

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет

(повне найменування факультету)

Фізичне матеріалознавство

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Аналіз ремонтпридатності лопаток газової турбіни двигуна ТВ3-117

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи ІФ232м

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

МАЗЧЕНКО С.В

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГЛОТКА О.А.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний факультет

Кафедра Фізичне матеріалознавство

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 132 Матеріалознавство
(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

МАЗЧЕНКО Станіслав Володимирович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Аналіз ремонтпридатності лопаток газової турбіни двигуна ТВЗ-117

керівник проєкту (роботи) доцент, к.т.н ГЛОТКА Олександр Анатолійович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 22.01.2024

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) лопатки виведені із експлуатації із сплаву ЖС6У

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналітичний огляд літератури, матеріали та методика, експериментальна частина, розрахунок економічної ефективності, охорона праці, висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ГЛОТКА О.А.доцент, к.т.н		
2	ГЛОТКА О.А.доцент, к.т.н		
3	ГЛОТКА О.А.доцент, к.т.н		
4	КРУГЛІКОВА В.О, доцент, к.т.н		
5	НЕСТЕРОВ О.В., доцент, к.т.н		
НК			

7. Дата видачі завдання «10» жовтня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел		
2	Матеріали та методика досліджень		
3	Експериментальна частина		
4	Економіко-організаційна частина		
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		
	Висновки		

Студент(ка)

_____ (підпис)

Станіслав МАЗЧЕНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ (підпис)

Олександр ГЛОТКА

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 80 с., 14 табл., 19 рис., 1 додаток, 23 джерела.

ДВИГУН ТВЗ-117, НІКЕЛЕВІ СПЛАВИ, ЛОПАТКА,
ЖАРОСТІЙКІСТЬ, γ '-ФАЗА, ВТОМНА ТРІЩИНА,
РЕМОНТОПРИДАТНІСТЬ, ЛАЗЕРНА НАПЛАВКА

Дипломна робота присвячена аналізу ремонтпридатності лопаток газової турбіни двигуна ТВЗ-117 з урахуванням основного виду пошкодження, що призводить до руйнування лопаток – утворення втомних тріщин. Висновки досліджень вказують на те, що у разі наявності тріщин, розташованих нижче середньої лінії пера лопатки, вони стають неремонтпридатними. Питання про ремонтпридатність лопаток із тріщинами вище середньої лінії вирішується залежно від глибини тріщин і їхньої кількості.

В результаті проведених досліджень розроблено технологію ремонту тріщин на лопатках з матеріалу ЖС6У, і отримані результати підтверджують перспективність використання цього методу. Висновки дозволяють стверджувати, що ремонт тріщин на лопатках із матеріалу ЖС6У методом вибірки і подальшого імпульсного лазерного наплавлення є ефективним та перспективним напрямком розвитку, вимагаючим подальших досліджень у цій галузі. Цей метод може стати важливим внеском у забезпечення безпеки та ефективності газотурбінних двигунів у сучасній авіаційній індустрії.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналітичний огляд літератури.....	7
1.1 Загальна характеристика двигуна ТВЗ-117	7
1.2 Характеристика та умови експлуатації виробу, вимоги до матеріалів ..	12
1.3 Характеристика жароміцних сплавів на нікелевій основі	17
1.4 Виплавка та обробка жароміцних сплавів.....	26
2 Матеріали та методика досліджень	30
2.1 Методи контролю наявності тріщини.....	30
2.2 Методика лазерної наплавки	31
2.3 Методи дослідження структури	33
3 Експериментальна частина	35
3.1 Аналіз причин пошкоджень лопаток газотурбінних двигунів	35
3.2 Відновлення працездатності ГТД із застосуванням нових технологій застосуванням нових технологій і матеріалів	40
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	49
4.1 Аналіз потенційних небезпек	49
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	50
4.3 Заходи з виробничої санітарії	54
4.4 Заходи з пожежної безпеки	55
4.5 Заходи безпеки в умовах НС.....	56
5 Економіко-організаційна частина.....	62
5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу	62
5.2 Послідовний аналіз	63
Висновки	73
Перелік джерел посилань	74

ВСТУП

В сучасному світі розвиток авіаційних технологій визначається не лише потребами високошвидкісного та надзвукового транспорту, але й необхідністю у забезпеченні надійності та ефективності газотурбінних двигунів, що використовуються в різноманітних галузях, зокрема, в авіації. Одним із ключових компонентів газотурбінних двигунів є лопатки компресора та турбіни, які піддаються великому навантаженню та зношуванню під час експлуатації.

Ця дипломна робота присвячена аналізу ремонтпридатності лопаток газової турбіни двигуна ТВЗ-117, який широко застосовується в авіаційній промисловості. Мета дослідження полягає в оцінці стану лопаток, виявленні факторів, що впливають на їхню ремонтпридатність, та розробці рекомендацій щодо оптимізації процесів обслуговування та ремонту.

Робота буде включати в себе аналіз технічних характеристик двигуна ТВЗ-117, вивчення механізмів виникнення пошкоджень лопаток, дослідження матеріалів та технологій їхнього виготовлення, а також висвітлення сучасних методів діагностики та ремонту лопаткових систем.

Отримані в ході дослідження результати дозволять збільшити ефективність експлуатації газової турбіни, зменшити час та витрати на проведення ремонтних робіт, а також підвищити загальну надійність авіаційних двигунів. Такий підхід сприятиме подальшому розвитку авіаційної галузі та забезпечить безпеку та ефективність авіаційного транспорту.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Загальна характеристика двигуна ТВЗ-117

Авіаційний двигун ТВЗ-117 належить до турбовальних газотурбінних двигунів з вільною турбіною. Він являє собою теплову машину, в якій відбувається перетворення енергії, що виділяється під час згоряння палива, в механічну роботу на вихідному валу вільної турбіни, кінематично не пов'язаної з турбіною компресора. Будучи основним джерелом енергії, він служить для приводу несучого і рульового гвинтів та агрегатів систем гелікоптера. Двигун має дванадцять модифікацій. Наразі промисловість випускає для цивільної авіації двигуни ТВЗ-117 лише двох модифікацій ВМ і ВМА, які встановлюють на всі вітчизняні типи гелікоптерів відповідного класу [1].

Силова установка вертольота має два взаємозамінні (за умови розвороту вихлопного патрубку) двигуни, наявність на вертольоті двох двигунів підвищує безпеку польотів, оскільки в разі відмови одного з них другий забезпечує безпечне продовження польоту. Конструктивною особливістю двигунів ТВЗ-117 усіх модифікацій є наявність вільної турбіни, кінематично не пов'язаної з ротором турбокомпресора, а потужність, яку розвиває вільна турбіна, передається через редуктор на несучий і рульовий гвинти гелікоптера і становить ефективну потужність двигуна. Ця особливість має низку конструктивних та експлуатаційних переваг:” дозволяє отримувати бажану частоту обертання ротора вільної турбіни (ВТ), незалежно від частоти обертання ротора турбокомпресора (ТК) двигуна;” полегшує розкручування ротора ТК під час запуску двигуна;” суттєво покращує експлуатаційні характеристики гелікоптера в разі відмови одного двигуна;” виключає необхідність наявності муфти зчеплення у силовій установці гелікоптера. Двигуни можуть експлуатуватися як зі встановленими пілозахисними пристроями (ПЗП), так і без них [2].

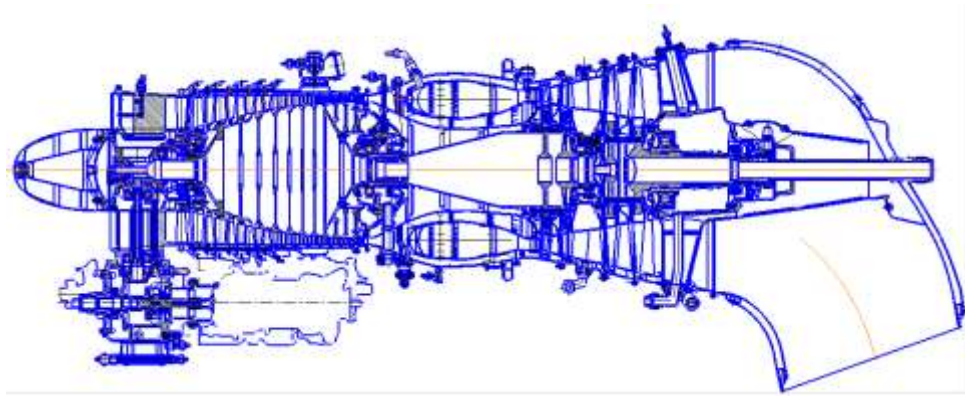


Рисунок 1.1 – Конструктивно-компонувальна схема двигуна ТВ3-117.

Загальний вигляд

Основними вузлами двигуна є: компресор; камера згоряння; газові турбіни; вихідний пристрій. Компресор - осьовий, дванадцятиступеневий, високонапірний, з поворотними лопатками вхідного напрямного апарата (ВНА) та напрямних апаратів (НА) перших чотирьох ступенів, із двома клапанами перепускання повітря із-за VII ступеня компресора. Поворот лопаток здійснюється автоматично гідромеханізмом паливного насоса-регулятора і нижнім гідромеханізмом з кінцевим вимикачем, залежно від наведеної частоти обертання ротора ТК. Деталі корпусу першої опори і лопатки ВНА під час увімкнення ПЗЗ обігриваються гарячим повітрям, що відбирається з камери згоряння. Камера згоряння - кільцева, з дванадцятьма голівками. Усередині камери згоряння змонтований паливний колектор із 12 паливними форсунками. Займання п.в.с. від двох запальних свічок [3].

Вузол турбін складається з двох кінематично не пов'язаних між собою турбін: турбіни компресора (ТК) і вільної турбіни (ВТ). Турбіна компресора (ТК) осьова, двоступенева, реактивна, ротор за допомогою спеціального вузла з'єднується з ротором компресора, а вільна турбіна (ВТ) - осьова, двоступенева, реактивна, обертовий момент ВТ через ресору головного приводу передається до головного редуктора гелікоптера. Для обох газових турбін передбачена система охолодження соплових лопаток, дисків робочих коліс, хвостовиків робочих лопаток та інших елементів турбін, для охолодження використовується повітря, що підводиться з-за VII і XII ступенів

компресора, вихідний пристрій нерегульований, розширювальний, який забезпечує зниження швидкості газового потоку та відведення гарячих газів, що відпрацювали, під кутом 25 град. від осі двигуна за межі силової установки гелікоптера. Система приводів двигуна забезпечує передачу обертового моменту: від ротора ТК через центральний привід до маслоагрегата і до коробки приводів, в якій розміщені паливний насос-регулятор і низка інших агрегатів, що забезпечують нормальну роботу двигуна; від ротора СТ через редуктори та гнучкі валики до регулятора частоти обертання ротора СТ, а через ресору головного приводу до головного редуктора гелікоптера. масляну систему виконано за відкритою, замкненою схемою із примусовою циркуляцією мастила під тиском. Подача оливи з маслобака на змащування та охолодження поверхонь деталей, що труться, здійснюється нагнітальним насосом оливоагрегату. відкачування відпрацьованого оливи здійснюється відкачувальними насосами оливоагрегату частково через маслорадіатор і частково безпосередньо в оливобак гелікоптера. із коробки приводів - окремим насосом у оливний бак. суфлювання оливних порожнин опор двигуна здійснюється через оливонасоси відкачки в оливобак, що суфлюється з проточною частиною корпусу дифузора вихідного пристрою. Паливна система і система автоматичного регулювання забезпечують подачу палива в камеру згоряння двигуна в суворій відповідності із заданим режимом двигуна, умовами польоту і прийнятою програмою регулювання, при цьому на всіх режимах роботи забезпечується синхронізація потужностей двигунів, на основних робочих режимах - сталість частоти обертання ротора СТ, а також передбачені автоматичні обмежувачі максимальної температури газу перед ТК і максимальних частот обертання роторів ТК, які забезпечують постійну частоту обертання ротора СТ [2,3].

Керування двигунами здійснюється з кабіни пілотів: важелем "Стоп крана", призначеним для подачі палива до паливних форсунок двигуна під час запуску та припинення подачі палива під час зупинки двигуна; важелем з'єднаного управління (важелем "КРОК-газ" з ручкою корекції), призначеним

для спільного управління загальним кроком несучого гвинта гелікоптера та режимами роботи двигунів від режиму "АВТОМАТИКА" (повна права корекція) до надзвичайного режиму (ЧР); важелями роздільного керування двигунами; електромагнітними кранами керування (відкриванням-закриванням пожежних кранів) вертольота, що забезпечують подавання палива від насосів витратного бака вертольота до паливного насоса, що підкачує паливний насос двигуна.

Двигун ТВЗ-117 являє собою теплову машину, в якій наявна теплова енергія, отримана під час згоряння палива, перетворюється на механічну роботу на валах роторів турбін, що мають тільки газодинамічний зв'язок. Приблизно 2/3 цієї роботи припадає на частку ТК, що приводить у дію ротор компресора і низку агрегатів, і 1/3 - на частку СТ, що забезпечує привід несучого і рульового гвинтів та агрегатів. За початковий стан приймають параметри робочого тіла у позазбурхливому потоці, де вони відповідають стандартним атмосферним умовам: $P = 1,033 \text{ кгс/см}^2$, $T = +15^\circ\text{C}$, осьова швидкість $C = 0$. Під час роботи двигуна повітря (мал. 1.) з навколишнього середовища всмоктується у ВУдвигуна, яке виконано у вигляді каналу, що звужується (конфузора), з огляду на малу довжину каналу в корпусі передньої опори компресора тиск і температура повітря у ВУ (у перерізі В-В) практично не змінюються, при цьому розгін потоку буде відбуватися в основному поза ВУ. Параметри повітря на вході в компресор: " $P = 1,033 \text{ кгс/см}^2$, " $T = +15^\circ\text{C}$, " $C = 150 \text{ м/с}$. Величину осьової швидкості вибрано з умови забезпечення потрібної масової секундної витрати повітря через двигун (8,85 кг/с). У компресорі зовнішня механічна енергія, яка підводиться від ТК, витрачається на стиснення повітря і його осьове переміщення. Стиснення повітря супроводжується зростанням його тиску і температури. проточну частину компресора профілюють так, щоб на виході з нього осьова швидкість зменшилася (міжлопатковий простір напрямного апарата і робочого колеса виконані такими, що розширюються). На виході з компресора (у перерізі К-К) параметри повітря дорівнюватимуть: " $P = 9,76 \text{ кгс/см}^2$, " $T = 340^\circ\text{C}$, " $C = 110$

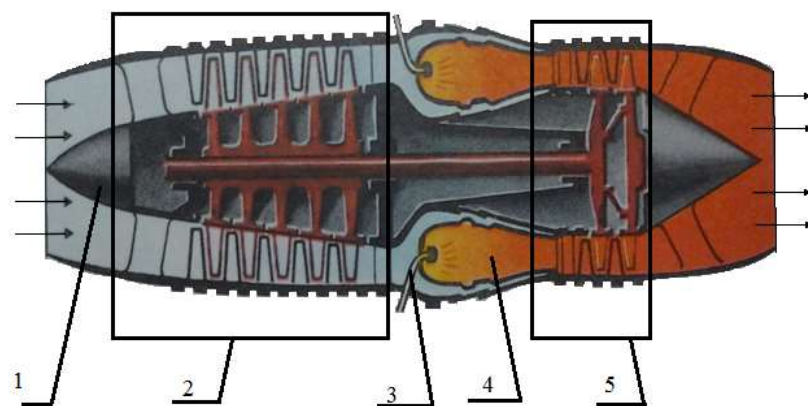
м/с. З компресора стиснене повітря надходить до дифузора камери згорання, де відбувається подальше зниження його осьової швидкості до 60-70 м/с. На виході в пожежну трубу повітряний потік розділяється на два потоки. Частина повітря (20% загальної витрати повітря) через дванадцять завихрювачів і отвори в голівках жарової труби надходить до початкової частини зони горіння, сюди ж через дванадцять паливних форсунок надходить паливо в розпиленому вигляді, а за коефіцієнту надлишку повітря, що дорівнює 1,05-1,10, відбувається згорання т. в. с. Температура в зоні горіння досягає 2200-2400°C, а для охолодження жарової труби використовується 30% загальної витрати повітря. Частина (50%) повітря, що залишилася, через отвори в жаровій трубі надходить у зону змішання. Тут повітря, змішуючись із гарячими газами, знижує їхню температуру. За рахунок гідравлічних опорів, пов'язаних зі зіткненням об стінки, перетіканням газу через завихрювачі та отвори жарової труби, тиск газу перед турбіною зменшується. Осьова швидкість внаслідок звуження проточною частини зростає [3].

Параметри газоповітряного потоку в КС: " $P = 9,2 \text{ кгс/см}^2$ " $T = 920 \text{ }^\circ\text{C}$, " $C = 160 \text{ м/с}$ На виході з КС газовий потік, з визначеною внутрішньою енергією, спрямовується до турбінокомпресора. У соплових апаратах (СА) турбіни відбувається перетворення частини внутрішньої енергії газового потоку в його кінетичну енергію (за рахунок звуження міжлопаткового простору). Таким чином у СА тиск і температура газу зменшуються, а швидкість зростає. У робочих колесах (РК) турбіни кінетична енергія газового потоку, отримана в соплових апаратах, перетворюються на механічну енергію навалу турбіни, при цьому тиск, температура і швидкість газу в абсолютному русі знижуються, а під час роботи двигуна на злітному режимі ТК розвиває потужність $N = 4190 \text{ к.с.}$, що споживається компресором і агрегатами, що отримують привід від ротора ТК, параметри газу на виході з ТК (у перерізі ТК-ТК) становлять: $P = 2.5 \text{ кгс / см}^2$, " $T = 630^\circ\text{C}$. У СТ відбуваються ті ж перетворення, що і в ТК. Потужність, що розвивається СТ, становить $N_e = 2200 \text{ к.с.}$ і витрачається на привід несучого і рульового гвинтів, а також агрегатів, які отримують привід

від ротора СТ і від головного редуктора. На виході з вільної турбіни (в перерізі СТ-СТ): $P = 0,98 \text{ кгс/см}^2$, $T = 440^\circ\text{C}$, $C = 155 \text{ м/с}$. Вихідний пристрій двигуна виконаний дифузорним, нерегульованим, охолоджуваним з відведенням газового потоку під кутом 25° до осі двигуна. У вихідному пристрої відбувається гальмування потоку газу, унаслідок чого статичний тиск зростає до атмосферного, а абсолютна швидкість знижується до 50 м/с . Таким чином, гази, які виходять із двигуна, володіючи деяким запасом теплової енергії, практично не створюють реактивної тяги, що є однією з специфічних особливостей гелікоптерного ГТД із поворотом потоку у вихідному пристрої .

1.2 Характеристика та умови експлуатації виробу, вимоги до матеріалів

Газові турбіни призначені для перетворення внутрішньої енергії робочого газу на механічну енергію обертання валу турбіни. Основні елементи газових турбін показані на рисунку 1.1 - це корпус турбіни, ротор та статор турбіни, опори ротора (статора), вал турбіни, камера згорання [1].



1 - обтискувач компресора, 2 - компресор високого тиску, 3 - форсунки,
4 - камера згорання, 5 - турбіна

Рисунок 1.2 – Схема газовой турбины [4]

Лопатки компресора ГТД є найбільш відповідальними елементами конструкції газотурбінних двигунів, від надійної роботи яких залежить надійність роботи двигуна в цілому. В робочій лопатці розрізняють профільну частину (перо) і замкову (хвостовик). Між пером і хвостовиком лопатки передбачають полицю, яка поліпшує перехід від пера до хвостовика. Наявність полиці підвищує також вібраційні характеристики лопатки. Лопатки фіксуються в ободі за допомогою замків. Профільна частина обтікається надзвуковим або навіколззвуковим потоком повітря, і від її аеродинамічних характеристик залежить ККД (коефіцієнт корисної дії). За довжиною лопатки хорди її перерізів повернені відносно хорди кореневого перетину відповідно до закону зміни трикутників швидкостей, тобто лопатка має геометричне закручування. Після установки лопатки на диску полиці утворюють розрізне бандажне кільце. Між полками в холодному стані передбачається невеликий зазор (0,15-0,25мм). На рисунку 1.2 показані робочі лопатки компресора ГТД [5].

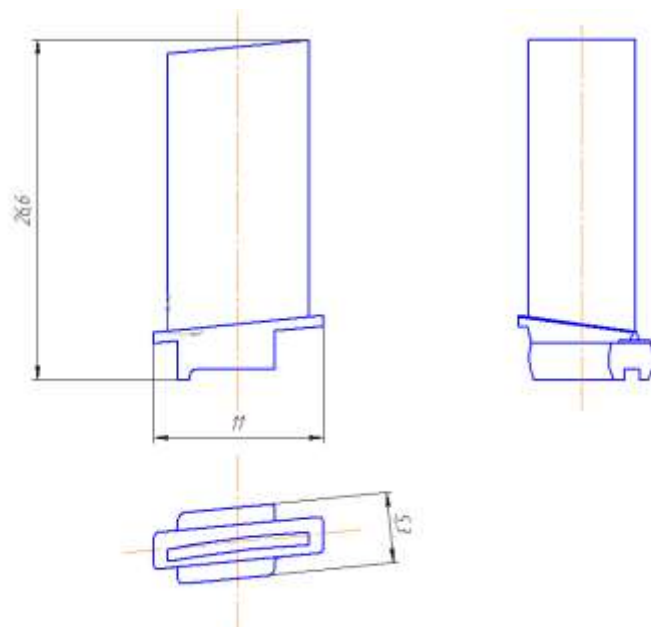


Рисунок 1.3 – Ескіз лопатки ГТД

За довжиною лопатки хорди її перерізів повернені відносно хорди кореневого перетину відповідно до закону зміни трикутників швидкостей,

тобто лопатка має геометричне закручування. Після установки лопатки на диску полиці утворюють розрізне бандажне кільце. Між полками в холодному стані передбачається невеликий зазор (0,15...0,25мм) [2,3].

Вузол кріплення лопатки до обода повинен мати достатню міцність і твердість при малих габаритах і маси хвостовика та деякому ослабленні обода. Він повинен забезпечувати високу точність установки лопатки по кроку та куту, можливість розміщення на ободі необхідної кількості лопаток при збереженні рівномірності елементів кріплення лопатки і обода, низьку вартість виготовлення, монтажу та демонтажу. Найбільше розповсюдженим для робочих лопаток газової турбіни є хвостовик типу «ялинка».

Умови експлуатації лопаток компресора ГТД: температура повітря на вході в компресор низького тиску дорівнює 50°C. Робоча температура металу перших ступеней компресора низького тиску (КНТ) залежить від температури засмоктуваного атмосферного повітря. Робоча температура металу лопаток останніх ступеней КНТ 140...180°C. Робоча температура металу лопаток перших ступеней компресору високого тиску (КВТ) 30...220°C, 30...50°C за наявності повітроохолоджувача, температура лопаток останніх ступеней КВТ 320...450°C. В робочих лопатках КНТ згинальні напруження не перевищують 40МПа, напруження від відцентрових сил знаходиться в межах 120-220МПа. [4]

Робочі лопатки повинні задовольняти таким вимогам:

- Профільна частина повинна мати високі аеродинамічні характеристики: високу підйомну силу, малий лобовий опір і можливість працювати без зриву потоку у великому діапазоні кутів атаки.

- Конструкція лопаток і матеріал, з якого вони виготовлені, повинен забезпечити високу механічну міцність, оскільки діючі на лопатку відцентрові і газові сили викликають значні напруження згину і крутіння.

- Конструкція і технологія виготовлення лопаток повинні забезпечити високу точність виготовлення і чистоту обробки поверхні. Відхилення від номінальних розмірів допускаються не більше 0,05...0,15 мм, а від

номінальних кутів - не більш 15° . Чистота обробки профільної частини має великий вплив як на міцність, так і на ККД. Наявність навіть найдрібніших рисок, особливо на кромках, часто є причиною появи тріщин і виникнення поломок. Тому поверхню профільної частини обробляють до сьомого - дев'ятого класу чистоти, а кромки часто полірують в поздовжньому напрямку.

- Лопатки повинні мати належні вібраційні характеристики, що запобігає вібрації лопаток з великими амплітудами в діапазоні робочих режимів двигуна. Розкид частот власних коливань лопаток одного рівня не повинен перевищувати 3 - 4 %.

- Лопатки повинні мати якомога меншу масу для зменшення маси всього двигуна [5].

Динамічні навантаження, що є результатом коливань лопаток, викликають в них змінні за величиною та знаком напруження крутіння і згину.

Температурні напруження, що діють на лопатку турбіни, викликані нерівномірним нагріванням її за товщиною та довжиною, при чому розподіл температур за перерізом залежить від режиму, на якому працює двигун. При запуску тонкі кромки профілю прогріваються швидше, ніж середня частина. При цьому менш нагріті шари, стримуючи розширення більш нагрітих уздовж осі лопатки, викликають в них напруження стиснення; в найменш нагрітих шарах виникають напруження розтягу. Аналогічна картина розподілу напружень спостерігається і при сталому режимі: кромки мають більш високу температуру в порівнянні з середньою частиною, оскільки тепловідвід від кромок ускладнений.

При зупинці двигуна в початковий момент великі маси холодного повітря швидко охолоджують вхідні й вихідні кромки робочих лопаток та викликають в них напруження розтягу, які підсумовуються із напруженнями розтягу від відцентрових сил.

До статичних навантажень, що діють на лопатки, відносять відцентрові сили мас лопаток, що виникають при обертанні ротора, і газові сили, що

виникають при обтіканні газом профілю й через наявність різниці тисків газу перед та поза лопаткою.

Відцентрові сили викликають деформації розтягу, згину і крутіння, газові — деформації згину і крутіння.

Напруження розтягу є найбільш істотними, особливо для лопаток. Напруження згину значно менші за напруження розтягу. Це пояснюється тим, що лопатку виготовляють і встановлюють так, що напруження згину від відцентрових сил в найбільш навантажених точках перерізу протилежні за знаком напруженню згину від газових сил.

Проаналізувавши умови експлуатації роботи робочих лопаток компресора ГТД та вимоги до матеріалу, можна зробити висновок про те, що матеріал для лопаток повинен володіти: високим рівнем питомої міцності, достатньо високою жароміцністю, границею термічної втоми, втомною міцністю, малою чутливістю до надрізів, достатнім опором ерозії, максимально можливою теплопровідністю, що забезпечує найменшу нерівномірність нагріву, низьким коефіцієнтом лінійного розширення, однорідністю та стабільністю основних властивостей, особливо при робочих температурах [6].

Направляючі і спрямляючі апарати уявляють собою кільцеві набори нерухомих або поворотних профілюючих лопаток, що утворюють розширювальні канали, і є частиною статора ГТД.

На напрямні лопатки діють напруження згину та крутіння від дії газових сил. В них внаслідок коливань можуть виникати значні змінні напруження, а особливо в довгих лопатках перших ступіней. Напрямні лопатки кріпляться або до корпусу компресора, або в проміжних кільцях чи полукільцях, які після цього встановлюються в корпус. Спосіб кріплення повинен забезпечувати необхідну жорсткість, високу міцність, ідентичність і незамінність установлення лопаток, а також зручність складання компресора.

Вимоги до напрямних лопаток аналогічні вимогам, які висуваються до робочих лопаток.

Напрямні лопатки компресора випробовують значні статичні і вібраційні навантаження від оточуючого їх газового потоку, а в деяких випадках також зусилля від пов'язаних з ними деталей статорів. Внаслідок нерівномірності температур газів проточної частини турбін температури окремих лопаток або окремих перерізів лопаток можуть бути на 50 - 100°C вище середньої [7].

В напрямних лопатках КНТ напруження згину досягають 80МПа, напруження від відцентрових сил знаходиться в межах 120-220МПа. Руйнування лопаток часто пов'язані з дією динамічної (вібраційних, втомних) напружень.

Матеріал напрямних лопаток повинен володіти наступними характеристиками: жароміцністю, термостійкістю в умовах різкої зміни температури, відповідних зміні температури газу, яке спостерігається при пусках, зупинках і зміні режиму роботи ГТД; довготривалою міцністю, опорю повзучості, що забезпечує їх працездатність в процесі експлуатації при підвищених температурах, іноді перевищуючих середню температуру газу.

Лопатки виготовляють із жароміцних сплавів на нікелевій та залізонікелевій основі, а також із жароміцних сталей. Ці матеріали найбільш повно відповідають заданим вимогам [8].

1.3 Характеристика жароміцних сплавів на нікелевій основі

До цієї групи належать нікельвмісні сплави з присадками титану, алюмінію, молібдену, вольфраму, ніобію і бору, у яких зміцнення досягається внаслідок утворення і виділення за підвищених температур інтерметалідних фаз типу хімічних сполук. Зміцнення хромонікелевих сталей і ніхромових сплавів з титаном або титаном і алюмінієм з добавками тугоплавких металів (W, Mo, Nb) або без них має одну й ту саму природу. і здебільшого протікає в

результаті утворення інтерметалідних фаз γ' -фази типу $\text{Ni}_3(\text{TiAl})$, і Ni_3Al . Утворення цих фаз у процесі термічної обробки підвищує механічні властивості сплавів при кімнатній і високій температурах, а отже, і їхні жароміцні властивості. Серед жароміцних сплавів найбільшого застосування набули сталі та сплави з інтерметалідним зміцненням, пов'язаним з легуванням їх титаном і алюмінієм у присутності достатніх кількостей нікелю. До групи сплавів з інтерметалідним зміцненням слід віднести сплави на нікелевій основі типу 75-20-2,5 марок ЭИ437, ЭИ437А, ЭИ437Б, складнолеговані сплави на нікелевій основі марок ЭИ617, ЭИ598, ЭИ445, ЭИ826 тощо [9].

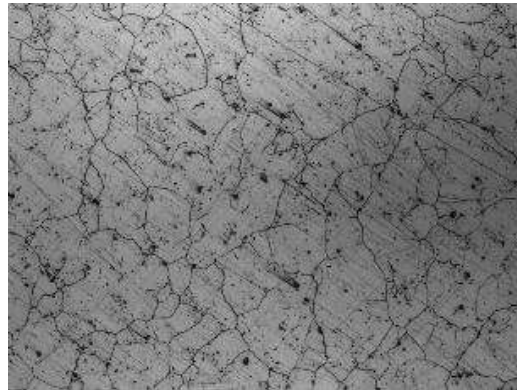


Рисунок 1.4 – Мікроструктура сплаву ЭИ437 ($\times 100$)

Леговані сплави на нікелевій основі знайшли широке застосування як жароміцних при виготовленні газотурбінних двигунів, головним чином у вигляді робочих і соплових лопаток і меншою мірою як турбінних дисків і кілець. У результаті складного легування у сплавів цієї групи досягнуто найбільш високих жароміцні властивості порівняно з жароміцними властивостями сплавів на залізній і навіть кобальтовій основах. Присадка 20% Cr до нікелю порівняно мало зміцнює твердий розчин при високих температурах і підвищення межі міцності становить $\sim 25-30\%$. Хром покращує окалиностійкість і, крім того, підвищує енергію зв'язку атомів у твердому розчині системи нікель - хром - залізо. Введення титану в нікельхромові сплави в кількості 2,5-3,0% сприяє утворенню високодисперсних інтерметалідних фаз за помірних температур, збільшує тим самим опір сплаву

пластичній деформації та підвищує 100- год. тривалу міцність при 800°C до 15 кг/мм². Введення в нікельхромові сплави титану разом із бором підвищує її до 20 кг/мм². Збільшення вмісту титану або алюмінію чи їхньої суми разом із бором і тугоплавкими елементами (W, Mo або Nb) ще більше підвищує жароміцність (σ_{100} при 800°C=50 кг/мм²). Встановлено, що характеристична температура, межі тривалої міцності і внутрішнє тертя зі збільшенням легування (із введенням титану в нікель і нікельхромисті сплави) підвищуються [9].

У роботі показано, що між швидкістю зростання частинок другої фази при старінні нікелевого сплаву з різним легуванням і тривалою міцністю спостерігається певна відповідність. При цьому присадка бору прискорює процеси укрупнення частинок другої фази, а підвищення вмісту алюмінію уповільнює цей процес. Зміна тривалої міцності та зростання частинок у часі визначається логарифмічною залежністю.

Доведено, що молібден, вольфрам і хром, що вводяться в нікель окремо, підвищують твердість, жароміцність, електроопір і збільшують параметр ґратки твердого розчину. Вивчаючи деформування зразків жароміцних сплавів на нікелевій основі із застосуванням різних режимів термічної обробки, головним чином ступеневого старіння, що знижується, і швидкостей деформації, встановлено, що попереднє високотемпературне старіння (ступінчастість), що знезміцнює, призводить до значного розвитку зсувної деформації та виникнення точкових виходів дислокацій. Незважаючи на міжзеренний характер руйнування, ці сплави зберігають високу пластичність. Попереднє зміцнювальне старіння чинить такий самий вплив на властивості сплаву, що й деформація за малих швидкостей на незміцнілий сплав: підвищує утворення кількості елементарних зсувів по межах зерен, що пов'язується з накопиченням дислокацій і є причиною розтріскування зразків. Встановлено кількісні залежності зв'язку між швидкостями росту частинок γ' (α') - фази в процесі старіння і зміною швидкості повзучості у зв'язку з тривалістю випробування [10].

Вплив титану й алюмінію на структуру, фазовий склад нікелевих і нікельхромистих сплавів вивчали низка дослідників. Область твердих розчинів, багатих на нікель, при 1150°C поширюється в подвійній системі нікель - титан до 13% Ti, а в потрійній системі нікель - хром - титан при 20% Cr приблизно до 10% Ti. Зі зниженням температури розчинність титану в подвійній і в потрійній системі різко падає. Так, при 750°C у подвійній системі Ni - Ti розчинність титану становить вже 10%, а в потрійних сплавах з 20% Cr - приблизно 4%. Мабуть, у разі подальшого зниження температури розчинність титану в Ni - Cr твердому розчині ще більш різко падає і сплави з вмістом титану менше 4% при кімнатній температурі, можливо, вже є двофазними [9,10]. Однак жароміцні сплави, крім титану, як правило, у своєму складі мають алюміній. Алюміній має значний вплив на розчинність титану в нікелі. Так, при 1150°C розчинність титану в нікелі знижується з 13 до 8% при вмісті алюмінію в кількості 5%. При 750°C це явище ще більш яскраво виражене. Аналогічну дію на розчинність алюмінію в нікелі чинить і титан. Насичений (γ) розчин титану в нікелі перебуває в рівновазі з інтерметалідною сполукою Ni_3Ti (η -фаза) з гексагональною решіткою в подвійній системі без алюмінію і в потрійній системі за малих концентрацій алюмінію. Насичений (γ) твердий розчин алюмінію в нікелі перебуває в рівновазі з інтерметалідною сполукою γ' -фази з ГЦК, побудованою на базі сполуки Ni_3Al . У потрійній системі в ділянці більш високого вмісту алюмінію γ' - фаза є основною фазою. Обидві сполуки [Ni_3Ti (η -фаза) і γ' -фаза] залежно від температури мають мінливу розчинність, що надає сплавам здатність до дисперсійного зміцнення після термічної обробки [10].

Введення хрому в подвійні та потрійні сплави Ni - Al - Ti не змінює механізм перетворень у цих сплавах, але позначається на зміні кривих розчинності, зміщуючи їх у бік менших концентрацій. Крім того, введення хрому в ці сплави змінює енергію зв'язку атомів у кристалічній решітці і позначається на швидкостях дифузії хрому і титану.

Найпоширенішою фазою, що відіграє основну роль у зміцненні жароміцних сплавів на нікелевій і низки сплавів на нікельзалізній основах, є γ' -фаза. Вона має впорядковану кубічну гранецентровану решітку, за хімічним складом наближається до хімічної сполуки типу Ni_3Ti з невеликою кількістю алюмінію $[Ni_3(Ti, Al)]$, але відрізняється від останньої кристалічною будовою. Фаза Ni_3Ti має гексагональну кристалічну решітку, а γ' -фаза за розташуванням атомів не відрізняється від основного γ -твердого розчину, маючи дещо більший параметр ґратки. γ' -фаза містить невелику кількість хрому. η -фаза є інтерметалічною сполукою типу Ni_3Ti з гексагональною кристалічною ґраткою і вона не розчиняє в собі ні хрому, ні алюмінію. На підставі вище викладеного впливає, що в четверній системі Ni - Cr - Ti - Al область однорідного твердого розчину γ значно вужча, ніж у потрійних системах Ni - Cr - Ti або Ni - Ti - Al, а крива розчинності титану й алюмінію в нікельхромистому твердому розчині з температурою зміщується в бік більш низького вмісту алюмінію і титану. В залежності від температури і тривалості витримки при старінні сплаву ХН77ТЮ (ЕІ437А) спостерігаються такі зміни. При нагріванні до 500°C у загартованому на твердий розчин у сплаві будь-яких структурних змін немає. В інтервалі 500-600°C спостерігається зміна характеристичної температури, яка досягає при цьому максимального значення. Величини зміни середньоквадратичних зміщень атомів у решітці при теплових коливаннях досягають мінімальних значень, що вказує на збільшення сил зв'язку атомів у кристалічній ґратці [11].

Передбачається, що нагрівання спричиняє перерозподіл атомів усередині кристалічної ґратки твердого розчину, при якому збільшується число пар атомів, що дають найміцніші зв'язки з утворенням малих областей, збагачених титаном і алюмінієм. У цьому інтервалі температур не спостерігається змін періоду ґратки, що свідчить лише про підготовчий процес дифузійного перерозподілу титану і алюмінію без перебудови ґратки.

Посилена рухливість атомів, що характеризується зміною динамічних і статичних зсувів, спостерігається при температурі 7000С, що

супроводжується виділенням γ' -фази, збагаченої титаном і алюмінієм. Зменшення періоду кристалічної решітки також свідчить про утворення γ' -фази. Нагрівання за 800°C спочатку спричиняє прискорення процесів виділення γ' -фази, а потім перебудову гратки з кубічної на гексагональну. Зростання частинок і переродження кубічної γ' -фази в η -фазу відзначаються багатьма дослідженнями. Таким чином, алюміній є цінним легувальним елементом в аустенітних сталях з високим вмістом нікелю, особливо в сплавах на нікелевій основі. Одночасне введення титану й алюмінію діє більш ефективно, ніж тільки титану [12].

Алюміній, що вводиться в складнолеговані нікельхромисті жароміцні сплави, впливає на підвищення жароміцних властивостей цих сплавів - тим більший, чим вищий його вміст. Проте введення $>3-4\%$ Al спричиняє труднощі під час кування, що раніше обмежувало можливість більш сильного легування ним важкодеформованих жароміцних сплавів, що важко деформуються. Одночасне введення в γ -твердий розчин титану й алюмінію змінює розчинність титану і титановмісних фаз і позначається на кінетиці утворення γ' - фази, підвищуючи жароміцні властивості сплавів з інтерметалідним зміцненням [13].

Введення бору в малих кількостях у жароміцні нікелеві сплави чинить дуже сильний вплив на підвищення жароміцності. Бор має порівняно малу розчинність у γ -твердому розчині за помірних температур і під час старіння виділяється у вигляді боридних фаз різного складу, переважно на кордонах і на стиках зерен. Бор є легувальним елементом, який, входячи до твердого розчину і до складу боридних фаз, гальмує дифузійні процеси, що протікають за помірних температурах, і тим самим сприяє підвищенню тривалої міцності сплавів.

Максимальна жароміцність найімовірніше відноситься і до максимальної розчинності бору в γ -твердому розчині.

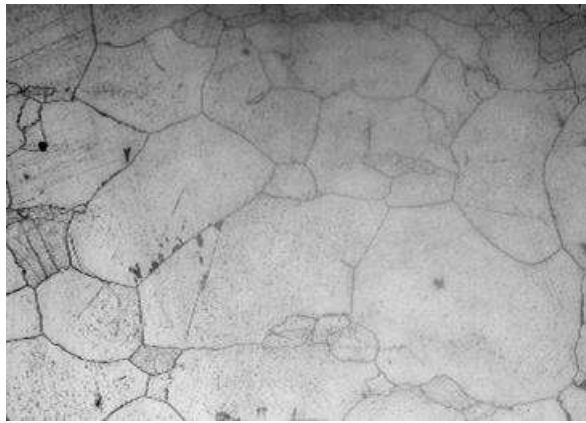


Рисунок 1.5 - Мікроструктура центру перерізу вихідної заготовки сплаву ЭИ437Б ($\times 100$)

Вивчення фазового складу жароміцних сплавів на нікелевій основі дало змогу на нікелевій основі дало змогу встановити, що залежно від залежності від легування бор утворює кілька фаз [14].

У нікельхромтитаністому сплаві ЭИ437Б бор входить до складу складної χ -фази типу $(Cr, Ni)_5B_3$. Передбачається, що збільшення вмісту алюмінію в хромонікельтитаністому сплаві ЭИ437Б зменшує розчинність хрому і призводить до збагачення боридної фази хромом.

Введення до 0,015% В не підвищує короточасної міцності і твердості, але збільшує пластичність (δ і φ), яка визначається при короточасних випробуваннях і на тривалу міцність. Бор негативно впливає на окалиностійкість сплавів.

Під час освоєння сплаву EI437 було встановлено, що зазначені домішки чинять негативний вплив на його жароміцні та технологічні властивості.

Перші плавки цього сплаву, виплавлені на забруднених шихтових матеріалах (нікелі, нікельтитаністій лігатурі та хромі) показали винятково низьку жароміцність.

Найкращі плавки того періоду при температурі випробування 7000С і напрузі 25 кг/мм² мали 50-100-годинну стійкість. Встановлено, що нікельтитанова лігатура, сильно забруднена свинцем, була причиною різкого зниження жароміцності сплаву ЭИ437. Застосування чистіших нікелю, хрому

і нікельтитанової лігатури дало змогу отримати у сплаву ЭИ437А більш високу тривалу міцність і, найголовніше, сталість жароміцних властивостей у зразків однієї й тієї самої плавки. Різку негативну властивість свинцю було виявлено не тільки на зразках під час випробування їх на жароміцність, але також на лопатках двигуна того часу. Лопатки, виготовлені з випадково забрудненої плавки, під час стендового випробування виходили з ладу через 40 годин, тоді як лопатки, виготовлені з хорошої плавки, працювали 200-500 годин. Було встановлено, що матеріал поганої плавки відрізнявся від хорошої тільки вмістом свинцю: 0,0015 і 0,0008% відповідно. У результаті застосування чистіших шихтових матеріалів і удосконалення технології виплавки і введення церію вдалося 100-годинну тривалу міцність при 700°C підвищити з 25 до 36 кг/мм², а завдяки присадці 0,005% В - до 42 кг/мм² [15].

Шкідливий вплив свинцю, сурми, олова та ін. проявляється не тільки на жароміцності сплавів в інтервалі робочих температур (600-900°C), але також при більш високих температурах, що негативно позначається на гарячій обробці тиском сплавів.

Вплив сірки. Сірка є шкідливим елементом у жаростійких і жароміцних сталях, оскільки сприяє при великому вмісті її різкому зниженню жароміцності. Сірка із залізом, нікелем і кобальтом утворює легкоплавкі евтектики, що погіршують обробку тиском сплавів у гарячому стані. Залізо і сірчисте залізо утворюють легкоплавку евтектику, яка плавиться при 9850С, а в присутності кисню (точніше в закису заліза) вона плавиться за ще нижчих температур. Нікель із сірчистим нікелем також утворює евтектику, яка плавиться за ще нижчої низькій температурі [16].

Сірчиста сполука нікелю типу NiS плавиться за 8100С, Ni₃S₂ - за 787°C, а евтектика нікель - сірчистий нікель при 625-645°C.

Кобальт із сіркою також утворює легкоплавку сполуку CoS, що плавиться при 1100°C, а евтектика Co₄S₃+Co - при 879°C.

Утворення легкоплавких евтектик зазначених металів із сірчистими сполуками шкідливо позначається на жароміцних властивостях сталей і

сплавів. Особливо шкідливий вплив чинить сірка в нікелевих жароміцних сплавах або сталях з високим вмістом нікелю. Тому під час виготовлення їх вживають особливих заходів з метою зменшення вмісту сірки в готових сплавах. Ці заходи зводяться до застосування більш чистіших шихтових матеріалів; до зв'язування сірки в тугоплавкі сполуки шляхом присадок рідкоземельних елементів (лантан, церій та ін.); до обробки сплаву за типом сульфуратції шлаками або методом електрошлакового переплаву, за яких сірка зв'язується в легкоплавкі сполуки і спливає на поверхню металу. Це відбувається внаслідок впливу калієвих або натрієвих солей, а також впливу миш'яку, який із сіркою утворює легкоплавку сполуку. Останній спосіб, хоча й запатентований, але використовується дуже рідко. Найбільше застосування знайшов комбінований спосіб, тобто отримання сплавів із застосуванням чистих шихтових матеріалів і подальшою їх обробкою елементами, що зв'язують сірку в тугоплавкі сполуки. У сплавах на залізній основі вміст сірки може допускатися дещо більше $\sim 0,015\%$, тоді як у сплавах на нікелевій основі вміст сірки не має перевищувати $0,010\%$ (краще $0,005\%$). Дослідження розподілу сірки в нікелевому сплаві ЭИ437 за допомогою радіографії підтвердили нерівномірність розподілу сірки. У литому стані вона розподіляється між гілками дендритів, а в сплаві, що деформується, - по межах зерен у вигляді точкових скупчень. Суцільна сітка в складнолегованих сплавах відсутня. Сірка шкідливо впливає на зварюваність аустенітних хромонікелевих хромонікелевих сталей і нікелевих сплавів. Тому її вміст у сплавах має бути мінімальним. Підвищений вміст сірки зменшує в'язкість зварних деталей, а також викликає мікророзтріскування, пов'язане з гарячою крихкістю. Тому вміст сірки і в зварювальному дроті має бути мінімальним.

Із зіставлення хімічних властивостей жароміцних сплавів на нікелевій основі і властивостей, впливає, що ускладнення складу підвищенням вмісту титану, алюмінію, титану + алюмінію за одночасного присадження тугоплавких металів (W, Mo, Nb) і малих добавок бору сприяє підвищенню жароміцних властивостей за температурами і напруженнями.

1.4 Виплавка та обробка жароміцних сплавів

Жароміцні та експлуатаційні властивості жароміцних сплавів здебільшого залежать від технології їх виробництва: чистоти застосовуваних шихтових матеріалів, методів виплавки, умов розливання і кристалізації, технології гарячого оброблення тиском, умов механічної обробки і подальшої додаткової термічної та хіміко-термічної обробки, що застосовуються для зняття наклепу. Слід ще раз особливо підкреслити, що недотримання точних умов хоча б одного з елементів технології обробки деталей з жароміцного металу - це не дотримання одного з елементів технології обробки деталей з жароміцних сплавів може різко і негативно позначитися на експлуатаційній надійності деталей [17].

Сталі та сплави виплавляють різними методами: в електродугових печах ємністю до 5 т і в окремих випадках до 20 т, у вакуумних і відритих індукційних печах ємністю 0,5-1,2 т, у вакуумних електродугових печах з електродом, що витрачається, в електродугових печах з електродом, що витрачається, під шаром спеціального шлаку (електрошлаковий перепплав) і в особливих випадках, коли потрібна дуже висока чистота, методом електронно-променевої плавки. При виготовленні литих деталей із жароміцних сплавів застосовують ті самі методи виплавки, але в печах меншого розміру з розливанням на повітрі, у вакуумі або аргоні в піщані, керамічні форми (точне лиття або лиття за виплавлюваними моделями). Поряд із застосуванням чистих шихтових (за відсутністю шкідливих домішок: свинцю, олова, сурми, вісмуту, сірки та ін.) матеріалів способи виплавки мають великий вплив як на рівень жароміцних властивостей сплавів, так і їхню сталість. Поглинання під час виплавки кисню, азоту і водню - одна з причин зниженої жароміцності сплавів і їхньої поганої технологічності. Кисень, взаємодіючи з розплавленим металом, утворює важкорозчинні тугоплавкі окиси хрому, алюмінію і титану.

Ці оксиди при застиганні обволікають кристали металу і є причиною виникнення плівок у металі, погіршення механічних і технологічних властивостей сплавів [18].

Азот у складнолегованих важкодеформованих жароміцних сплавах шкідливий тим, що взаємодіючи з хромом, титаном і алюмінієм, утворює тугоплавкі нітриди або карбонітриди, часто у вигляді ліквацийних скупчень. Ці скупчення погіршують пластичність сплаву при гарячій обробці тиском і, отже, його технологічність. Тому приділяється особлива увага повному розкисненню сплаву, усуненню контакту розплавленого металу з киснем і азотом у процесі плавки і розливання.

Це досягається різними способами (обробка шлаками) і особливо виплавою і розливанням жароміцних сплавів у вакуумі, коли забезпечується більш повне видалення кисню й азоту з металу; для низки складнолегованих сплавів із вмістом $Ti+Al \geq 5\%$ цей метод є обов'язковим. Виплавлений і розлитий у вакуумі сплав має кращу здатність до гарячої обробки тиском, має краще поєднання жароміцності та пластичності і жароміцності та пластичності й високу експлуатаційну стійкість. Слід зазначити, що виплавка жароміцних сплавів у вакуумі сприяє також зниженню вмісту шкідливих для жароміцних властивостей домішок сірки, свинцю, олова, сурми і вісмуту. У сплавах на нікелевій основі, виплавлених у вакуумі, знижується вміст кремнію і марганцю, які вкрай небажані, оскільки негативно впливають на жароміцність.

Вакуумний перепплав поліпшив жароміцні характеристики сплавів, при цьому значно підвищилися подовження і звуження поперечного перерізу. Гаряча обробка тиском сплавів стало можливим у широкому інтервалі температур. Із зазначених даних випливає, що при подвійному вакуумному перепплаві досягається найповніше видалення газів (O_2 , N_2 , H_2).

Для поліпшення гарячої обробки тиском складнолегованих сплавів на нікелевій і залізній основі нікелевій і залізній основах їх слід виплавити у вакуумних печах. Виплавка і розливання литих жароміцних сплавів на

нікелевій і залізній основах, що містять титан і алюміній та ін., у вакуумі різко скоротили брак за плівками: з 90 до 5-10%.

У жароміцних сплавів на нікелевій основі, виплавлених у вакуумних індукційних і дугових печах, порівняно з металом відкритої плавки, більш висока пластичність, що покращує умови їхньої обробки тиском і збільшує вихід придатного. Крім того, виплавка у вакуумі дає змогу дещо підвищити вміст титану та алюмінію в сплавах, що забезпечить більш високі показники тривалої міцності за робочих температур. Вакуумно-дуговий переплав жароміцних сплавів забезпечує отримання металу зі щільною макроструктурою і мінімальною ліквідацією. Вакуумно-дуговий переплав сплаву марки ЭИ437Б забезпечує високу однорідність механічних властивостей заготовки та готових виробів і на 15-20% збільшує період до руйнування за робочих температур [17]. У цьому сплаві різниця значень механічних властивостей за кімнатної температури зразків, відібраних від обода і маточини диска, виготовленого з металу відкритої дугової плавки, досягає за характеристиками міцності 7-10, а за характеристиками пластичності 30-40%. При використанні металу ВДП цієї різниці не виявлено (крім ударної в'язкості, де різниця досягає 6%). Підвищення технологічної пластичності жароміцних сплавів при ВДП, що характеризується істотним збільшенням значень ударної в'язкості при кімнатній і високій (до 1000-1200°C) температурах, дало змогу вдосконалити технологію виробництва заготовок дисків турбін і замінити кування більш економічним процесом - штампуванням. Жароміцні сплави, одержувані методом ВДП, порівняно зі сплавами відкритої плавки, відрізняються більш однорідною структурою, мінімальним ступенем розвитку ліквідаційної неоднорідності та рівномірним розподілом дрібних неметалевих включень. Рівень характеристик пластичності при температурах гарячої деформації і робочих температурах металу ВДП, вищий, ніж після відкритої плавки, але нижчий, ніж у металу ВП. Радикальним засобом запобігання утворенню навколошовних строчкових тріщин є підвищення чистоти сталей і сплавів щ о д о

неметалевих включень. Ефективним засобом боротьби з навколошовними рядковими, а також і гарячими тріщинами в основному металі є електрошлаковий переплав. У цьому відношенні електрошлаковий переплав перевершує вакуумно-дуговий переплав, який не дає змоги повністю позбутися рядкового скупчення неметалевих включень.

У сплавів, отриманих ЕШП, також однорідна структура з мінімальним ступенем карбідної неоднорідності. Спосіб ЕШП забезпечує отримання більшої технологічної пластичності порівняно з ВДП і ВП, але характеристики пластичності сплавів, отриманих ЕШП, за робочих температур нижчі, ніж сплавів, отриманих способами ВДП і ВП. Спосіб ЕШП не гарантує отримання стабільних результатів за тривалою міцністю внаслідок деякого чаду титану та алюмінію. У разі виробництва жароміцних сплавів на нікелевій основі для дисків та інших великогабаритних виробів як основний методу рекомендується ВДП, для виробництва ж жароміцних сплавів для лопаток і інших деталей невеликого перетину – ВП [19].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Для виконання експерименту було обрано сектор лопаток із візуально виявленими тріщинами з жароміцного ливарного сплаву ЖС6У (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву ЖС6У

Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	Co	Nb	Ti	Al	Ni
≤1,0	0,13- 0,2	≤0,4	≤0,4	8,0- 9,5	1,2- 2,4	9,5- 11	9,0- 10,5	0,8- 1,2	2-2,9	5,1- 6,0	Основа

Як наплавочний матеріал було обрано дріт Св-06Х15Н60М15 (ЭП-367). Хімічний склад наведено в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Хімічний склад зварювального дроту Св-06Х15Н60М15

Fe	C	Si	Mn	Śr	Mo	Ni
≤4,0	≤0,8	≤0,5	1,0-2,0	14,0- 16,0	14,0-16,0	Основа

Цей дріт, завдяки підвищеному вмісту молібдену, забезпечує подрібнення зерна, високу технологічну міцність з'єднання під час технологічну міцність з'єднання під час зварювання, а також підвищує ударну в'язкість.

2.1 Методи контролю наявності тріщини

Попередньо перед наплавленням тріщини були повністю видалені шляхом оброблення металу пневматичною машинкою з кінцевими фрезами. Повноту видалення тріщин контролювали капілярним методом ЛЮМ 1-ОВ.

Люмінесцентна дефектоскопія - це один із найрезультативніших і найпоширеніших методів, за допомогою якого можна виявляти найнезначніші зміни, що відбулися в структурі матеріалів.

Для проведення люмінесцентного контролю виконують такі операції: занурення деталей на 3 хв у розчин автола в гасі; короткочасне (5-10 с) промивання у воді або бензині; просушування під вентилятором; запилення деталей білою пудрою (магнезією); огляд під ультрафіолетовими променями. Деталі, освітлені ультрафіолетовими променями через увіолевий чорний фільтр, набувають темно-фіолетового забарвлення, а в дефектних місцях яскраво світиться розчин автола, що витягується магнезійовою пудрою на поверхню. Так виявляються обриси найтонших тріщин.

Люмінесцентний дефектоскоп застосовують для виявлення тріщин, раковин і розшарувань у деталях з металів магнітних і немагнітних, кольорових сплавів, а також неметалевих матеріалів (пластмас).

2.2 Методика лазерної наплавки

Тимчасова форма лазерного імпульсу асиметрична і представлена на рис. 2.1.

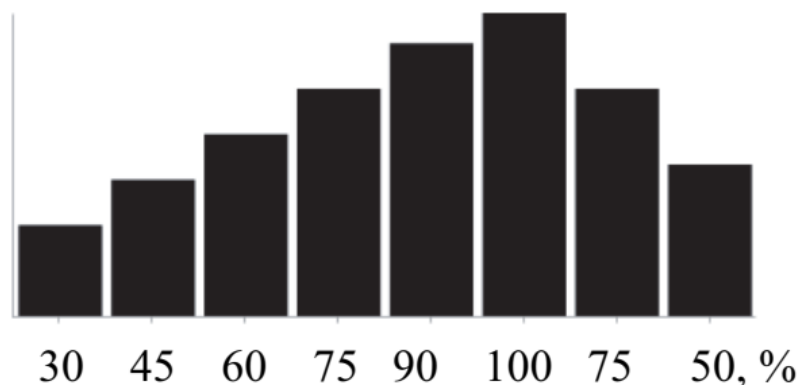


Рисунок 2.1 - Розподіл енергії в імпульсі у відсотках від максимальної енергії

За місцями вибірок дефектних зон було проведено лазерне наплавлення за режимів: діаметр плями 0,6 мм, тривалість імпульсу 7 мс, частота проходження імпульсу 7 Гц, середня потужність 79 Вт, пікова потужність 1,61 кВт, швидкість наплавлення 2 мм/с.

Ця форма лазерного імпульсу забезпечує плавне наростання температури в зоні наплавлення, як під час наплавлення з підігрівом, і охолодження з уповільненою швидкістю, що зменшує ймовірність утворення мікротріщин. Наплавлення проводили на імпульсній лазерній установці ALFA-600, характеристики якої наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Параметри лазерної установки ALFA-300

Середня вихідна потужність	600Вт
Максимальна енергія імпульсу	100 Дж
Довжина хвилі випромінювання	1064 нм
Діаметр лазерного пучка	0,4-2,6 мм
Частота направлення імпульсів	≤ 100 Гц
Тривалість імпульса	≤ 20 мс

Наплавлення проводили в кілька проходів з обов'язковим посиленням наплавленого шару під час ручного подавання дроту (рис. 2.2).

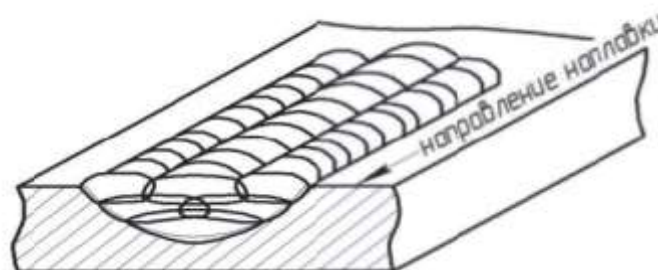


Рисунок 2.2 - Схема виконання лазерного наплавлення

Для захисту зони наплавлення використовувався аргон. Недоліком цієї технології наплавлення є ручна подача присадного дроту.

2.3 Методи дослідження структури

Металографічний контроль мікроструктури включає в себе ряд етапів для підготовки проби та її подальшого дослідження під мікроскопом.

Підготовка зразка:

Відбір зразка: Оберіть предмет для аналізу. Зазвичай це частина виробу або матеріалу, яка представляє інтерес для вивчення.

Заготування проби: Зверніться до зразка і використовуйте спеціальні інструменти (пила, стругачка тощо) для отримання області, що потребує аналізу. Зразок повинен мати достатній розмір для подальшої обробки.

Грубе шліфування: Використовуйте шліфувальні матеріали (абразиви) для зняття нерівностей та отримання плоскої поверхні. Це може виконуватися за допомогою шліфувальних машин або ручним шліфуванням.

Фіксація в матеріалі: Проба може бути закріплена в спеціальному матеріалі (наприклад, вкладена у полімерний матеріал) для подальшої обробки та зручності під час шліфування.

Тонке шліфування: Використовуючи все менш дрібні абразиви, отримайте гладку поверхню проби. Цей етап дозволяє отримати потрібну товщину для подальшого полірування.

Полірування: Використовуйте полірувальні матеріали для отримання високого рівня гладкості та блиску на поверхні зразка. Це необхідно для точного дослідження мікроструктури.

Дослідження мікроструктури:

Відбиття мікроструктури: Використовуючи кислоти або спеціальні реагенти, нанесіть на поверхню зразка для виділення різних фаз або структур. Це може допомогти візуально виділити границі зерен, включення або інші дефекти.

Мікроскопічне дослідження: Використовуйте металографічний мікроскоп для огляду структури під великим збільшенням. За допомогою

світла та різноманітних фільтрів або поляризаторів вивчайте деталі мікроструктури.

Фотографування: Зробіть фотографії або знімки мікроструктури за допомогою мікроскопа для подальшого аналізу та документування.

Аналіз та інтерпретація: Оцініть знайдені особливості мікроструктури та проведіть їхню інтерпретацію відповідно до поставлених завдань дослідження.

Звіт: Підготуйте документ, в якому узагальнюються результати дослідження, включаючи зображення мікроструктури, виявлені особливості та ваші висновки.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз причин пошкоджень лопаток газотурбінних двигунів

Найчастішою причиною відмов газотурбінних двигунів (ГТД) є несправність деталей проточної частини двигуна. Близько 30% відмов пов'язано з пошкодженням лопаток. Лопатки ГТД зазнають безліч експлуатаційних навантажень, що виникають через пароводяних, аеродинамічних, кислотно-лужних, термічних і механічних впливів, що виникають через складний деформований стан і зношування поверхневих шарів, впливів частинок пилу та інших елементів. Ці впливи негативно впливають на експлуатаційні властивості лопаток ГТД. Причому в ряді випадків, вони призводять до руйнувань лопаток і виникнення аварійних ситуацій. Розроблення комплексу заходів, що підвищують міцнісну надійність лопаткового апарату ГТД, залишається актуальною проблемою. У зв'язку з цим важливим стає питання аналізу пошкоджень лопаткового апарату.

Процес руйнування лопатки залежить від того, на якому вузлі ГТД її встановлено, оскільки як місце її розташування визначає умови роботи і характер навантажень.

Так, під час оцінки технічного стану лопаткового апарату, виявляються такі дефекти [4]:

- лопатковий апарат роторів турбін високого і низького тиску: механічні ушкодження лопаток; тріщини в пері лопатки і її замковій частині лопаток; вироблення лопаток за зовнішнім діаметром; корозія, ерозія, нагар на пері лопаток,

- лопатковий апарат статорів турбін: тріщини, надриви напрямних лопаток №1 і №2; викривлення вихідних крайок НЛ; забоїни, вм'ятини на робочій частині лопаток; корозія на поверхні лопаток; тріщини на бандажах діафрагми обойми; еліпсність обойми з 2-х частин; деформація сегментів і козирка,

- лопатковий апарат ротора компресора: механічні ушкодження і дефекти лопаток; тріщини в пері і замковій частині лопаток; зношення торця і кромки пера; тріщини по замкових вставках, переміщення замкового з'єднання,

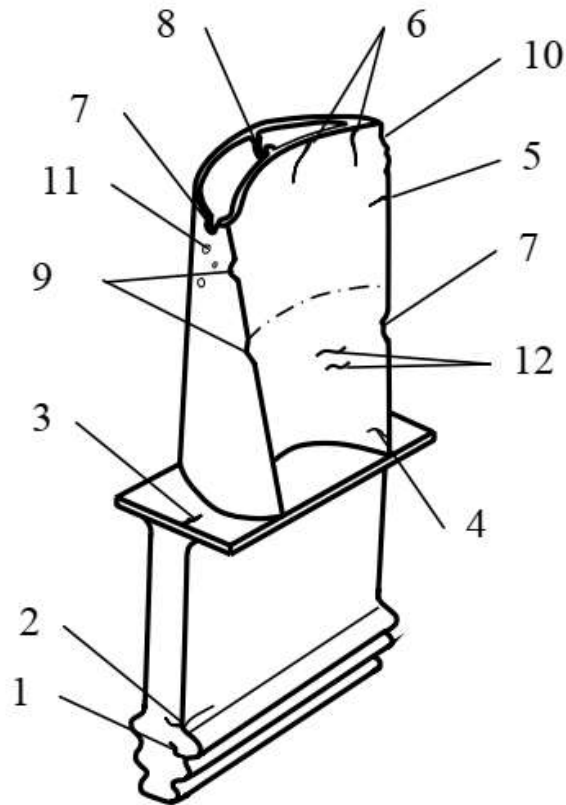
- лопатковий апарат статора компресора: ерозійний знос лопаток; забоїни, вм'ятини, тріщини на пері лопаток; зім'яття і вириви ущільнювальних секторів; збільшені зазори по ущільненнях секторів; зменшення висоти напрямних лопаток внаслідок зношення,

- лопатковий апарат обертового направляючого апарата: корозія, ерозія профілю лопатки, тріщини на пері лопатки, вигин пера лопатки внаслідок механічного впливу в лопатках, 5-10 ступенів, вибоїни на профілі лопатки.

На рисунку 3.1 наведено схематичне зображення робочої лопатки ТВД із зазначенням найхарактерніших дефектів. Ресурс безаварійної роботи лопаток ГТД становить 40 000 - 80 000 годин, залежно від їхнього виду і розташування в двигуні. Час, відпрацьований двигуном до першого відновлювального ремонту зазвичай становить 16 000 годин. У процесі ремонту двигуна, після повного або часткового розбирання, промивання та очищення здійснюється контроль стану лопаток. При цьому використовуються різні методи контролю: візуальний, ультразвуковий, магнітний, метрологічний, вихрострумний та інші. Під час контролю вирішується питання про необхідність і можливість ремонту. Залежно від величини і розташування пошкоджень, лопатки ГТД ділять на три групи:

- лопатки, що не потребують ремонту,
- лопатки, що підлягають ремонту і відновленню,
- лопатки, що не підлягають відновленню.

Лопатки, що мають пошкодження типу 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 (рис. 3.1) ремонту не підлягають.



1 - тріщина на замку; 2 - тріщина на подовженій ніжці; 3 - тріщина на полиці; 4 - тріщина на пері нижче середньої лінії; 5 - тріщина на пері вище лінії; 6 - тріщини на периферійній кромці; 7 - вирив металу на периферійній кромці; 8 - вирив металу на внутрішній перегородці; 9 - вириви та забоїни металу на вхідній кромці; 10 - локальна відсутність металу; 11 - вм'ятини; 12 - ризики, подряпини

Рисунок 3.1 - Схема робочої лопатки ТВД найбільш характерними дефектами

Питання про ремонтпридатність лопаток з ушкодженнями типу 5, 6, 10, 11, 12 і ознаками корозії, відшарування покриття, ерозії вирішується з урахуванням кількості та величини дефектів.

В разі циклічної зміни температури виникають значні температурні напруження, які суттєво ускладнюють напружений стан поверхневих шарів і можуть призвести до утворення тріщин (рис. 3.2). Градієнт температури по поверхні і перерізом стінок лопаток призводить до виникнення значних

термічних напружень, що досягають найбільших значень на нестационарних режимах роботи двигуна. Крім того, вже під час лиття трилопатевого блока через складну його конструкцію можуть виникати внутрішні напруження, які в процесі експлуатації накопичуються, і призводять також до утворення тріщин у поверхневому шарі.

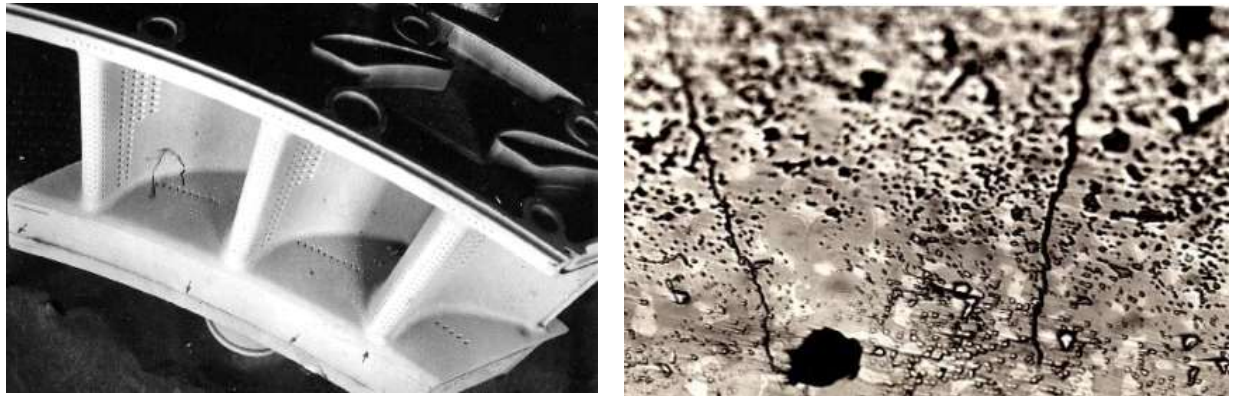
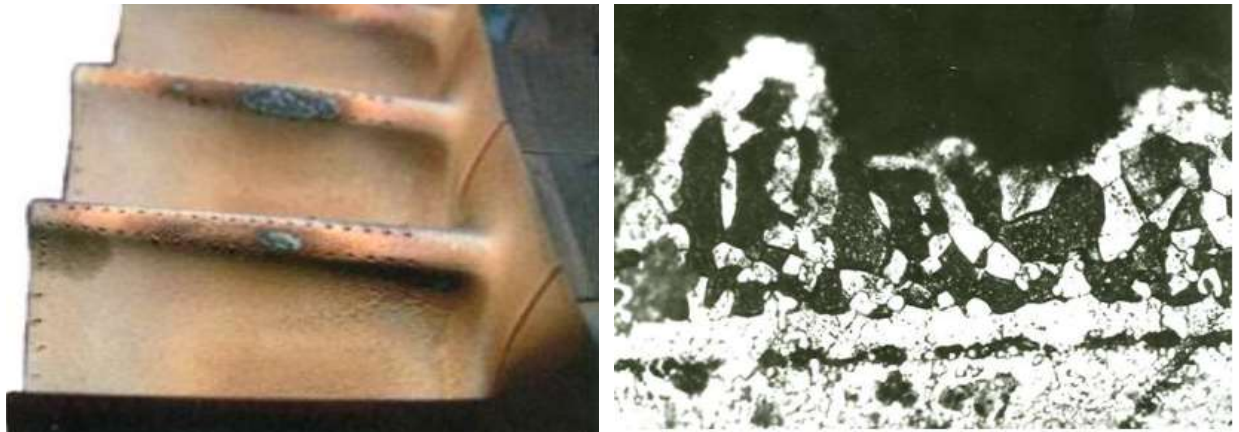


Рисунок 3.2 - Зовнішній вигляд блока соплового апарата з тріщинами на поверхні після 350 год напрацювання

Під час горіння суміші палива і повітря утворюється потік гарячих газів, для якого характерні високі тиск, температура і швидкість. Крім цього, лопатки турбіни зазнають значних напружень від дії відцентрових і газодинамічних сил, впливу агресивного середовища продуктів згорання палива та атмосфери повітря. Зменшення захисних властивостей може відбуватися також і за рахунок ерозійного зносу під дією високотемпературного газового потоку за час експлуатації (рис. 3.3). Чітко видно ерозійно-корозійне зношування вхідної кромки лопатки, яке відбувається внаслідок численних ударів твердих частинок, що призводить до механічного руйнування покриття. Високий вміст вуглецю в паливі посилює ерозійний вплив газового потоку, призводить до прискорення коксування на деталях і сульфідної корозії, що посилює сумарний ефект руйнівного впливу.

Надлишкова подача повітря в двигун забезпечує окислювальну атмосферу продуктів згорання. Перераховані вище умови роботи робочих лопаток турбіни призводять до появи великої кількості дефектів матеріалу

лопатки, таких як: коагуляція γ' - фази, виділення та укрупнення карбідів, прогар захисного покриття (рис. 3.3 б), утворення термовтомних тріщин (рис. 3.2) і сульфідна корозія. Ці дефекти так само можуть бути зумовлені умовами експлуатації двигуна.



а

б

а – зовнішній вигляд; б – мікроструктура;

Рисунок 3.3 - Корозійно-ерозійне пошкодження вхідної кромки робочої лопатки

Аналіз даних щодо відмов ГТД показує, що залежно від причин виникнення дефектів, їх можна класифікувати за двома групами: конструктивно-виробничі та експлуатаційні.

Конструктивно-виробничими можна назвати дефекти, пов'язані з недосконалістю форми та розміру лопатки, недосконалими технологіями та недостатньою точністю виготовлення лопаток, недосконалими властивостями основного матеріалу лопаток і їхнього покривного шару.

До експлуатаційних можна віднести дефекти, спричинені нерівномірністю повітряного потоку під час відхилення режимів, вібраційні навантаження, що перевищують розрахункові, різне напруження окремих лопаток, а отже, і їхнє спрацювання.

Найімовірнішими причинами виникнення дефектів лопаток є:

- зачіпання лопаток за нерухомі деталі та вузли через викривлення обойм і деформації корпусів, вібрації роторів, зношування підшипників;
- тривала робота в режимі помпажу і діапазоні оборотів, що перевищують допустиму норму;
- збільшення опору всмоктувального тракту;
- наявність агресивних речовин і механічних домішок у повітряному потоці проточної частини;
- підвищення температури продуктів згоряння перед турбіною високого тиску;
- ослаблення або збільшення величини натягу в посадкових місцях лопаток;
- груба обробка поверхні;
- підвищення крихкості та зниження міцності металу через перепал внаслідок гартування.

3.2 Відновлення працездатності ГТД із застосуванням нових технологій застосуванням нових технологій і матеріалів

За багаторічного досвіду експлуатації та ремонту ГТД проведеними статистичними дослідженнями було встановлено, що більшість дефектів пов'язана з міцністю деталей, причому 42% з них викликані змінними навантаженнями. з них викликані змінними навантаженнями. Виникнення інших дефектів в елементах конструкції здебільшого зумовлені природними процесами механічного зносу, корозії, ерозії, коксоутворення тощо, що відбуваються в процесі роботи двигуна, а також потраплянням у двигун сторонніх предметів і порушенням технічних умов експлуатації.

Поряд з експлуатаційними дефектами вузлів і деталей двигунів під час їхнього ремонту виявляються ще й дефекти металургійного і технологічного характеру.

Тому наявні технологічні процеси ремонту передбачають надійне виявлення пошкоджень наявними методами і відновлення деталей або їх заміну з мінімальними витратами часу та матеріальних засобів.

Типовий технологічний процес ремонту двигуна в обов'язковому порядку передбачає такі основні операції:

- очищення деталей і складальних одиниць від експлуатаційних відкладень після розбирання для дефектації та перевірки;

- дефектація - комплекс робіт, що полягає у виявленні та характеристиці дефектів, наявних у деталях;

- відновлення деталей - на підставі конструкторської документації розробляється раціональний спосіб відновлення, обумовлений технологічними та економічними факторами, відновлення жаростійких покриттів, а також визначення необхідного запасу міцності;

- контроль відремонтованих деталей;

- комплектування двигунів і складальних одиниць за напрацюванням, циклами і технічним станом, не допускаючи переробки призначеного ресурсу, як у годинах, так і в циклах.

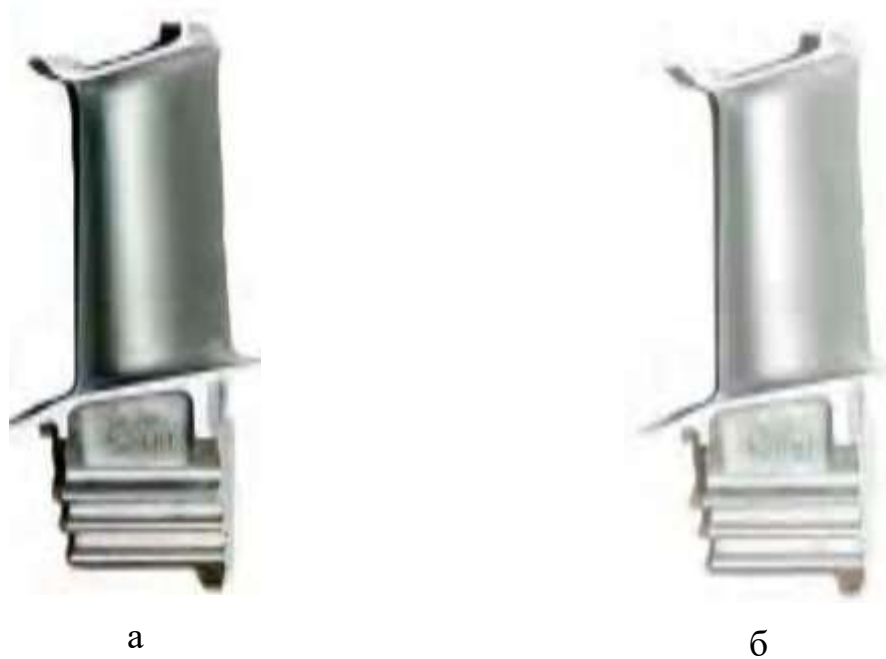
Існують два основні методи відновлення зношених деталей:

- метод ремонтних розмірів, що передбачає відновлення геометричної форми та шорсткості поверхні деталей без збереження їхніх первинних розмірів;

- метод номінальних розмірів, що передбачає відновлення зношених деталей із відновленням їхніх первинних розмірів. відновленням їхніх початкових розмірів.

На підприємстві велику увагу приділяють технологіям очищення та підготовки поверхонь деталей під нанесення тих чи інших покриттів.

Розроблено ефективний метод очищення поверхні деталей авіаційної техніки - аерозольно-гідродинамічне очищення (АГД очищення). Зовнішній вигляд робочої лопатки турбіни до і після АГД очищення показано на рисунку 3.4.



а – до обробки АГД; б – після обробки АГД;

Рисунок 3.4 – Робоча лопатка двигуна ТВЗ 117

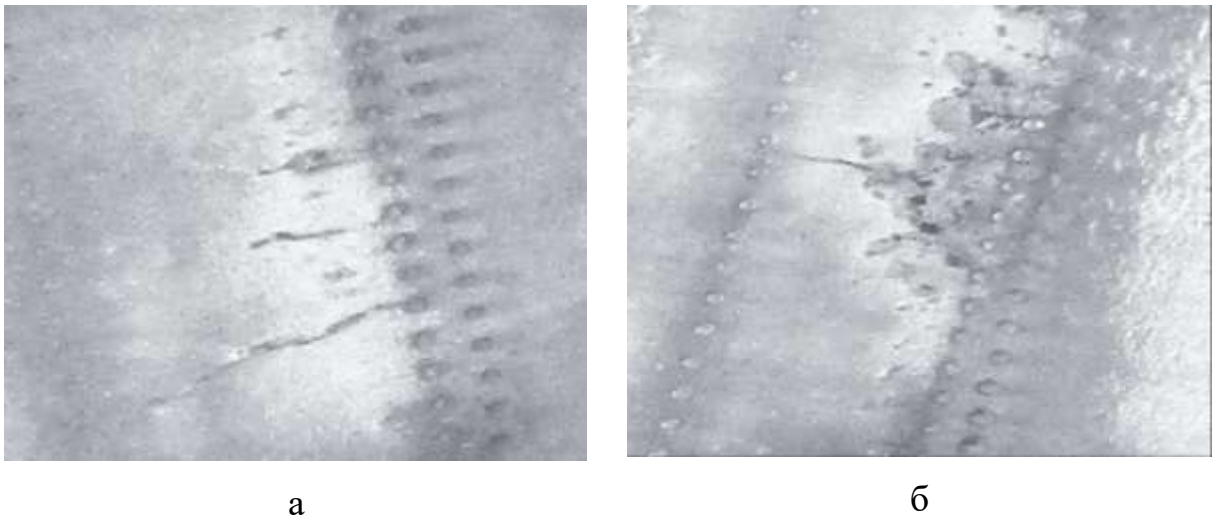
АГД очищення є альтернативою наявним способам очищення, вирізняється високим ступенем універсальності, простотою обладнання, яке застосовується, точністю регулювання і підтримки процесу.

АГД очищення застосовується для очищення деталей авіадвигунів від високотемпературних нагарів, корозії, оксидних плівок, різних забруднень зі збереженням геометричних параметрів; підготовки поверхні деталей під контроль методом кольорової дефектоскопії ЛЮМ 1-ОВ; підготовки поверхонь під нанесення захисних покриттів.

Ливарні сплави на основі нікелю мають високу жароміцність за середніх і високих температур, що обумовлює їх широке застосування під час

виготовлення лопаток турбін, а також інших фасонних деталей, що працюють за температури до 1000°C.

Технологія ремонту тріщин, після виявлення на секторах лопаток ТВЗ-117 (рисунок 3.5) з жароміцного ливарного сплаву ЖС6У доцільно проводити шляхом повного видалення дефекту ручним пневматичним інструментом з використанням кінцевих фрез з подальшим лазерним наплавленням жароміцного сплаву СВ-06Х15Н60М15 за місцем вибірки.



а - утворення тріщин на межі каналу продуву газового струменя;
б - утворення тріщин на границі зони пропалу

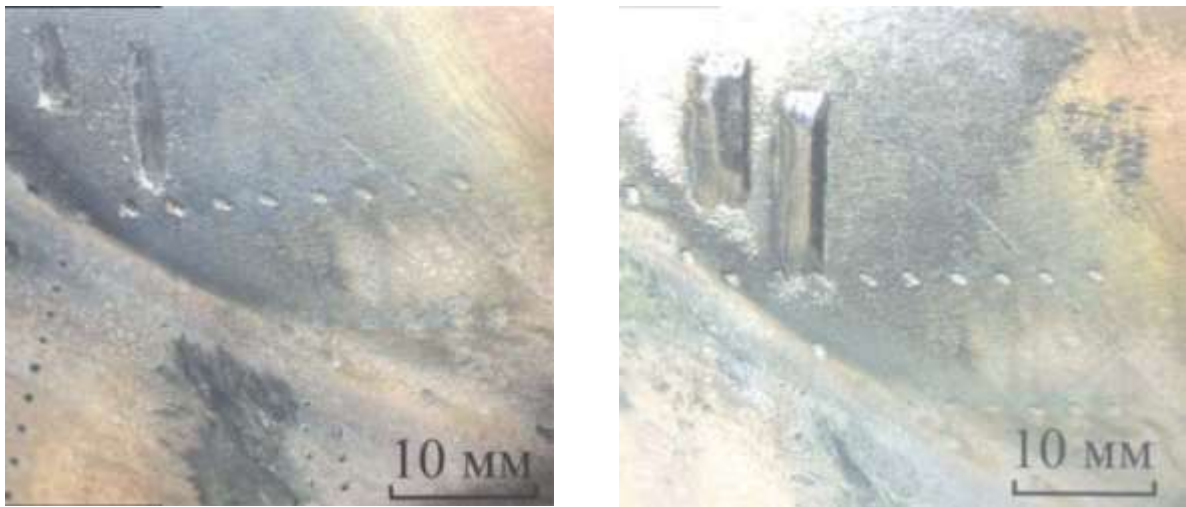
Рисунок 3.5 - Тріщини на лопатках після експлуатації

Дедалі частіше для ремонту деталей і складальних одиниць ГТД, зокрема лопаток, найширше застосовується лазерне імпульсне наплавлення.

Порівняно з традиційними способами лазерне наплавлення має низку переваг:

- формування наплавленого шару з малим коефіцієнтом перемішування внаслідок незначного підплавлення основи;
- мінімальний термічний вплив на основний метал, що особливо важливо для матеріалів, які зазнають структурних і фазових перетворень;
- малі залишкові деформації наплавлених деталей.

На малюнку 3.6 представлена зона лопатки після вибірки дефекту (рис. 3.6, а) і після заварки його лазерним наплавленням (рис. 3.6,б).



а

б

а - зона оброблення; б - зони наплавлення

Рисунок 3.6 - Зовнішній вигляд лопатки за місцем дефектів (тріщин) після обробки і після наплавлення

З рисунка видно, що за заданих режимів лазерного впливу з коефіцієнтом перекриття імпульсів 0,5-0,6 забезпечується гарна якість наплавлення.

На стінці лопатки спостерігалися наскрізні тріщини, які допрацьовували у 2 етапи.

На першому етапі виконувалося оброблення тріщини з одного боку на глибину 0,8 мм, що приблизно дорівнює половині товщини стінки лопатки за місцем дефекту. За місцем оброблення виконано лазерне імпульсне наплавлення за схемою і на режимі, аналогічному для повністю видаленої тріщини.

На другому етапі тріщина була оброблена зі зворотного боку до повного її видалення. При цьому повноту видалення контролювали контролем ЛЮМ-10В. Потім за місцем вибірки проведено наплавлення лазером (рисунок 3.7).



а

б

в

а - вид із зовнішнього боку; б - вид з боку профілю пера лопатки;

в - вид зверху пера

Рисунок 3.7 - Зовнішній вигляд лазерного наплавлення, виконаного за місцем наскрізної тріщини

Під час зовнішнього огляду зон лазерних наплавок тріщин, несплавлень та інших дефектів не виявлено. Також за даними люмінесцентного контролю дефектів у наплавленому і основному металі за місцем доопрацювання не виявлено. Додатково для порівняння з лазерним наплавленням на частині оброблень по місцях тріщин було виконано ручне аргонодугове наплавлення неплавким електродом на режимі: зварювальний струм 40 А, час імпульсу 0,2 сек, час паузи 0,2 сек, захисний газ - аргон. Наплавлення виконували на зварювальному апараті EWM Tetrix-300 з присадним матеріалом Св-06Х15Н60М15 у вигляді дроту діаметром 1,2 мм. Під час люмінесцентного контролю ЛЮМ-1ОВ виявлено виступання пенетранта по межах підварювання.

Під час металографічного дослідження шліфів за місцем лазерного наплавлення встановлено, що тріщин у зоні наплавлення і навколошовній зоні немає, багатошаровість відсутня, багатошаровість відсутня. Наплавлення з одного боку (рис. 3.8), або послідовне наплавлення з двох боків із подачею присадного матеріалу забезпечує відсутність тріщин (рис. 3.9).

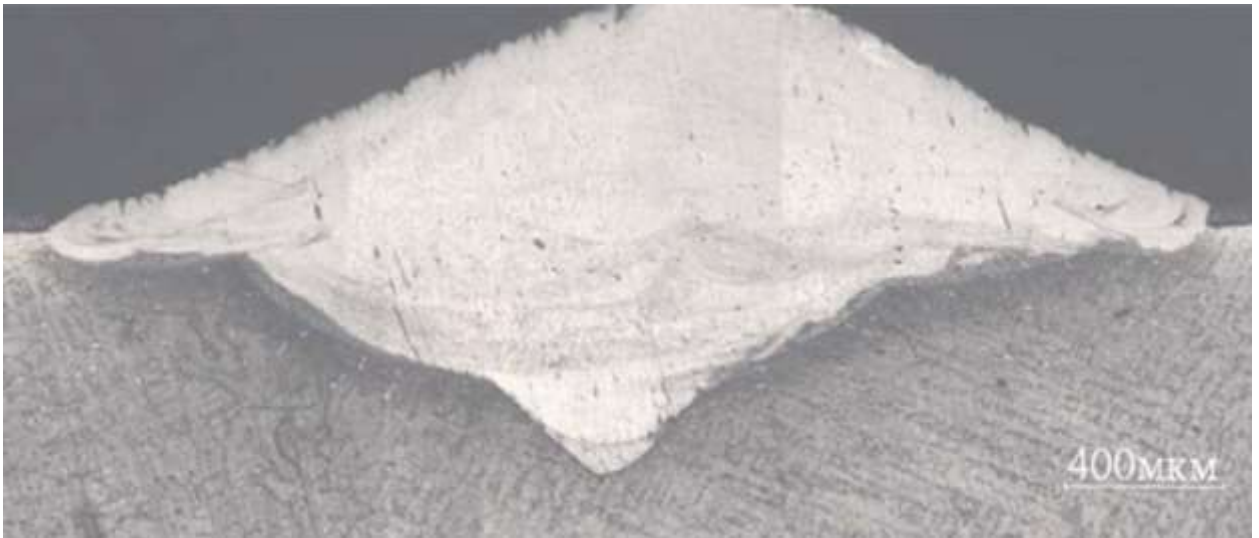


Рисунок 3.8 - Зовнішній вигляд травленого шліфа лазерного наплавлення, виконаного за місцем ненаскрізьної тріщини



Рисунок 3.9 - Зовнішній вигляд травленого шліфа лазерного наплавлення, виконаного за місцем наскрізьної тріщини

Водночас під час підварювання лазерним променем без оброблення і подачі присадного матеріалу (власним металом) у зоні плавлення виникли тріщини. Під час виконання першого проходу лазерним променем по матеріалу лопатки без подачі присадного дроту (рисунок 3.10) у переплавленому основному

матеріалі виникають усадочні тріщини, що розвиваються як у зоні плавлення, так і нижче у твердому матеріалі лопатки.



Рисунок 3.10 - Зона лазерного плавлення з виконанням одного проходу без подачі присадного матеріалу

Таким чином, оптимально обраний режим лазерного впливу забезпечує мінімальне підплавлення основного матеріалу, а використовувана присадка з високим вмістом Мо перешкоджає утворенню тріщин у зоні наплавлення.

На мікрошліфі, вирізаному за місцем, підвареному за допомогою аргонодугового зварювання, виявлено тріщини (рисунок 3.11), спричинені, найімовірніше найімовірніше, великими зварювальними напруженнями.



Рисунок 3.11 - Зовнішній вигляд шліфа зони аргонодугового підварювання

Під час аргонодугового наплавлення спостерігається утворення тріщини на межі зони наплавлення в матеріалі лопатки, яка найімовірніше спричинена значними зварювальними напруженнями, а також тріщини у верхній частині напавленої зони.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [20], а саме:

а) небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон, а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати, нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання;

б) можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

в) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань;

г) можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм;

д) небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом електронної металографії з використанням електронних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

е) незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань;

є) невідповідність вимогам освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору;

ж) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

з) невиконання інженерно-технічні заходи цивільної оборони, що забезпечують тривалу роботу цеху у військовий час [21].

4.2 Заходи забезпечення безпеки

а) конструкція робочого місця дослідника має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні пристроїв і документів, які необхідні для виконання досліджень. Висота робочої поверхні робочого столу ВДТ має регулюватися в межах 680...800мм, а ширина і глибина –забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина –800...1000мм).Робочий стіл повинен мати простір для

ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

б) до основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустановки, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;
- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпечності), наприклад, робоче заземлення нейтралі трансформатора;
- заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;

– захисне заземлення – це заземлення, яке виконане з метою електробезпечності, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

в) об'єкти відмінності мають як негативний (темні об'єкти на світлому фоні) так і позитивний (світлі об'єкти на темному фоні) контраст. Тому відбувається постійна переадаптація від яскравих об'єктів з позитивним контрастом на темні з негативним контрастом. За восьмигодинний робочий день за монітором користувач кидає приблизно 30000 поглядів на екран, око працює з перевантаженням і не може достатньо адаптуватися до цієї ситуації. Такі особливості призводять до напруження м'язового та світло-сприймаючого апарату очей, що є однією з причин виникнення астенопічних явищ (різь в очах, біль в очах, ломить у надбрівній ділянці, розпливчастість контурів, нечіткість зображення). Постійний погляд на матове скло екрана монітора зменшує частоту кліпання очей, що призводить до висихання та викривлення роговиці ока, погіршує зір (синдром Сікка). Робота користувача за пульсуючим екраном монітора, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації (блмання), викликає дискомфорт і втому (загальну і зорову). Робота з дзеркальною відбиваючою і неплоскою зовнішньою поверхнею екрана монітора, на якій з'являються численні відбиті відблиски, призводить до виникнення у користувача астенопічних явищ та функціональних змін ока. Неправильний розподіл яскравості в полі зору, тобто поверхні периферії (стеля, стіни, меблі і т.п.) висвітлені краще ніж центр поля зору, призводить до порушення основних зорових функцій ока. Засліплююча дія світильників у приміщенні, на робочому місці з ПК викликає не тільки астенопічні явища, але й функціональні порушення очей користувача.

Кольоровий шрифт збільшує навантаження на зір, оскільки складові кольорів мають різні довжини хвиль і видимі на різній віддалі. Око потребує точнішої адаптації, ніж при чорно-білому зображенні.

г) для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін

експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

д) об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра, з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з не чіткими контурами ,пофарбованими головним чином по краю поля зору . Щоб погасити всі кольори ,в яких об'єкт не має корекції ,застосовують жовто-зелений світлофільтр .З огляду на те,що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра ,жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

Для електронного мікроскопа «Tesla BS 540» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;
- прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф.насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачанняпостаратися обмотати мокрими ганчірками піч диф. насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками [24].

4.3 Заходи з виробничої санітарії

а) параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних). Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона. Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;

- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.

- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;

- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;

- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;

- в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 % 45при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

б) Виробниче освітлення організується і нормується залежно від:

- розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном);
- виду і системи освітлення.

Також необхідно врахувати, що передбачається оптимальне (необхідне) освітлення виробничих приміщень і робочих місць:

- природне (бокове або верхнє);
- штучне: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки, визначають ступінь вогнестійкості приміщення цеху (дільниці, підстанції).

Охоронно-пожежна сигналізація неадресного типу влаштована на неадресних (порогових) датчиках. Обладнання розраховане на цілодобову роботу і відповідає необхідним вимогам пожежної безпеки. До складу системи ОПС входить панель, блок управління і індикації та програмне забезпечення.

Панель системи ОПС призначена для прийому сповіщень від шлейфів сигналізації з пожежними та охоронними сповіщувачами або інших приладів, перетворення сигналів, видачі сповіщень про пожежу і/або проникненні з включенням оповіщення та інших виконавчих пристроїв і передачі сповіщень на пульт централізованого спостереження.

Система ОПС на неадресних (порогових) сповіщувачах дозволяє:

- контролювати стан пожежних, охоронних шлейфів сигналізації;

- видавати повідомлення про пожежу та/або проникненні на блоці індикації;
- включати систему оповіщення та інші виконавчі пристрої комплексної системи безпеки;
- передавати повідомлення на Пульт централізованого спостереження, якщо він передбачений проектом.

Разом із системою ОПС можуть працювати такі види охоронних датчиків, як:

- інфрачервоні, що реагують на рух;
- магнітоконтактні, що реагують на розмикання дверей;
- акустичні, що реагують на розбивання скла.

Порогова охоронно-пожежна сигналізація – може працювати як автономно, так і в складі комплексної системи безпеки спільно з відеоспостереженням, контролем доступу і системою підвищення ефективності управління. Істотно розширюються можливості по управлінню обладнанням і обробці інформації, що надходить - при наявності модулів «Моніторинг» або «Центральний пост» на моніторі охоронця автоматично видається інформація про пожежу із зазначенням місця його виникнення на графічному плані підприємства. В охоронюваних приміщеннях встановлюються порогові пожежні або охоронні сповіщувачі, які об'єднуються в шлейфи сигналізації.

4.5 Заходи безпеки в умовах НС

Підвищення міцності промислових споруд, а також їх стійкості до дії ударної хвилі, по-перше, пов'язано із значними затратами, а по-друге, все ж неповністю гарантують їх збереження в епіцентрі ядерного вибуху. У зв'язку із цим проведення робіт по зміцненню тих чи інших споруд може плануватись

і здійснюватися лише в цілях захисту особливо цінного, унікального обладнання або в тих випадках, коли окремі важливі споруди мають значно меншу міцність, ніж інші, і «підтягнувши» їх міцність до середніх по заводу величин, можна без великих затрат підвищити стійкість об'єкту в цілому.

Вибір заходів, які забезпечують підвищення стійкості об'єкту, визначається різними місцевими умовами в кожному конкретному випадку. Найбільш ефективними являються заглиблення, зменшення парусності і висоти споруд. Міцність і жорсткість конструкцій можна підвищити встановленням контрфорсів, підкосів, додаткових рамних конструкцій, розпірок і відтяжок. Стійкість незначних по розмірам споруд підвищується шляхом обсіпки нижньої частини їх стін ґрунтом (піском і т.п.). Цей же спосіб значно підвищує захисні властивості споруд по відношенню до дії радіаційних випромінювань.

Захист обладнання і готової продукції передбачає розміщення деяких видів обладнання і продукції у заглиблення в приміщеннях, а також підготовку індивідуальних захисних пристроїв.

Надійно захистити все обладнання від впливу ударної хвилі практично неможливо, оскільки доводити міцність цехових споруд до захисних властивостей сховищ економічно недоцільно. Задача полягає в тому, щоб звести до мінімуму небезпеку руйнування і пошкодження особливо цінного обладнання, унікальних шліфувальних, токарних, розточних і зубофрезерних станків, пресів і кувальних машин, насосного обладнання, розрахунково-аналітичних машин і тощо.

Для зменшення руйнування обладнання підсилюють його найбільш слабкі деталі та вузли, виготовляють їх з'ємними і створюють запаси для заміни пошкоджених. Стійкість обладнання від падіння під дією ударної хвилі ядерного вибуху підвищують шляхом надійного закріплення на фундаменті, створення контрфорсів, заглиблень. Запас найбільш нестійких деталей і вузлів для важливого унікального обладнання слід утримувати в спорудах, які забезпечили б їх збереження при дії ударної хвилі.

Підвищення стійкості обладнання може бути досягнуто також шляхом заміни застарілих зразків новими, які найбільш відповідають вимогам до їх стійкості, а також скороченням числа типомоделей станків, що використовуються, що в подальшому значно спростить проведення ремонтних і відновлювальних робіт; заміною горючих і вибухонебезпечних змащувально-охолоджувальних рідин (наприклад, сульфозфрезолу, фрезолу, керосину) емульсіями; впровадженням в процеси термічної обробки с.в.ч. і т. п.

Важливе значення має і раціональне розміщення обладнання. Найбільш цінне і нестійке обладнання і прилади слід розміщувати в найбільш міцних приміщеннях, важкі станки, машини і агрегати повинні розташовуватись на нижніх поверхах споруд. Машини і станки великої цінності рекомендується розміщувати не в основних промислових, а у окремо розташованих спорудах, які мають легкі конструкції і конструкції, які важко горять, руйнування їх не приведе до руйнування цього обладнання.

Особливо велике значення має стійкість і розгалуженість систем енергетичного забезпечення (електроенергія, газо-, паро- і теплопостачання, забезпечення стисненим повітрям).

До числа заходів, які можуть бути рекомендовані для підвищення стійкості роботи систем енергопостачання, відносять: перенос інженерних і енергетичних комунікацій у підземні колектори, розміщення найбільш відповідальних пристроїв (центральні диспетчерські і розподільчі пункти, компресорні і аварійні електричні станції) в захищених спорудах з підвищеною ступеню стійкості до впливу ударної хвилі; кільцювання всіх енергетичних систем; побудова захищених автономних джерел електро- і водопостачання, резервних ємностей і резервуарів; придбання пересувних електростанцій і насосних агрегатів з двигунами внутрішнього згорання; обладнання пристосувань для роботи підприємств на різних видах палива; кооперування постачання групи підприємств, тобто створення умов і можливостей для використання джерел електро-, газо-, тепло- і

водопостачання, кисневих станцій, складів палива одного підприємства для забезпечення потреб іншого.

Стійкість систем електропостачання підвищується базуванням підприємств на декількох енергоджерелах, віддалених один від іншого на таку відстань, щоб виключити можливість руйнування їх одним ядерним вибухом. При живленні підприємства від районної енергосистеми лінії електропередач необхідно підводити не менш ніж із двох напрямків, а приймальні підстанції (ЦРП, РП) розташовують одна від одної на можливо більшій відстані. Доцільні і такі заходи, як забезпечення захисту існуючих і побудова резервних підстанцій, перевід енергопостачання із повітряного на підйомно-кабельне, встановлення автоматичних роз'єднувачів для відімкнення ділянок сітей у випадку перевантаження і короткого замикання. Споруди цивільної оборони забезпечуються автономними джерелами енергопостачання.

Система водопостачання також повинна базуватися на двох і більше незалежних вододжерелах, віддалених один від одного на відповідну відстань. Рекомендується встановлювати додаткові бурові скважини (артезіанські скважини), кільцювати розвідні сіті, захищати гідранти і водорозбірні колонки, впроваджувати автоматичні і напівавтоматичні пристрої, які б відключали б пошкоджені ділянки без порушення роботи іншої частини мережі.

На сітях газопостачання і теплофікації слід передбачити заходи проти втрачання газу (пари, води) у випадку руйнування магістральних ліній і внутрішньої сіті у пошкоджених або зруйнованих спорудах. Це досягається шляхом встановлення на вводах в споруди або на відводах магістральних ліній автоматичних запірних пристроїв, які відмикають лінії при руйнуванні. Встановлюють і задвижки дистанційного управління, які дозволяють відімкнути сіті із одного центра управління.

Мережі зв'язку можна вважати підготовленими з точки зору цивільної оборони, якщо забезпечений захист вузлів зв'язку і розподільчих шаф, а повітряні лінії зв'язку на території підприємства переведені на підземно-

кабельні. Стійкість засобів зв'язку може бути підвищена шляхом прокладання другого живлення фідерів на автоматичну телефонну станцію і радіовузлу заводу, придбання пересувних електростанцій для зарядки акумуляторів АТС і для живлення радіовузла при повному відключенні постійних джерел електроенергії.

Важливе значення має планове накопичення ультракороткохвильових радіостанцій, телефонних апаратів і телефонного кабелю польового типу для створення тимчасових ліній зв'язку на випадок виходу із ладу постійних. Необхідно також мати незмінний резерв запасних частин і деталей для ремонту всіх засобів зв'язку.

Попередження або зменшення до мінімуму можливих руйнувань, пожеж і втрат від додаткової дії вторинних факторів ураження ядерного вибуху в значній мірі залежать від проведення інженерно-технічних заходів, направлених на підвищення загальної стійкості всього інженерно-технічного комплексу підприємства і його окремих елементів. Крім цього, ця задача досягається розосередженням (вивозом) наднормативних запасів вибухових і вогнебезпечних речовин на безпечній відстані від самого підприємства, а також від інших населених пунктів та об'єктів. Таке розосередження вибухових та вогнебезпечних матеріалів здійснюється в основному при виникненні погрози нападу супротивника, однак уже у мирний час для цього слід підготувати склади у загородній зоні.

Роботи із вибуховими речовинами рекомендується сконцентрувати в спеціальних окремо розташованих спорудах, щоб виключити джерела додаткової небезпеки при здійсненні цих робіт у різних цехах. На багатьох підприємствах запаси горючих рідин (нафта, бензин, керосин, масла і т. п.) містяться не в підземних сховищах, а в наземних резервуарах та інших ємностях. В цих випадках такі ємності повинні бути уже в мирний час обваловані, тобто оточені валами ґрунту такої висоти, щоб вони були здатні втримати весь об'єм рідини при руйнуванні резервуару.

Створення обмежувальних земляних валів (дамб) являється також одним із ефективних способів захисту об'єктів, розташованих в низинних ділянках місцевості, від катастрофічного затоплення в результаті руйнування поблизу розташованих гідропоруд.

Для попередження виникнення джерел хімічного зараження можна рекомендувати наступні заходи: розосередження складів отрутохімікатів, а також обладнання їх пристосуваннями, які забезпечують швидку нейтралізацію отруйних речовин (змивання водою; обробка залізним купоросом приміщень, небезпечних із-за наявності ціаністих сполук; обробка кислот лугами і т. п.); виготовлення міцної і надійної тари; настил підлог в складах отрутохімікатів із кислотоупорних і лугостійких матеріалів; створення запасів нейтралізуючих речовин; ізоляція (відгородження) в цехах небезпечних ділянок (травлення, ціанування, азотування та ін.); забезпечення робочих небезпечних і сумісних з ними ділянок спеціальними засобами індивідуального захисту (промислові протигази, захисний одяг).

5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Аналіз ремонтпридатності лопаток газової турбіни двигуна ТВ3-117 має важливе значення як з технічної, так і з економічної точки зору. Проблеми, пов'язані з ремонтпридатністю, можуть впливати на ефективність роботи двигуна, його надійність та тривалість служби. Ці аспекти є ключовими для авіаційної та промислової галузей, які використовують газові турбіни.

З позиції маркетингу, важливо враховувати такі аспекти:

Конкурентоспроможність продукції: Якщо ваші лопатки мають високий рівень ремонтпридатності, це може бути ключовим конкурентним перевагою. Ви можете використовувати цей фактор в рекламі та маркетингових матеріалах для привертання уваги потенційних клієнтів.

Економія коштів для клієнтів: Покращення ремонтпридатності може призвести до зменшення витрат на обслуговування та ремонт. Це може бути привабливою пропозицією для підприємств, які шукають ефективні рішення для зниження витрат на технічне обслуговування.

Створення партнерств: Якщо ваша компанія зосереджена на постійному вдосконаленні ремонтпридатності, це може привертати увагу потенційних партнерів та клієнтів. Співпраця з іншими компаніями у сфері газотурбінного обладнання може стати стратегічним напрямком розвитку.

Маркетингові кампанії на основі технічних досягнень: Використовуйте інформацію про покращення ремонтпридатності у своїх маркетингових кампаніях. Поясніть, як ваші технічні рішення можуть поліпшити експлуатаційні показники та забезпечити стабільну роботу газової турбіни.

Екологічні переваги: Якщо покращення ремонтпридатності також спрямовані на зменшення впливу на навколишнє середовище, це може бути важливим елементом маркетингової стратегії, особливо в умовах зростаючої уваги до сталого розвитку та екології.

Узагальнюючи, аналіз ремонтпридатності лопаток газової турбіни ТВЗ-117 з точки зору маркетингу може допомогти виділити вашу продукцію на ринку, покращити сприйняття бренду та створити конкурентні переваги, що сприятиме розвитку вашого бізнесу.

5.2 Послідовний аналіз

В даній роботі виконали аналіз напрямків застосування продукції та вигоди для споживачів (табл. 5.1). Надано цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
<p>Аналіз ремонтпридатності лопаток газової турбіни двигуна ТВЗ-117 може включати в себе детальне дослідження технічних та експлуатаційних аспектів лопаток з метою визначення їхньої здатності до ефективного відновлення та подовження терміну служби</p>	<p>Авіаційна промисловість, Енергетика</p>	<p>Збільшення терміну служби лопаток, Оптимізація витрат на ремонт та обслуговування</p>

Таким чином, запропонована технологія дозволить отримати значні конкурентні переваги на ринку транспортних засобів та енергетичного обладнання.

Виконаний аналіз характеристики потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	<p>Safran: Французька компанія, яка спеціалізується на аерокосмічній та оборонній промисловості, включаючи виробництво газових турбін для літаків та вертольотів.</p> <p>General Electric (GE) Aviation: Американська компанія, що є одним із світових лідерів у галузі виробництва авіаційних та промислових газових турбін.</p> <p>Rolls-Royce: Британська компанія, яка спеціалізується на виробництві авіаційних двигунів та газотурбінних систем.</p> <p>Siemens Energy: Німецька компанія, яка має великий досвід у виробництві енергетичних технологій, включаючи газові турбіни для промислових застосувань.</p> <p>Mitsubishi Hitachi Power Systems (MHPS): Японська компанія, яка є одним із гравців у глобальній галузі виробництва газових турбін.</p>
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільний попит, тенденція до інновацій
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі вимоги до сертифікації, потреба у великих інвестиціях
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Дотримання стандартів ISO, EN, ДСТУ, необхідність сертифікації FAA та EASA

Отже, існує потенційний попит на ринку з боку виробників авіаційних двигунів. При цьому для виходу на ринок потрібні інвестиції в обладнання та сертифікацію послуг для забезпечення конкурентоспроможності.

Вивчені та визначені потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Підвищення надійності та економічності авіадвигунів	Авіакомпанії, виробники авіадвигунів, сервісні центри	Виробники шукають новітні рішення, сервісні центри фокусуються на якості та швидкості обслуговування	Висока надійність, комплексність послуг, конкурентоспроможна вартість

SWOT-аналіз (аналіз SWOT) є ефективним інструментом для оцінки сильних і слабких сторін, а також можливостей і загроз у рамках конкретного проекту чи ініціативи. У випадку інноваційного проекту, такий аналіз може допомогти виокремити фактори, які можуть сприяти чи заважати успішній його реалізації. Виконаний аналіз SWOT- аналіз середовища реалізації інноваційного проект. Результати аналізу приведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Висока експертиза в авіаційній галузі, можливість зниження витрат на ремонт, покращення експлуатаційних характеристик лопаток	Велика вартість первинних інвестицій, комплексність технологічного процесу, залежність від постачальників спеціального обладнання
Можливості:	Загрози:
Розширення ринку послуг завдяки новим технологіям, зростання попиту на якісний ремонт в умовах економії, створення партнерських відносин з авіакомпаніями та виробниками двигунів	Зміни законодавства в сфері авіаційних перевезень та експлуатації, посилення конкуренції, технічні нововведення від конкурентів

SWOT-аналіз допомагає зрозуміти внутрішні та зовнішні фактори, які можуть впливати на успішність інноваційного проекту та розробити стратегії для максимізації переваг та мінімізації ризиків.

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.5).

Вибір цільових груп потенційних споживачів для аналізу ремонтпридатності лопаток газової турбіни двигуна ТВ3-117 є ключовим етапом в розробці маркетингової стратегії. Оскільки ця тема більш технічно зорієнтована, цільові групи можуть бути орієнтовані на технічних спеціалістів, компанії з авіаційною та промисловою спрямованістю.

Різноманітні цільові групи враховують широкий спектр зацікавлених сторін, що можуть відзначити важливість аналізу ремонтпридатності лопаток газової турбіни ТВ3-117 у різних сферах діяльності.

Таблиця 5.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Авіакомпанії з великим парком двигунів ТВ3-117, сервісні центри, спеціалізовані на ремонті авіадвигунів.	Висока, через потребу в оптимізації витрат на обслуговування.	Авіакомпанії: 70%, Сервісні центри: 85%	Авіакомпанії: 70%, Сервісні центри: 85%	Відносно низька, потребує спеціалізованих знань та сертифікації.

Це дозволяє визначити пріоритетні сегменти ринку та розробити адресну маркетингову стратегію для впровадження технологій покращення ремонтпридатності лопаток газової турбіни двигуна ТВ3-117, враховуючи особливості цільових груп споживачів.

Проведена ідентифікація стейкхолдерів, їхнє пріоритизування та побудована Карта стейкхолдерів, що дозволяє візуалізувати взаємозв'язки між стейкхолдерами. Три концентричні області на карті відображають всіх осіб, зацікавлених в інноваційному проекті, враховуючи можливості впливу ініціатора проекту. Внутрішня область стейкхолдерів вказує на повноваження та відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони перебувають в прямому підпорядкуванні ініціатора, що дозволяє використовувати ефективні методи адміністрування проекту.

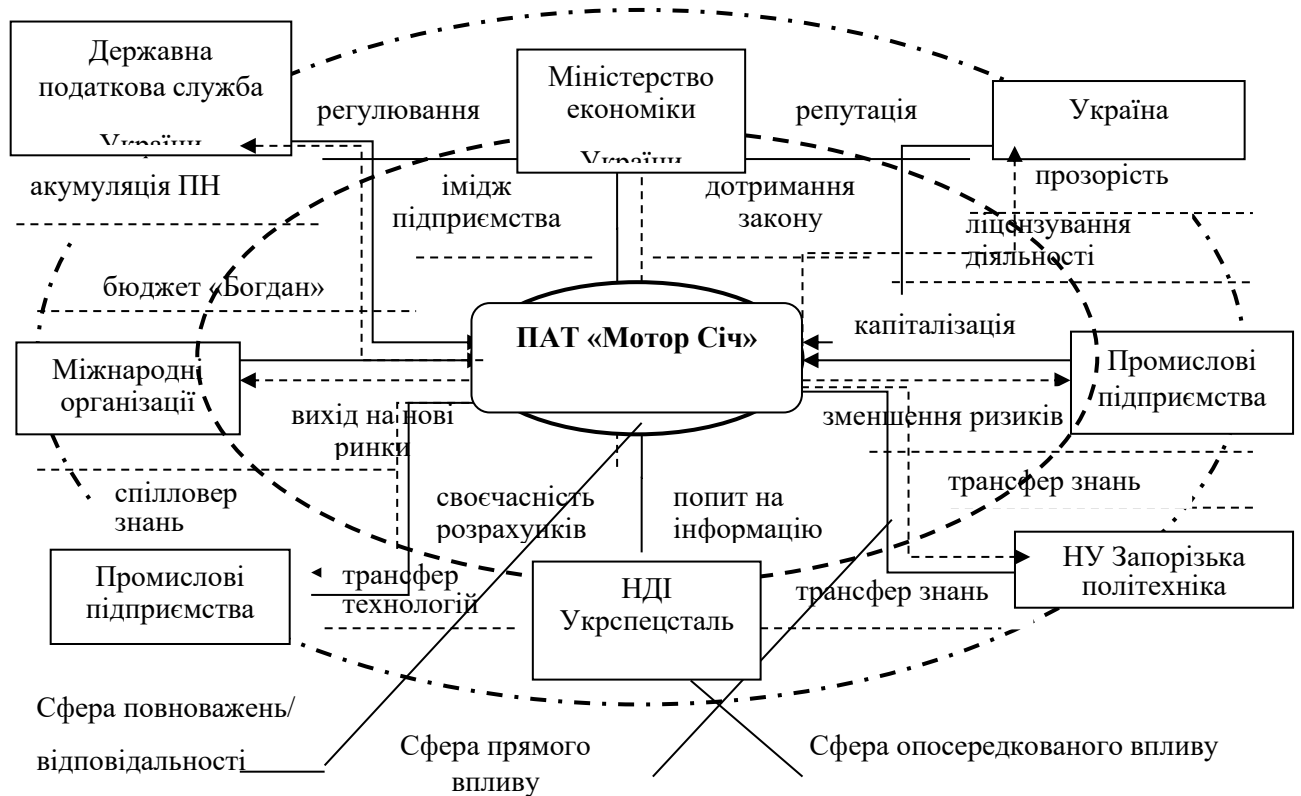


Рисунок 5.1 - Карта стейкхолдерів

Під час виконання даної роботи використовувались наступні трудові ресурси: науковий керівник, старший науковий співробітник, що здійснює безпосередній контроль та бере участь у всіх етапах дослідження, інженер-дослідник, який відповідає за проведення експериментів, обробку та аналіз результатів, та лаборант, який бере участь у виконанні дослідження. Їхні обов'язки включають забезпечення технічної бази дослідження, налаштування та допомогу в експлуатації обладнання, попередній аналіз результатів та надання консультацій.

Були визначені витрати на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника. Витрати за цією статтею включають в себе плановий фонд зарплати всіх категорій працівників, які брали участь у проведенні досліджень (див. таблицю 5.6). Враховуючи важливість кожного учасника команди, вдалося побудувати спільну робочу динаміку та забезпечити високу якість виконання дослідження.

Таблиця 5.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премій, грн	Місячна заробітна плата	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
Науковий керівник	1	20000	20	4000	24000	288000	63360
Провідний інженер	2	16000	20	3200	19200	230400	50768
Інженер-технолог	3	14000	20	2800	16800	201600	44432
Лаборант	2	12000	20	2400	14400	172800	38016
Разом	8	62000	-	12400	74400	892800	196576

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення макетів та дослідних зразків (табл. 5.7)

Таблиця 5.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за од., грн	Сума, грн
Азот	м ³	500	280	140000
Лопатки	шт	12	6250	75000
Тара	шт	12	400	5000
Гази	м ³	100	1200	120000
Масло	л	5	750	3750
Запчастини до устанку	комплект	2	85000	170000
Реактиви для аналізу	комплект	3	5000	15000
Препарати	набір	2	11000	22000
Витратні матеріали	-	-	-	10000
Разом	-	-	-	497750

Розрахунок вартості послуг. До цієї статті належать витрати на електропостачання, водопостачання тощо (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Одиниця виміру	Кількість	Тариф, грн	Сума, грн
Електропостачання	кВт·год	2500	5,5	13750
Водопостачання	м ³	10	28	280
Теплопостачання	Гкал	5	1850	9250
Азот	м ³	500	320	160000
Сертифікація	послуга	1	65000	65000
Утилізація відходів	тонна	0,5	3700	1850
Охоронна сигналізація	місяць	12	1350	16200
Разом	-	-	-	248380

Визначили річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації при терміні експлуатації у 5 років (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Розрахунок амортизації

Обладнання	Кількість	Вартість, грн	Загальна вартість, грн	Річна амортизація (20%), грн	Поточний ремонт (2%), грн
Лазерна установка	1	2 500 000	2 500 000	500 000	50 000
Піч вакуумна	1	850 000	850 000	170 000	17 000
Твердомір	2	65 000	130 000	26 000	2 600
Мікроскоп	1	250 000	250 000	50 000	5 000
Комп'ютер	3	32 000	96 000	19 200	1 920
Разом	-	-	3 826 000	765 200	76 520

Враховано основне устаткування: лазерна установка, вакуумна піч, твердоміри, мікроскоп та комп'ютери. Загальна річна сума амортизації з урахуванням ремонту складає 841 720 грн.

Відображаємо кошторис витрат на основі даних, вказаних в табл. 5.6-5.9. В табл. 5.10 наведено кошторис витрат на проведення науково-дослідницьких робіт.

Таблиця 5.10 – Кошторис витрат

Стаття витрат	Сума, грн
Фонд заробітної плати	878400
ЄСВ	193338
Матеріальні витрати	497750
Вартість послуг	248380
Амортизація обладнання	765200
Поточний ремонт	76520
Виробнича собівартість	2 577 588
Адміністративні витрати (20%)	515 518
Повна собівартість	3 093 106

Розрахунок економічного ефекту виконувався на основі того, що порівнювався економічний ефект від ремонту лопатки із стандартної технології та її ремонт за допомогою лазерної наплавки

Таблиця 5.11 - Порівняння стандартної технології та лазерної

Показник	Од. виміру	Стандартна технологія	Технологія з лазером
Собівартість обробки однієї лопатки	грн	380	420
Ресурс лопатки	тис. км	150	250

Показник	Од. виміру	Стандартна технологія	Технологія з лазером
Кількість замін лопаток за 3 роки експлуатації	шт	2	1
Витрати на заміни лопаток	грн	760	420
Економія витрат на 1 двигун	грн	-	340
Річний економічний ефект	млн грн	-	340

Розроблена технологія лазерної наплавки для ремонту лопаток двигуна ТВЗ-117 має вищу собівартість порівняно зі стандартним ремонтом, але забезпечує подовження ресурсу роботи лопатки у 2 рази.

Тому економічний ефект тут буде виражатися в економії на кількості замін лопаток протягом строку експлуатації двигуна завдяки їх підвищеній зносостійкості після лазерного оброблення.

ВИСНОВКИ

Основним видом пошкодження, що призводить до руйнування лопаток ГТД, є утворення втомних тріщин. За наявності тріщин, розташованих нижче середньої лінії пера лопатки, вони стають неремонтопридатними. Питання про ремонтпридатність лопаток із тріщинами вище середньої лінії, вирішується залежно від глибини тріщин і їхньої кількості.

Запропоновано режим лазерного імпульсного зварювання тріщин у лопатці з матеріалу ЖС6У з попереднім її обробленням і подачею в процесі наплавлення присадного матеріалу у вигляді дроту Св-06Х15Н60М15. При цьому забезпечується мінімальне підплавлення основного матеріалу, а використовувана присадка з високим вмістом Мо перешкоджає утворенню тріщин у зоні наплавлення. Розроблено технологію ремонту тріщин на лопатках з матеріалу ЖС6У. Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що ремонт тріщин на лопатках із матеріалу ЖС6У методом вибірки і подальшого імпульсного лазерного наплавлення є перспективним і потребує подальших досліджень у цій галузі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Владов, С. І. Контроль і діагностика технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 шляхом аналізу тренду його параметрів / С. І. Владов, Л. М. Пилипенко, Н. В. Тугова, І. О. Дерябіна, А. А. Яніцький // Вісник Херсонського національного технічного університету. - 2021. - № 1(76). - С. 87-98. - DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.1.11>.
2. Шмельов Ю. М. Застосування нейронних мереж у задачі прогнозування технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 у польотних режимах / Ю. М. Шмельов, С. І. Владов, Я. Р. Клімова // Авиационно-космическая техника и технология. - 2018. - № 3. - С. 30–38
3. Шмельов, Ю. М., С. І. Владов, and Д. С. Ходін. "Контроль технічного стану авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах за допомогою нейронних мереж зі змінною пам'яттю." Авіація, промисловість, суспільство: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф.(м. Кременчук, 12 трав. 2022 р.)/МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ, Кременчуц. льотний коледж, Наук. парк «Наука та безпека».–Харків: ХНУВС, 2022.–С. 184-187., 2022.
4. Complex Condition Monitoring System of Air- craft Gas Turbine Engine [Text] / A. M. Pashayev, D. D. Askerov, C. Ardil, R. A. Sadiqov, P. S. Abdullayev // International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering. – 2007. – Vol. 1, No. 11. – P. 689–695.
6. Маткова А. В. Дослідження впливу експлуатаційних режимів роботи на руйнування лопаток ГТД / А. В. Маткова, С. М. Матвійчук // Наукові нотатки. - 2011. - Вип. 33. - С. 153-155
7. Хусейн Ель-Хожайрі. Оцінка пошкоджуваності лопаток турбін газотурбінних двигунів в експлуатації. Advances in aerospace technology 19.1: 126-130.

8. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Навч. Посібник для явузів. У2-хкн. Кн.1.- Львів: Видавництво «Папуга», 2003.-204 с.

9.Інженерне матеріалознавство: Підручник / О.М. Дубовий, Ю.О.Казимиренко, Н.Ю. Лебедева, С.М. Самохін // Миколаїв: НУК, 2009.– 444с.

10. Бялик О.М., Черненко В.С, Писаренко В.М., Москаленко Ю.Н. Металознавство.- К.: ІВЦ Політехніка, 2002.–374с.

11 .Металознавство і термічна обробка металів і сплавів, Ю.М. Таран, Є.П. Калінушкін та інші– Дніпропетровськ.: Дніпрокнига, 2002.–360с.

12 .Бялік О.М., Кондратюк С.Є.,Кіндрачук М.В.,Черненко В.С.Структурний аналізметалів .Металографія. Фрактографія.–К.:ВПВПК Політехніка, 2006. – 328 с.

13 .Кузш О.А., Яцюк РА. Металознавство та термічна обробка матеріалів .-Львів: Афіша, 2002.-304 с

14. Технологічні основи підвищення корозійної стійкості та межі витривалості сталевих лопаток вакуумним термоциклічним азотуванням у плазмі пульсуючого тліючого розряду [Електронний ресурс] / А. Ю. Нежведілов // Авиационно-космическая техника и технология. - 2012. - № 1. - С. 69–75.

15. Восстановление работоспособности ГТД с применением новых технологий и материалов / [В. А. Леонтьев, С. Д. Зиличихис, Э. В. Кондратюк, В. Е. Замковой]// Вестник двигателестроения. —№ 4. — 2006. — С. 99—103.

16. Балабанов А.Н., Канарчук В.Е. Справочник технолога мелкосерийных и ремонтных производств. – К.: "Вища школа", 1983. – 256 с.

17. Богуслаев В.А.,Муравченко Ф.М., Жеманюк П.Д., Яценко В.К., Качан А.Я. Технологическое обеспечениеэксплуатационныххарактеристик деталей ГТД. – Запорожье, 2003. – 396 с.

18. Композиційні сплави для зміцнення контактних поверхонь бандажних полиць газотурбінних двигунів / [О. І. Духота, М. В. Кіндрачук, О.

В. Тісов, Т. С.Черепова] // Проблеми трибології. — № 4. — 2010. — С. 101—104.

19. Нежведілов, А.Ю. Аналіз методів підвищення корозійної стійкості сталевих компресора ГТД / А.Ю. Нежведілов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 6 (83). – С. 77 – 80.

20. Про охорону праці [Електронний ресурс] – Чинний від 1992-10-14. : станом на 20.01.2018 р.–К.:ВРУ України,1998.

21.Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.11-12. – На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350 ; чинний від 2012-03-16. – К. : МНС України, 2012. – 116 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці);

22. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом: ДСТУ Б В.2.5-82:2016. – На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 109 с. – (Державний Стандарт України)

23. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями: НПАОП 0.00-1.71-13. – Чинний від 2014-03-28. – К. : Міненерговугілля України, 2013. – 59 с.