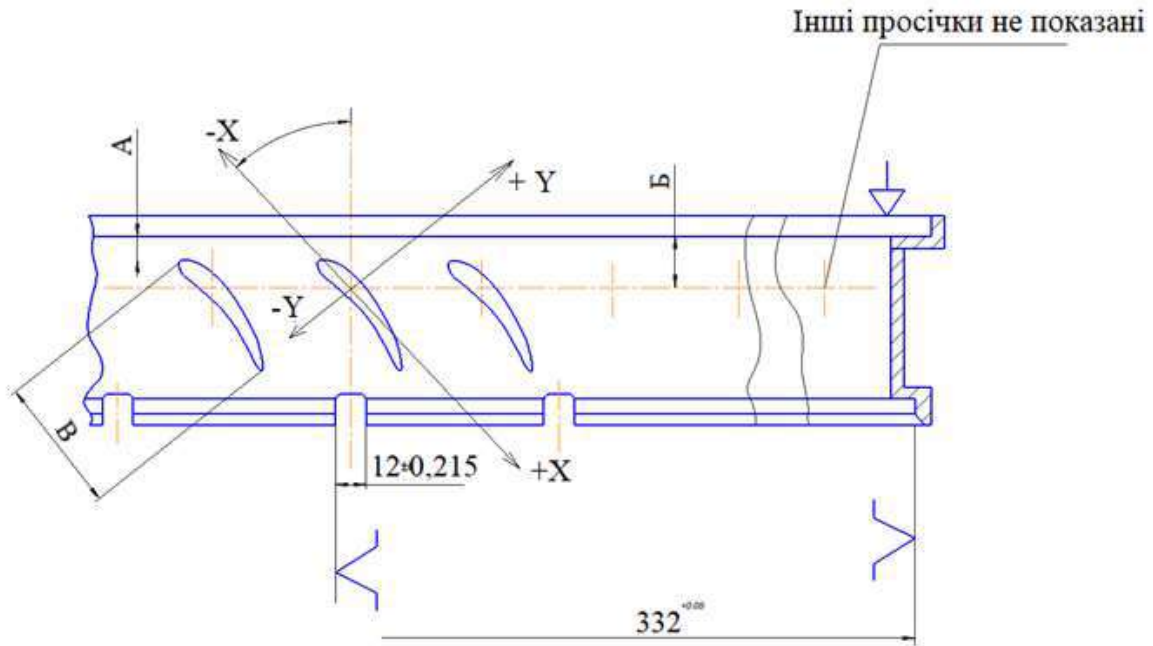


Рисунок 5.1 – Обойма з виконаними просічками

Таблиця 5.1 – Кількість та геометричні характеристики просічок для різних ступеней направляючого апарату.

Ступені	Кількість пазів, шт.	Кут, град	$B \pm 0,1$	A Перерахунковий
5	80	39°48'	5,43	2,61±0,3
6	84	40°37'	6,55	4,01±0,3
7	84	42°39'	5,26	2,68±0,3
8	88	43°29'	5,34	2,92±0,3
9	88	44°29'	5,02	3,14±0,3
10	90	45°29'	4,08	2,55±0,3
11	90	47°11'	4,1	2,46±0,3

015 Відрізка-згинання

Нарізати та відформувати скоби припою по розмірам. Штангенциркуль ШЦ-11-160-0,05, припій ПСр-50 за ДСТУ ISO 9453:2007 [18].

020 Відрізна

Нарізати стрічки фольги довжиною 120...130 мм, шириною 1...1,2 мм. (фольга X18H10T, товщина 0,08...0,1 мм, ножиці, штангенциркуль.

025 Приготування флюсу

1. Обезводнити фтористий калій шляхом просушування у сушильній шафі ($t=250...300^{\circ}\text{C}$, 5...6 год).

2. Приготувати флюс 18-В шляхом змішування фтористого калію 40% та борної кислоти 60%.

3. Розчинити флюс 18-В у воді у відношенні 1:1 за вагою.

4. Підігріти флюс до $40...60^{\circ}\text{C}$, інтенсивно перемішуючи дерев'яною паличкою. Такий розчин використати на протязі 24 годин з моменту приготування.

030 Очистка ультразвукова

Очистити обойму в ультразвуковій установці.

035 Знежирення

1. Знежирити обойму та лопатки бензином або ацетоном та просушити у шафі. (ацетон, нефрас).

2. Знежирити скоби припою ПСр-50 бензином або ацетоном та просушити у шафі. (ацетон, нефрас).

040 Складальна

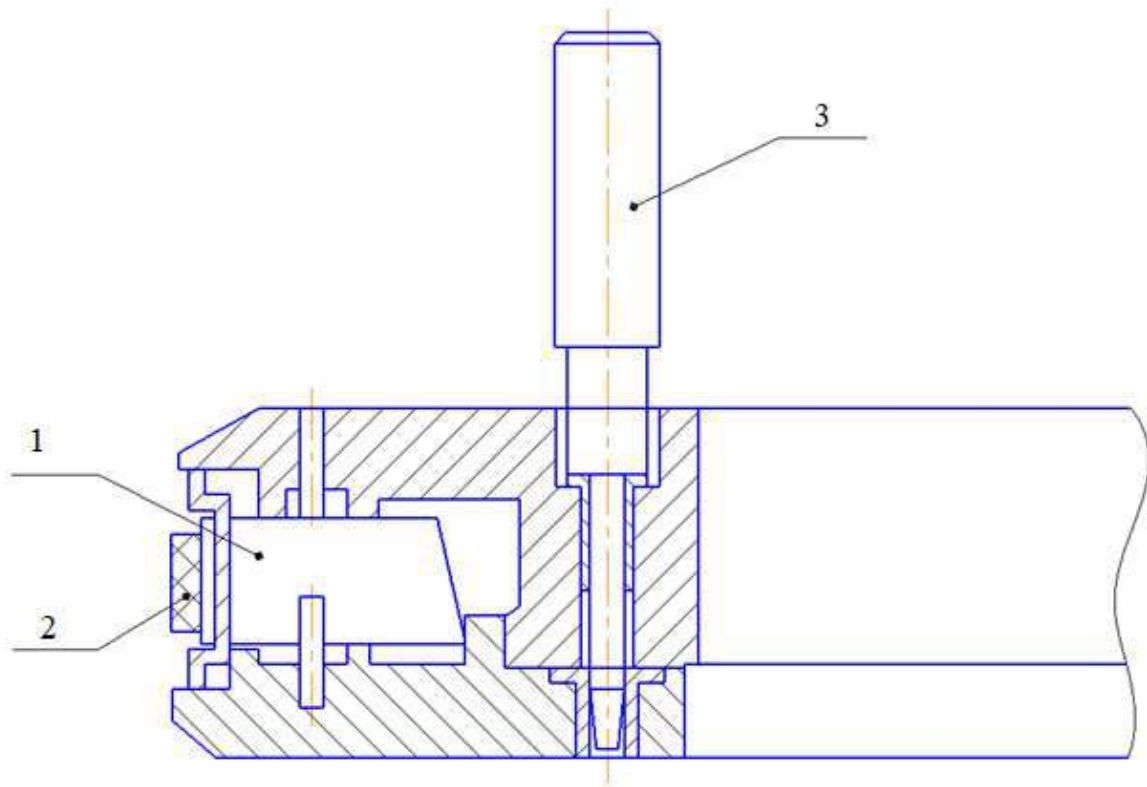
1. Встановити обойму поз.2 на основу пристосування

2. Перевірити лопатки поз.1 на наявність забоїн, рисик, тріщин. Деталі, що мають пошкодження в роботу не брати.

3. Вставити послідовно всі лопатки поз.1 у просічки витримуючи розмір 7 з обох сторін лопатки, смарний зазор не більше 0,2 мм.

4. Складальну одиницю накрити кришкою пристосування та зафіксувати двома фіксаторами взаємне розташування кришки та основи.

5. Осадити лопатки поз.1 до упору вхідних крайок в опорний виступ основи пристосування і одіти резиновий хомут.



1 – лопатка, 2– резиновий хомут, 3 – фіксатор (2шт.)

Рисунок 5.2 – Складальна операція лопаток та обойми в розроблене пристосування

045 Зварювальна

1. Встановити згідно ескізу припій поз.3 на лопатки поз.1 із зовнішньої сторони обойми поз.2, розташовуючи перегиб скобки припою на вхідній кромці лопатки, використовуючи пінцет медичний.

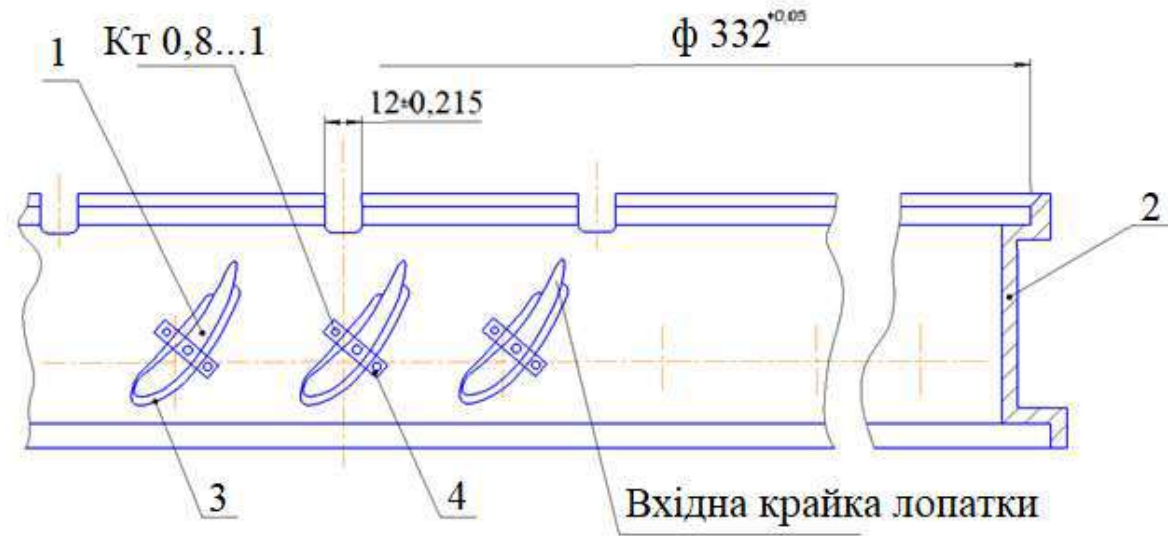
2. Закріпити припій поз.3 на лопатках за допомогою стрічок фольги поз.4, прихвативши їх до обойми і торця лопатки контактним зварюванням, розташовуючи стрічки по центру лопатки.

3. Застосовуючи електродний олівець.

4. Зняти апарат зі складального пристосування.

5. Зачистити виплески і пропали зварювання надфелем $l=160$ мм.

6. Перевірити наявність пропою на кожній лопатці та правильність його закріплення.



1 – лопатка (11X11Н2В2МФ-Ш), 2 – обойма (12X18Н10Т), 3 – припій (ПСр-50), 4 – стрічка фольги (12X18Н10Т)

Рисунок 5.3 – Зварювальна операція лопаток та обойми

Таблиця 5.2 – Параметри контактеного конденсаторного зварювання

Ступені	Напруга мережі, В	Напруга заряду, В	Коефіцієнт трансформації	Обладнання
5...11	220	1000	160	Машина точечна конденсаторна МТК-15

050 Флюсування

1. Перевірити по журналу реєстрації дату та час обезжирювання деталей поз.1, поз.2, скобок припою. Між операціями знежирення та паяння перерва має бути не більше 48 годин. При більш тривалому зберіганні, виконати ультразвукове очищення з наступним знежирення деталей поз.1, поз.2 та припою.

2. Флюсувати апарат зі скобами припою шляхом окунанням і повільного обертання апарату у ваночці зі спиртом, потім у ванночці з флюсом,

забезпечуючи покриття спиртом та флюсом внутрішньої поверхні обойми і лопаток на довжині 3 мм. (Спирт, флюс 18В).

3. Просушити флюсований апарат у сушильній шафі до повного зневоднення при $t=140\dots160$ °С.

4. Дістати апарат із сушильної шафи і встановити на пристосування для рихтування.

055 Слюсарна

1. Встановити складальну одиницю на пристосування і накрити кришкою.

2. Осадити обойму поз.2 до упору в поверхню Б пристосування для виправлення короблення обойми. Правити, використовуючи молоток дерев'яний.

3. Осадити лопатку до упору в буртик і штифти пристосування, використовуючи оправку.

060 Паяння

1. Протерти вологою серветкою обертовий столик вакуумної камери, пристосування для паяння і внутрішню поверхність камери установки та перехідних.

2. Протерти серветкою змоченою в ацетоні обертовий столик, вакуумної камери, пристосування для паяння і внутрішню поверхність камери установки та перехідних.

3. Просушити до повного випаровування ацетону.

4. Вивірити, і при необхідності, виставити величину радіального биття індуктора відносно пристосування до 3 мм відносно поверхонь Г та В індуктора. Впевнитись що індуктор не торкається пристосування.

5. Встановити апарат направляючий на пристосування та закріпити прижимом. Перевірити розмір 8.

6. Відпустити ковпак пристосування до торкання з резиновим ущільненням.

7. Увімкнути вакуумний агрегат та відкачати повітря з камери до рівня $1\cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст.

8. Увімкнути воду для охолодження індуктора.
9. Увімкнути обертання столика.
10. Увімкнути генератор та паяти направляючий апарат за ступенями.
11. Увімкнути запис процесу відпалу (реєстрація по напрузі).
12. Переключити генератор на режим відпалу одразу після операції паяння.
13. Вимкнути генератор, зупинити обертовий столик, вимкнути ампервольтметр.
14. Витримати паяний апарат не менш ніж 7 хв. у вакуумі.
15. Розвакуувати камеру.
16. Дістати апарат та покласти на столик для охолодження.
17. Перевірити розмір Б.п.1
18. Перевірити якість паяння зовнішнім оглядом.

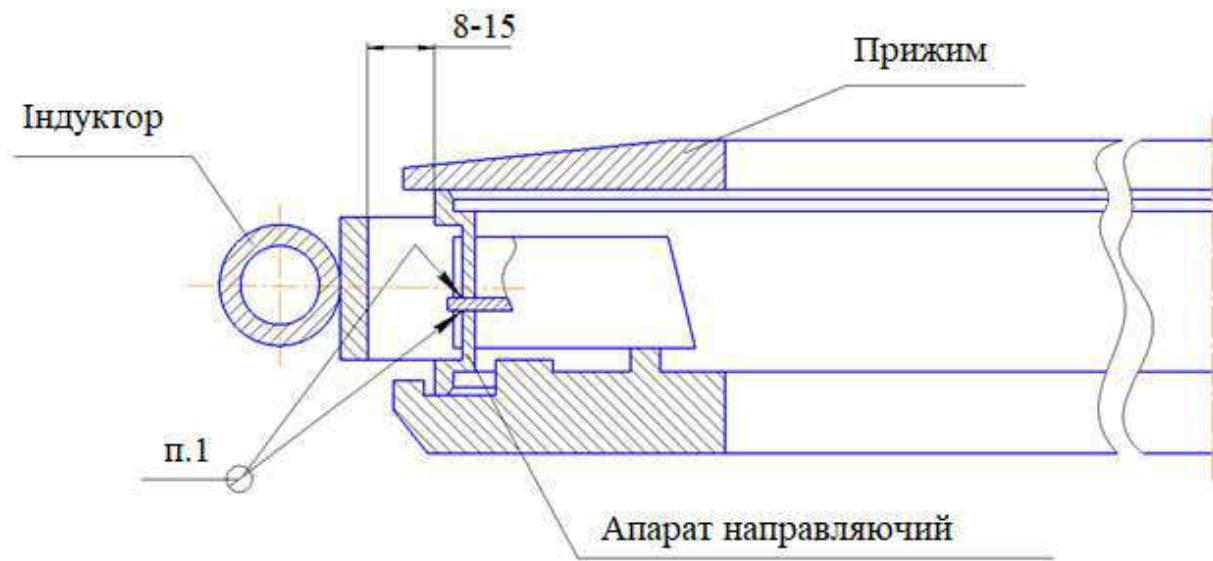


Рисунок 5.4 – Індукційне паяння у вакуумі лопаток та обойми

Таблиця 5.3 – Параметри індукційного паяння у вакуумі лопаток та обойми

Ступені паяння	Час паяння (з моменту встановлення вакууму), ± 30 сек.	Струм генерації	Обладнання
1	На протязі	4	200±15
2		2	300±15
3		2	400±15
4		2	60...70

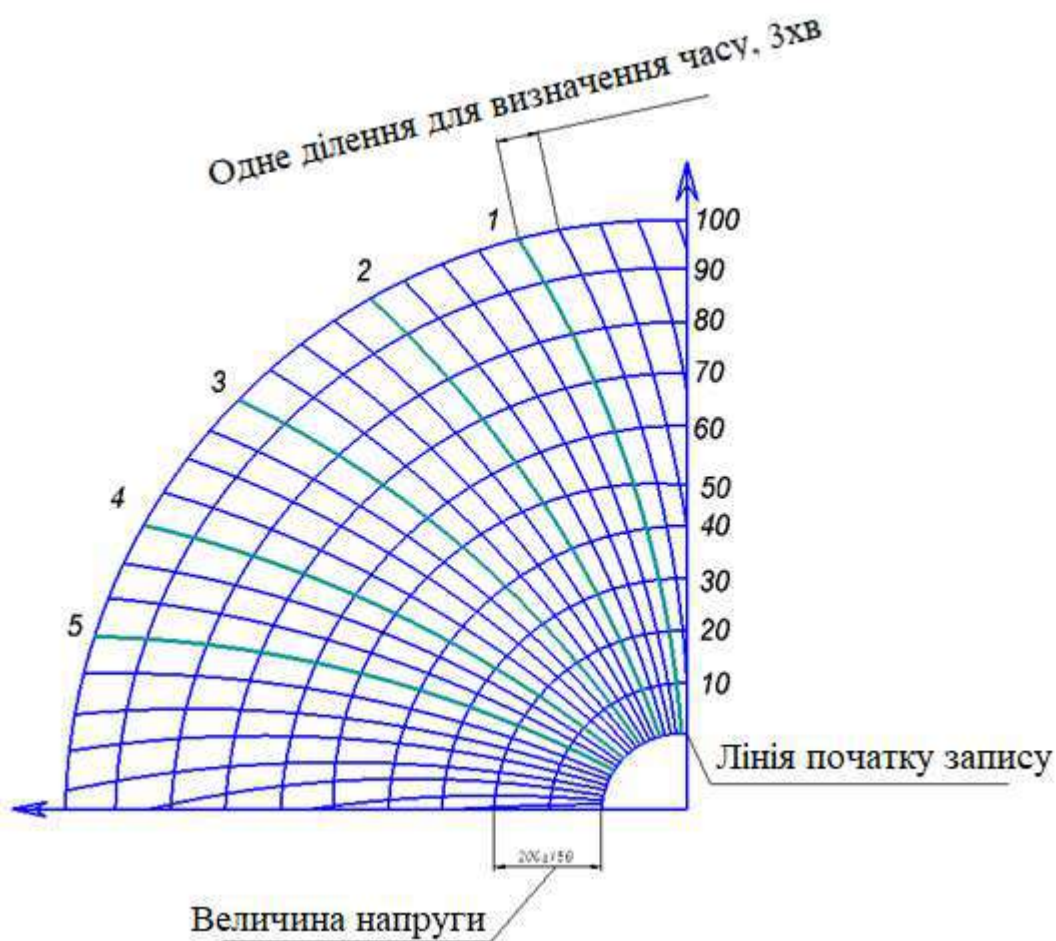
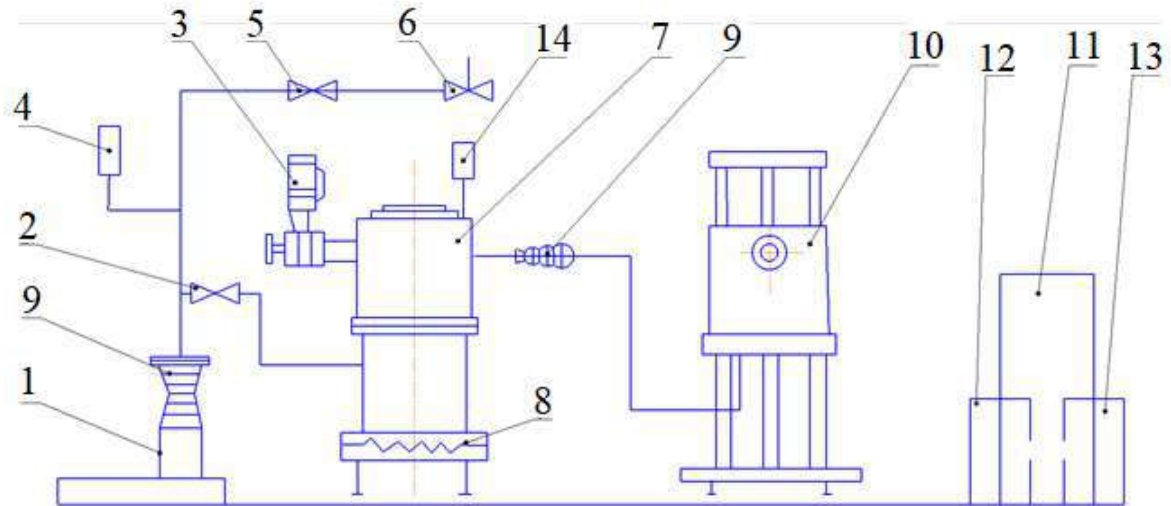


Рисунок 5.5 – Діаграма для визначення параметрів індукційного зварювання та ТО



1 – вакуумний насос ВН1МГ, 2 – вакуумний вентиль А, 3 – вакуумний затвор ексцентриковий, 4 – термопарний манометр, 5 – вакуумний вентиль Б, 6 – напускний вентиль, 7 – високовакуумний агрегат, 8 – нагрівач паромасляного насосу, 9 – сильфон, 10 – вакуумна камера, 11 – шафа управління, 12 – трансформаторний блок, 13 – конденсаторний блок, 14 – лампа ЦМТ-2

Рисунок 5.6 – Установа для індукційного паяння у вакуумі

Порядок роботи установки для пайки:

1. Пустити охолоджувальну воду на конденсаторний блок 13, трансформаторний блок 12, вакуумний агрегат 7, індуктор.
2. Закрити вентиль 2, затвор 3, напускний вентиль 6.
3. Відкрити вентиль 5.
4. Підготувати камеру і апарат до пайки і, натисканням кнопки "Опуск ковпака", закрити ковпак.
5. Натисканням кнопки "Пуск" на пульті керування вакуумної системи увімкнути форвакуумний насос ВН-1МГ і відкачати систему до тиску 5×10^{-2} мм.рт.ст. (Заміряти тиск вакууметром ВТ-3 і термопарним манометром).
6. Увімкнути електронагрівач 8 паромасляного насоса і відкрити вентиль 2. Розігрів оливи до робочої температури триває 25...30 хв, після чого паромасляний насос починає працювати.

7. Після підігріву насоса (25...30 хв.), відновлення тиску 5x10 мм.рт.ст. у системі, закрити вентиль 5 і відкрити затвор 3 кнопкою "Відкрито".

8. Відкачати систему до тиску 1x10' мм.рт.ст. (Вимірювання вакууму проводити вакууметром ВТ-3 і лампою 14).

9. Спаяти апарат направляючий, відпалити і витримати під вакуумом згідно з техпроцесом.

10. Розвакуувувати камеру установки в такому порядку:

- увімкненням кнопки "Закрито" встановити заслінку затвора в положення "Закрито";

- відкрити вакуумний вентиль 5 трубопроводу;

- плавним повертанням відкрити напускний вентиль 6, що знаходиться на агрегаті ВА-05 для наповнення камери атмосферним повітрям.

11. Підняти ковпак увімкненням кнопки "Підняти ковпак".

12. Вийняти напрямний апарат із камери.

13. Наступний цикл повторити, починаючи з п.2.

065 Хімічне очищення

1. Опустити НА у ванну з розчином кальцинованої соди і витримати 2...3 години.

2. Вийняти апарат із ванни.

3. Промити апарат у ванні з гарячою проточною водою.

4. Вийняти НА із ванни і обдути сухим стисненим повітрям.

5. Перевірити якість промивання реакцією на фенолфталеїн. Розчин наносити краплями на поверхню паяного шва в трьох...чотирьох місцях на апараті. Поява рожевого кольору не допускається. У разі появи рожевого кольору повторити переходи 1...4 до повного видалення флюсу.

Склад розчину для промивки наступний: кальцинована сода 40...60 г/дм³ та вода.

6. Якість промивання пред'явити контролеру ВТК.

070 Сушильна

1. Просушити НА в сушильній шафі до повного видалення волги.

2. Завантаження НА проводити у прогріту шафу.

5.2 Контроль якості паяного з'єднання

Механічні випробування паяних виробів можна класифікувати у три основні групи [2]: 1) лабораторні випробування паяних зразків; 2) статичні і динамічні випробування паяних виробів в умовах лабораторії; 3) випробування паяних виробів за реальних умов експлуатації.

Для відпрацювання технології паяння проводять лабораторні випробування паяних з'єднань. Випробування в умовах експлуатації проводять для особливо відповідальних паяних конструкцій.

Механічні випробування включають короткочасні статичні випробування, тривалі статичні випробування, динамічні випробування з одночасними ударними навантаженнями та випробування на втомну міцність.

Якщо виріб, з'єднаний паянням, піддається в експлуатації в умовах вібрацій та інших повторно-змінних навантажень, то паяні з'єднання, іноді весь виріб, піддаються випробуванням на втому. Під час цих випробувань встановлюють умовні межі втоми (витривалості), що представляють собою максимальне напруження, яке зразок може витримати без руйнування при певній кількості навантажень (циклів). Оцінка втомної міцності паяних з'єднань має важливе значення, але на сьогоднішній день не існує загальноприйнятої методики для проведення цих випробувань.

НА перевірити якість паяння візуальним контролем згідно ТУ: паяні шви повинні бути блискучими, круглими, без пор, раковин та гострих кромок. Припій на повинен проглядатися по всій поверхні і бути вільним від дефектів. Поверхня паяного шва повинна бути гладкою. При нормальному зорі на відстані до 25 см не повинні бути помітні пори і раковини.

До характерних дефектів у складанні виробу для паяння відносяться нерівномірність зазору між поверхнями, які з'єднуються, та зміщення елементів виробу під час паяння. Ці недоліки виникають через неякісну та неточну обробку заготовок, а також внаслідок зміщення їх під час збирання. Відсутність відповідного устаткування, яке могло б забезпечити фіксацію виробу та його окремих елементів, також сприяє виникненню цих дефектів у процесі паяння.

Непропай виникає внаслідок відсутності змочування металу, який паяється. Для уникнення таких непропаяних ділянок необхідно ретельно очистити поверхню виробу від оксидної плівки та дотримуватися встановлених технологією паяння зазорів та параметрів паяння. Наявність шкідливих домішок у припоях негативно впливає на якість заповнення зазору, окрім того, рідкотекучість припою різко зменшується при забрудненні його оксидами.

В паяних з'єднаннях тріщини можуть виникнути через вплив власних напруг у основному металі або під час вібрацій конструкції під час процесу, коли затверділий припій не досягає достатньої міцності. Шви, які паяються припоями з широким інтервалом кристалізації, є особливо схильними до утворення тріщин.

Тріщини, які утворюються у місцях контакту припою з основним металом, можуть виникати під час паяння металевих матеріалів, які суттєво відрізняються за фізико-хімічними властивостями. Цей найчастіше спостерігається при паянні твердих сплавів, сталей. Також можливе утворення тріщин при паянні корозійностійких сталей мідними та срібними припоями в умовах підвищеного напруження.

Гарячі та холодні тріщини зазвичай виникають внаслідок внутрішніх напружень, що виникають при різних етапах паяння. Ці напруження можуть з'являтися під час складання, нагрівання під час паяння, кристалізації металу шва та охолодження паяного з'єднання. Тріщини також можуть утворюватися в основному металі під впливом розплавленого припою, якщо він проникає по границях зерен основного металу, що може призвести до послаблення їх зв'язку.

Поява дрібних пор та непропаїв може бути обумовлена виділенням газів під час паяння, які містяться в припоях і утворюються при випаровуванні

окремих компонентів флюсів. Пори та непропаї можуть також виникнути при недостатньому внесенні припою або при занадто великому зазорі між крайками деталей. Присутність адсорбованого шару вологи у флюсі та прутках припою також може сприяти утворенню пор та непропаїв.

При візуальному контролі зварних з'єднань, неприпустимими дефектами вважаються: тріщини різних типів та орієнтацій; відсутність несплавлення між базовим металом та швом, а також між краями шва; зайвий нальот (наплив) та викиди металу; глибокі ями; акумулювання включень.

Перевірити по діаграммі режими відпалу.

Перевірити НА накібром на складання у наступній складальній одиниці.

Перевірити умову площинності на поверхнях А та Б.

5.2.1 Виправлення дефектів паяних швів

При необхідності зачистити напливи припою у прохідному перерізі НА Ра 1,6. Допустиме врізання в тіло НА не більше 0,05 мм.

При наявності не припаяних стрічок фольги, необхідно їх видалити, після чого окунути НА у розчин ГЖ-1.

Перевірити наявність неприпаяних стрічок фольги – видалити їх механічним шляхом.

Допускається перепайка складальної одиниці з постановкою стрічок фольги для утримання припою.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЗВАРЮВАЛЬНО-ПАЯЛЬНИХ РОБІТ

В цьому розділі проаналізовані основні шкідливі та небезпечні фактори, при яких виникає небезпека ураження організму, а також умови, що можуть потенційно призвести до травмування в процесі виконання робіт. Розроблені заходи спрямовані на усунення цих факторів та забезпечення організованих правильних дій у надзвичайних ситуаціях при виконанні зварювання.

6.1 Аналіз потенційних небезпек при виготовленні направляючого апарату

Аналіз потенційних небезпек включає в себе розгляд різноманітних факторів, які можуть призвести до травм та загроз для безпеки та здоров'я працівників. Серед цих факторів можна виділити:

- а) низька якість професійної підготовки фахівців, що може призвести до порушень технологічного процесу та травм;
- б) неправильна організація робочих місць, що може створити умови для травмування працівників;
- в) травми механічного характеру під час підготовки та зварювання виробів;
- г) ризик ураження електричним струмом може зростати внаслідок порушень правил електробезпеки, відсутності захисного заземлення або його порушення, а також через наявність відкритих скруток. Це може призвести до ураження електрострумом, і в екстремальних випадках, навіть призвести до летальних наслідків;
- є) можливість отруєння газами та аерозолями, що виділяються під час зварювання та паяння;

- ж) погані параметри повітряного середовища на робочих дільницях;
- з) отруєння захисними газами, використовуваними під час зварювання;
- л) ризик загоряння через порушення правил пожежної безпеки;
- м) негативний вплив електромагнітних випромінювань при індукційному паянні;
- н) інші можливі небезпеки, пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях.

Норми небезпечних і шкідливих виробничих факторів у робочій зоні не повинні перевищувати встановлені значення:

- показники важкості праці повинні бути не вищі II класу (допустимі) згідно з "Гігієнічною класифікацією праці" № z0472-14;
- шкідливі речовини в повітрі робочої зони не повинні перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК);
- рівні шуму та звукового тиску на робочому місці під час зварювання повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99;
- інтенсивність інфрачервоного випромінювання і температура нагрітої поверхні устаткування не повинні перевищувати відповідно 140 Вт/м² і 45 °С;
- процедура захисного заземлення і занулення повинна виконуватися відповідно до встановленого стандарту.

6.2 Заходи безпеки під час виконання робіт

Всі роботи повинні бути виконані відповідно до наряду-допуску під керівництвом та наглядом керівника робіт. Відповідальний керівник робіт має такі обов'язки:

- здійснити зовнішній огляд робочого місця;
- перевірити виконання всіх заходів з безпеки, які вказані у відповідній технології;

- ознайомити персонал із всіма можливими видами небезпек, які пов'язані із виконанням робіт;

- перевірити наявність необхідних посвідчень у працівників;

- визначити безпечний маршрут переміщення персоналу;

- контролювати дії персоналу під час виконання робіт.

Роботодавець повинен організувати:

- проведення медичних оглядів працівників конкретних груп включає в себе етапи попереднього лікарського огляду (при прийнятті на роботу) та регулярні періодичні медичні огляди протягом періоду трудової діяльності, 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 визначень, установлених Порядком проведення атестації робочих місць за умовами праці, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.1992 № 442;

- посадові особи одночасно з працівниками 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 було затверджено наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року № 15 і зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15 лютого 2005 року за № 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05);

- роботодавець має обов'язок розробити та затвердити перелік робіт з підвищеною небезпекою відповідно до Переліку робіт з підвищеною небезпекою, що був затверджений наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року № 15. Цей перелік зареєстровано в Мінюсті України 15 лютого 2005 року за № 232/10512 (НПАОП 0.00-2.01-05);

- роботодавець повинен забезпечити безпечну експлуатацію електроустаткування відповідно до вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, що затверджені наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 09 січня 1998 року під номером №4. Зареєстровано у Мініюст України 10 лютого 1998 року за № 93/2533 (НПАОП 40.1-1.21-98);

- роботодавець повинен забезпечити працівників засобами індивідуального захисту відповідно до вимог Положення про порядок надання працівникам спеціального одягу, взуття та інших засобів індивідуального захисту. Це положення було затверджено наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 24 березня 2008 року під номером № 53. Документ зареєстровано в Мініюсті України 21 травня 2008 року за № 446/15137 (НПАОП 0.00-4.01-08).

Показники мікроклімату в межах робочої зони повинні відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99.

Рівень акустичного тиску на робочих місцях має відповідати нормам, визначеним Санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99.

Показники вібрації на робочих місцях не повинні перевищувати встановлені норми, зазначені в Державних санітарних нормах виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99.

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.

Згідно із статтею 13 Закону України від 14 жовтня 1992 року № 2694-ХІІ "Про охорону праці", роботодавець зобов'язаний забезпечити створення на робочому місці, у кожному структурному підрозділі, умов праці, що

відповідають вимогам нормативно-правових актів. Також він повинен організувати проведення лабораторних досліджень умов праці з дотриманням чинного законодавства.

Робочі повинні застосовувати спецвзуття, спецодяг, засоби індивідуального захисту: захисні рукавиці, захисні окуляри, щитки зі світлофільтрами, засоби захисту органів слуху. Вибір засобів індивідуального захисту органів дихання повинен здійснюватися відповідно до вимог Правил вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання, зареєстрованих у МіністУкраїни 04 квітня 2008 року за № 285/14976 (НПАОП 0.00-1.04-07).

Одяг та рукавиці зварювальника не повинні мати слідів олії, жиру, бензину, гасу та інших горючих рідин. Для захисту очей та обличчя від ультрафіолетових та інфрачервоних променів, зварювальник повинен використовувати ручні або наголовні щитки із склом-світлофільтром. Під час зварювання дуговим методом, світлофільтри повинні використовуватися відповідно до сили струму та методу зварювання.

Зону робіт огородити та позначити знаками безпеки за ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір». Доступ сторонніх осіб до зони робіт заборонити.

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

Для виконання зварювальних робіт допускаються лише зварювальники, які пройшли атестацію згідно з вимогами НПАОП 0.00-1.16-96 "Правила атестації зварювальників". Крім того, зварювальники повинні використовувати спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту, забезпечені відповідно до чинних норм, під час виконання робіт.

Перед початком робіт зварювальник повинен переконатися у справності всіх компонентів зварювальної установки.

При виконанні зварювальних, паяльних та зачисних робіт зварювальник та слюсар повинні користуватися такими індивідуальними засобами захисту:

- захисними окулярами з безбарвним склом для запобігання можливого влученню осколків та гарячого шлаку в очі при зачищенні зварних швів;

- рукавицями із іскростійких матеріалів, що мають низьку електропровідність. Працівники, які здійснюють електрозварювальні роботи або перебувають під час їх виконання, повинні використовувати захисні рукавички, такі як рукавиці з крагами або рукавички з іскростійких матеріалів з низькою електропровідністю. Додатково, працівники повинні пройти інструктаж з проблем шкідливого впливу ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання, яке виробляється під час електрозварювання.

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.

У випадку пошкодження ізоляції кабелів рекомендується їх замінювати або поміщати у гумовий шланг. При цьому можна використовувати ізоляцію пошкоджених ділянок дротів, використовуючи метод вулканізації з використанням сирової гуми.

З'єднання зварювальних проводів слід виконувати за допомогою паяння, опресування, зварювання або спецзатискачів. Заборонено використовувати голі

чи пошкоджені ізоляцією провідники, а також застосовувати нестандартні електрозапобіжники.

Під час проведення паяльних робіт необхідно виконувати такі вимоги [18]:

- матеріали, що використовуються під час ТП паяння, повинні бути супроводжені паспортом безпеки хімічної продукції відповідно до вимог стандарту ДСТУ ГОСТ 30333:2009 "Паспорт безпечності хімічної продукції. Загальні вимоги";

- хімічовини необхідно зберігати у спеціально обладнаному приміщенні, враховуючи їхню здатність до хімічної взаємодії, відповідно до норм і вимог, встановлених у ГОСТ 3885-73 "Реактивы и особо чистые вещества. Правила приемки, отбор проб, фасовка, упаковка, маркировка, транспортирование и хранение". (Наказ від 13.07.2017 № 177 Про перенесення строку скасування чинності в Україні міждержавних нормативних документів та скасування національних нормативних документів);

- припої, призначені для з'єднання заготовок, повинні рівномірно розподілятися по поверхні спаяних деталей, мати температуру плавлення нижче, ніж метали, які об'єднуються, та демонструвати високу електропровідність під час проведення процесу паяння для токопровідних виробів;

- обладнання, яке використовується для технологічних процесів паяння, повинно перебувати в справному стані та відповідати вимогам системі стандартів безпеки праці та загальним вимогам до безпеки на робочих місцях;

- устаткування, яке встановлене в технологічному потоці, має бути оснащено одночасними світловими та звуковими сигналізаціями, які блокуються разом із загальним пусковим пристроєм. Пускові механізми обладнання повинні бути взаємоблоковані з пусковими пристроями систем витяжної вентиляції;

- виконання робіт, які передбачають використання вантажопідіймальних кранів, вантажопідіймальних машин, вантажозахоплювальних пристроїв та тари, повинно відповідати вимогам, визначеним у Правилах будови та безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. Ці правила затверджені наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого

нагляду від 18 червня 2007 року № 132 і зареєстровані в Мінюст України 09 липня 2007 року за № 784/1405 (НПАОП 0.00-1.01-07);

- температура доступних для дотику поверхонь виробничого обладнання та захисних пристроїв не повинна перевищувати 43 °С згідно із вимогами Державного стандарту України EN 563-2001 "Безпечність машин. Температури поверхонь, доступних для дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури гарячих поверхонь";

- індукційне обладнання повинно відповідати вимогам ДСТУ 2817-94 Система стандартів безпеки праці. Апарати електричні комутаційні на напругу до 1000 В. Вимоги безпеки;

- в місцях де здійснюється приготування паяльних флюсів із вмістом фтористих і хлористих солей, слід забезпечити наявність засобів для нейтралізації цих речовин у разі потрапляння на шкіру працівника;

- експлуатацію електротермічних установок для індукційного паяння слід проводити відповідно до вимог Правил охорони праці при термічній обробці металів. Ці вимоги встановлені відповідно до наказу Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 грудня 2007 року № 315 та зареєстровані у Мінюст України 28 січня 2008 року за № 66/14757 (НПАОП 28.5-1.02-08).

Установки для проведення індукційного паяння повинні відповідати таким вимогам:

- встановлені пристрої для індукційного паяння мають бути оснащені блокувальними засобами, які перешкоджають активації установки у випадку відсутності води в системі охолодження, а також запобігають доступу працівників до елементів, що перебувають під напругою;

- у випадку, коли установки для індукційного паяння живлять кілька робочих місць, обов'язково має бути наявний загальний пульт управління. Додатково, на кожному робочому місці повинні бути встановлені аварійні вимикачі для дистанційного відключення установок;

- нагрівальні індуктори повинні бути обладнані місцевими системами відсмоктування;

- з метою безпеки установки для індукційного паяння мають бути укомплектовані блокувальними огородженнями та світловою сигналізацією.

З урахуванням негативного впливу вихідних компонентів у складі припоїв, флюсів та миючих середовищ на працівників та навколишнє середовище, для забезпечення сприятливих умов праці рекомендується вжити комплекс заходів:

- на ділянках, де проводять операції пайки, слід виділити в окремі приміщення. У випадку, якщо пайка виконується на потоковій лінії разом із іншими операціями, виробничі приміщення розглядаються як ті, що призначені для пайки;

- стіни, віконні рами, опалювальні прилади та повітропроводи повинні бути гладкими і покриті світлою масляною фарбою. Панелі на рівні 1,5–2 м від підлоги рекомендується облицьовувати плиткою;

- підлоги мають бути водонепроникними, міцними, стійкими до стирання і горіння, без щілин і з нахилом до трапів каналізації. Після кожної зміни ділянки пайки піддаються очищенню;

- вологе прибирання всього приміщення проводиться не рідше одного разу на тиждень;

- очищення обладнання здійснюється за допомогою пневмоприбиральної системи. Робочі поверхні столів, ящиків для інструментів і тари чистяться і обмиваються гарячим мильним розчином в кінці кожної зміни;

- спалювання використаних серветок і ганчірок після кожної зміни є обов'язковим, а повторне їх використання не допускається;

- шафи для зберігання робочого одягу і особистих речей щотижня обмиваються гарячою водою з милом;

- експлуатація ділянок пайки без витяжної вентиляції забороняється. Вентиляційні установки повинні бути активовані до початку робіт і вимкнені після їх завершення;

- приміщення, де розташовані ділянки пайки, обладнуються відокремленою припливно-витяжною вентиляцією. Приплив повітря повинен становити 95% об'єму витяжки, а невістачаючі 5% повітря має надходити з суміжних, чистих приміщень;

- особи, які не досягли 18 років, не мають права працювати з припоями, що містять свинець і кадмій;

- особи, які приймаються на роботу, зобов'язані пройти вступний інструктаж з запобіжних заходів під час обробки припоями та флюсами. Особлива увага при інструктажі приділяється питанням особистої гігієни. Кожні три місяці проводиться повторний інструктаж з охорони праці.

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

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", затверджених Міністерством охорони здоров'я України 06.05.2014 року під № 472/25249.

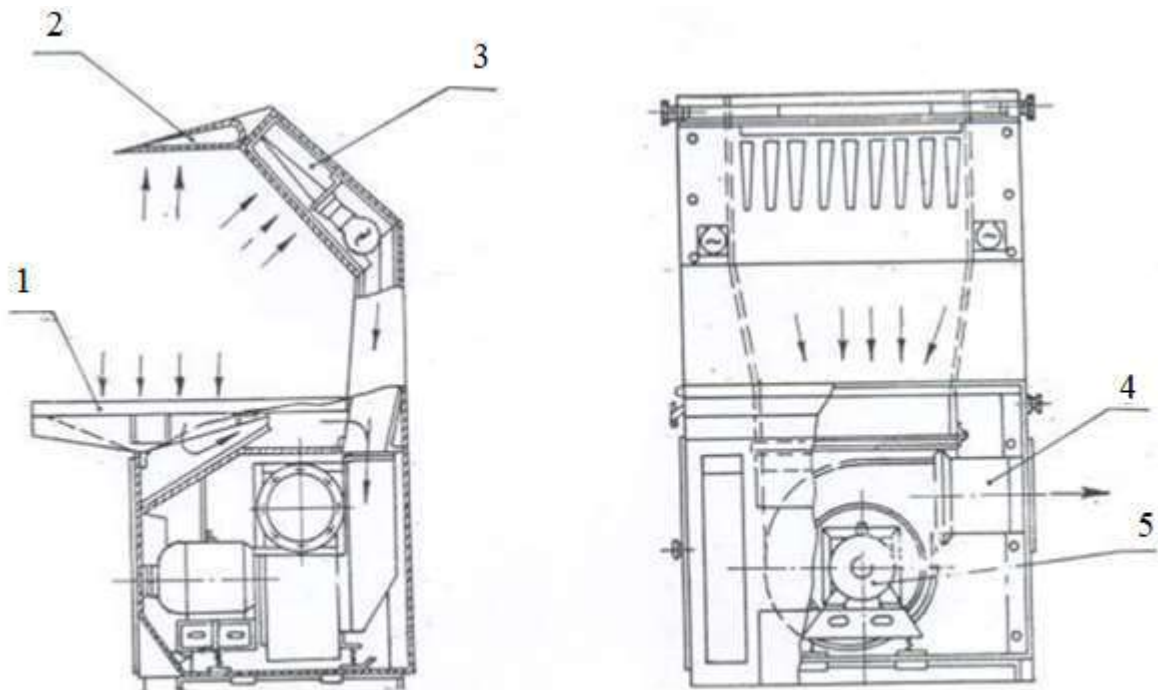
Вимоги до вентиляції:

- вентиляційна система повинна функціонувати, не створюючи додаткових негативних факторів, таких як перегрів, шум, вібрація та пожежно-вибухонебезпека;

- система вентиляції повинна забезпечувати оптимальну ефективність та надійність в процесі експлуатації, при цьому дотримуючись принципів економічності;

- загальна повітрообмінна система повинна гарантувати оптимальний баланс між введенням та видаленням повітря з приміщення для забезпечення ефективного загального обміну;

- кількість вводу повітря в приміщення повинна відповідати кількості витягу. Різниця між цими обсягами не повинна перевищувати 10-15%. Щоб уникнути викидів із забруднених приміщень, кількість витягу повітря повинна перевищувати кількість вводу. Це створює легке зниження тиску у порівнянні з зовнішнім середовищем або сусідніми приміщеннями, щоб уникнути проникнення шкідливих речовин.



1 – нижня всмоктувальна решітка; 2 – поворотний всмоктувач; 3 – панель всмоктування; 4 – патрубок; 5 – вентилятор

Рисунок 6.1 – Стіл зварника з вмонтованою вентиляцією (УкрІЗВ)

Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією (L_m), проводиться на основі визначеної швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин. Також враховуються характеристики спектру

швидкостей всмоктування для конкретної конструкції всмоктувального отвору та наявність поверхонь, які оточують зону всмоктування. При цьому

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0, \quad (6.1)$$

де F_0 – активна площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, m^2 ; V_0 – середня швидкість всмоктування повітря у перерізі, m/s .

Площу F_0 визначають конструктивними особливостями технологічного обладнання та витяжного пристрою, що обирається.

Виходячи з умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x в зоні зварювання або різання на відстані X (м) від центра всмоктуючого отвору знаходять значення V_0 .

Швидкість руху повітря, що створюється місцевими відсмоктувачами біля джерел виділення шкідливих речовин, повинна бути: $0,2 \dots 0,3$ m/s .

Освітлення. Створення належних умов праці включає важливий аспект - освітлення робочого місця. Це може бути досягнуто як за допомогою природного, так і штучного світла. Штучне освітлення стає необхідним елементом для наближення нічних умов праці до денних.

Необхідно, щоб як штучне, так і природне освітлення в приміщенні відповідали певним параметрам. Оцінка зорової роботи має в середньому забезпечувати точність в межах $0,5-1$ мм, а рівень зорового навантаження відповідав би категорії IVa.

Для місцевого освітлення робочих місць застосовувати світильники з непрозорими відбивачами, елементи які святяться не повинні потрапляти в поле зору працівника.

Очистка вікон та світильників від пилу та бруду проводиться раз на 3 місяці.

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 від впливу магнітних полів

Під час експлуатації обладнання для контактного зварювання рівні магнітної напруженості значно перевищують нормативи (досягають значень у тисячах А/м) і становлять потенційну небезпеку для здоров'я зварників. Основними джерелами магнітної напруженості є сильно навантажені ланцюги, зокрема зварювальний контур.

Особливо великі перевищення спостерігаються при роботі обладнання третьої групи (з напруженістю магнітного поля більше або рівно 40 кА/м). Згідно з останніми нормами (ДСН 3.3.6.096-2002), різновиди контактного зварювання характеризуються перевищенням гранично допустимих значень магнітного поля в певних діапазонах частот.

Основними джерелами магнітної напруженості є сильноструміві ланки, що представляють собою елементи вторинної ланки зварювального трансформатора. Для більшості типів обладнання контактного зварювання зварювальний струм відповідає вторинному струму зварювального трансформатора.

Таблиця 6.1 – Залежність тривалості перебування людини в магнітному полі від його рівня

Час перебування персоналу, год	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля кА/м	6	4,9	4	3,5	2,5	2	1,6	1,4
Магнітна індукція, мТл	7,5	6,13	5,0	4,0	3,13	2,5	2,0	1,75

Обладнання, яке є джерелом електромагнітних полів (ЕМП), може бути розміщене в різних місцях, залежно від його конструкції, призначення, потужності та умов експлуатації. Це може включати як окремі, спеціально призначені приміщення, так і загальні зони, включаючи розташування в поточних лініях, відповідно до встановлених вимог, зазначених у Державних санітарних нормах та правилах згідно з ДСН 3.3.6.096-2002. При організації робіт з експлуатації обладнання та його обслуговування слід дотримуватися не лише санітарних норм та правил, але й:

- за будівельними нормами та правилами;
- відповідно до вимог для влаштування електроустановок;
- відповідно до настанов технічної експлуатації електроустановок.

6.6 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

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

- пожежа;
- вибух (усередині обладнання, будівлях або навколишньому середовищі);
- розрив або зруйнування обладнання; викид шкідливих речовин; сполучення перелічених видів небезпеки.

З метою запобігання виникненню, ліквідації НС на підприємстві, слід розробляти план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій та аварій відповідно до нормативів. Під час аналізу небезпеки на підприємстві необхідно ідентифікувати всі можливі аварійні ситуації та аварії, включаючи малоймовірні, з можливими катастрофічними наслідками, що можуть виникнути. Сценарії розвитку таких ситуацій слід розглядати та оцінювати їх наслідки з попереджувальною метою.

Виявлення можливостей виникнення аварій слід проводити на основі аналізу особливостей роботи як окремого обладнання (механізмів, машин і т.п.), так і технологічних блоків. Також важливо враховувати небезпечні властивості речовин, матеріалів, об'єктів (вибухопожежонебезпечних, шкідливих), які використовуються у виробництві. У цьому контексті, слід враховувати параметри стану речовин (тиск, агрегатний стан, температуру та інші характеристики) і стан устаткування, що відповідає як нормальному технологічному режиму, так і режимам, що можливі при виникненні та розвитку аварії.

7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОПОНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Мета дипломного проекту полягає у розробці технології розробити та вдосконалити технологію виготовлення апарату направляючого 5...11 ступенів авіадвигуна ТВЗ-117СБМ. Основними операціями ТП є складання, зварбвання, паяння та контроль якості отриманого виробу.

Очікуваний економічний ефект отримано за рахунок покращення заміни середовища індукційного паяння з інертно-аргонної на вакуум при збереженні якості отриманих з'єднань. Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту наведені у таблиця 7.1 .

Таблиця 7.1 - Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту

Габаритні розміри вакуумної камери, м	Об'єм обладнання в камері, м ³	Кількість комплектів НА на місяць, шт	Кількість проставок у комплекті, шт	Кількість проставок що завантажуються одночасно до камери, шт	Ціна 1 балону газу Ar, грн
2x2,2x2,25	0,9	200	6	4	20000

1. Розраховуємо об'єм вакуумної камери:

$$V_k = 2 \cdot 2,2 \cdot 2,25 = 9,9 \text{ м}^3$$

2. Чистий об'єм вакуумної камери розрахуємо як різницю загального об'єму та обладнання у ній:

$$V_{\text{чк}} = V_{\text{к}} - V_{\text{обл}} = 9,9 - 0,9 = 9\text{м}^3$$

3. Об'єм аргону, що заповнює $1\text{ м}^3=1,2\text{ л}$, тоді об'єм аргону необхідний для заповнення камери дорівнює:

$$V_{\text{Ar}} = 9 \cdot 1,2 = 10,8\text{ л}$$

Так як за існуючою технологією використовують надлишковий тиск інертного газу, то його кількість збільшується до 15 л.

4. Визначимо кількість комплектів НА на рік, шт:

$$K_{\text{к}} = 200 \cdot 12 = 2400\text{ шт./рік}$$

5. Визначимо річну програму виготовлення кілець 5...11 ступеней НА:

$$K_{\text{НА}} = 2400 \cdot 6 = 14400\text{ шт./рік}$$

6. В камеру для індукційного паяння завантажують по 4 шт. степені НА, і використовують 15л аргону, звідси розрахуємо загальну кількість газу, що необхідна для паяння річної програми виробництва НА:

$$V_{\text{Ar-заг}} = \frac{14400 \cdot 15}{4} = 54000\text{ л}$$

7. Кількість балонів необхідних для паяння річної річної програми виробництва НА, враховуючи, що 1 балон має 40л газу:

$$N = \frac{54000}{40} = 1350 \text{ шт.}$$

8. Враховуючи, що ціна одного балону складає 1500 грн., загальні річні витрати на інертний газ складають:

$$B = 1350 \cdot 1500 = 2\,025\,000 \text{ грн.}$$

Таким чином, перехід від технології паяння у середовищі аргону до вакуумного паяння дозволяє заощадити 2 025 000 грн. на рік.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз матеріалів, умов роботи та актуального виробництва направляючих апаратів. Виконано аналіз зварюваності та здатності до паяння високолегованих жаростійких сталей 12X18H10T та 11X11H2B2MФ.

Розроблено та вдосконалено технологію виготовлення апарату направляючого 5...11 ступенів авіадвигуна ТВ3-117СБМ за рахунок заміни інертного середовища на вакуум при збереженні якості паяних швів.

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

Розраховано економічний ефект від застосування вдосконаленої технології, і який складає 2 025 000 грн. на рік.

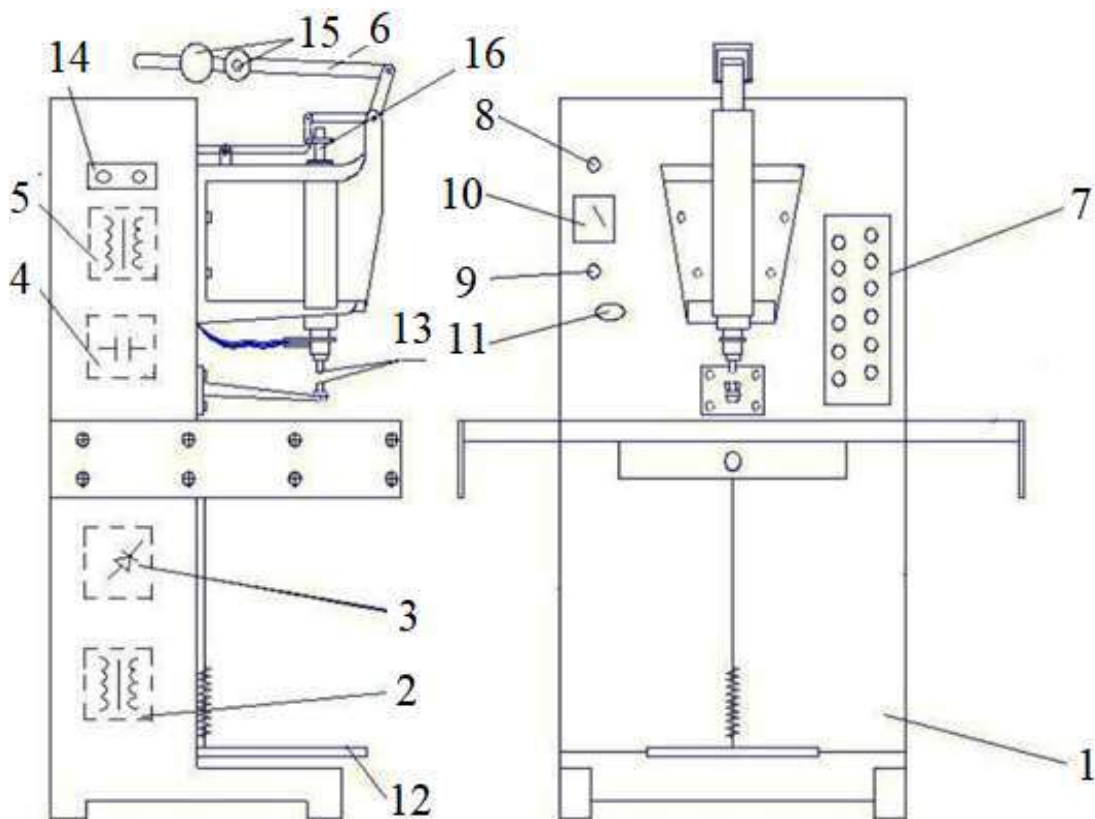
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. John Schenderlein, and Tyler Clayton “Comparison of Helicopter Turboshaft Engines”, University of Colorado, Boulder, CO, 80304, Dec 2015.
2. https://motorsich.com/ukr/products/aircraft/turboshaft/tv3-117vma-sbm1v_1_serii
3. Богданов Ю. С., Михеев Р. А., Скулков Д. Д. Конструкция вертолетов: учеб. для авиац. техникумов. М. : Машиностроение, 1990. 272 с.
4. Оспенникова О.Г. Стратегия развития жаропрочных сплавов и сталей специального назначения, защитных и теплозащитных покрытий //Авиационные материалы и технологии. 2012. №8. С. 19-35.
5. Герасименко В.П. Теорія авіаційних двигунів : Підручник. Харків : Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2003. 199 с.
6. 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>
7. Крылов К.А., Хаймзон М.Е. Долговечность узлов трения самолетов. - М.: Транспорт, 1976. – 184
8. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Бершадский Л.И., Караулов А.К. Надежность и долговечность машин. - К.:Техніка, 1975. - 408 с.
9. Грязнов Б. А., Майборода В. С., Налимов Ю. С. и др. Исследование влияния видов обработки поверхности и многослойного покрытия пера лопаток на их характеристики сопротивления усталости // Пробл. прочности. 1999. № 5. С. 109-116.
- 10.Трощенко В. Т., Матвеев В. В., Грязнов Б. А. и др. Несущая способность рабочих лопаток ГТД при вибрационных нагружения. – Киев: Наук. думка, 1981. – 314 с.

11. Петухов А. Н. Сопротивление усталости деталей ГТД. – М.: Машиностроение. 1993. – 233 с.
12. <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/12h18n10t>
13. Шишков М.М. Марочник сталей та сплавів: Довідник, Вид. 3-є, доповнене. – Донецьк, 2000. – 456 с.
14. Гапонова О. П., Будник А. Ф. Сталі та сплави з особливими властивостями: навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2014. 240 с.
15. Паяння матеріалів : підручник / Г. В. Єрмолаєв та ін.; за загальною редакцією В. Ф. Хорунова і В. Ф. Квасницького. Миколаїв : НУК, 2015. 340 с.
16. Технология и оборудование контактной сварки / под. ред. Б.Д. Орлова. М.: Машиностроение, 1986. 348 с.
17. ДСТУ EN ISO 9453:2019 (EN ISO 9453:2014, IDT; ISO 9453:2014, IDT) Сплави м'яких припоїв. Хімічний склад і сортамент [Чинний від 01.01.2020] ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2017.
18. НПАОП 28.52-1.32-14 Правила охорони праці під час паяльних робіт [Чинний від 13.06.2014] Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2014.

ДОДАТОК А

Спеціальна машина точкового конденсаторного зварювання МТК-15 з електромеханічним приводом стиснення електродів призначена для контактного точкового зварювання виробів із кольорових металів та сплавів, а також нержавіючих та маловуглецевих сталей.



1 - металевий корпус, 2 - підвищуючий трансформатор, 3 – випрямляч,
 4 - блок конденсаторів, 5 - понижуючий трансформатор, 6 - механізм стиснення, 7 – перемикач, 8 - сигнальна лампа, 9 - індикатор зарядки, 10 - індикатор напруги, 11 - вмикач живлення машини, 12 - педаль машини, 13 - електроди , 14 - гніздо , 15 - пересувні гирі, 16 - шток

Рисунок А1 – Загальний вигляд машини ТКМ-15

Характеристики машини МТК-15 наведені у таблиці А1:

Таблиця А1 – Основні технічні характеристики машини МТК-15

Напруга трифазної мережі змінного струму:	380 В
Частота мережі живлення:	50 Гц
Привід стиснення електродів:	Електромеханічний
Рід вторинного струму:	конденсаторний розряд
Найбільша потужність, яка споживається при заряді конденсаторних батарей:	8 кВА
Максимальний темп зварювання, точок / хв:	100
Найбільший вторинний струм:	15 кА
Місткість конденсаторної батареї:	200-1400 мкФ
Напруга на батареях конденсаторів:	200-600 В
Зусилля стиску:	2-60 даН
Виліт електродів:	150 мм
Робочий хід:	30 мм

Система управління МТК-15 забезпечує:

- зручне інтелектуальне введення параметрів з контролем помилкових дій оператора;
- зберігання в незалежній пам'яті до 100 технологічних програм зварювання;
- відображення поточних параметрів, результатів останнього зварювання (величини зварювального струму, зусилля стиснення та осцилограми зварювального струму) на 7" кольоровому сенсорному екрані панелі оператора;
- дворівневий допусковий контроль параметрів зварювальних точок;

- підтримка напруги заряду на батареї з високою точністю;
- самодіагностику стану критичних вузлів машини.

Матеріали, що можуть бути зварені:

- нержавіючих сталей: 0,02 – 1 мм;
- низьковуглецевих сталей: 0,02 – 1 мм;
- кольорових металів та сплавів: 0,02 - 0,5 мм.