

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АвіАЦІЙНИЙ
ІНСТИТУТ»

Кафедра прикладної механіки та інженерії матеріалів

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

д.т.н., професор

Оксана МІКОСЯНЧИК

«05» грудня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ “МАГІСТР”

Тема: **ПРОЦЕСИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАНЕСЕННЯ
ЖАРОСТІЙКИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ЛОПАТКАХ ТУРБІН
АВІАДВИГУНІВ**

Виконавець: Максим ІВАНИЦЬКИЙ

Керівник: д.т.н., професор Мирослав КІНДРАЧУК

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

розд. “Охорона праці”

Ірина ЯКИМЕЦЬ

розд. “Охорона навколишнього
середовища” д.т.н., професор

Юрій ОЛЬХОВИК

Нормоконтролер:

д.т.н., професор Мирослав КІНДРАЧУК

КИЇВ 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра прикладної механіки та інженерії матеріалів

Спеціальність 131. «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Прикладна механіка, стандартизація та оцінка якості технічних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри д.т.н., проф.

_____ Оксана МІКОСЯНЧИК

“30” вересня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

ІВАНИЦЬКОГО Максима Сергійовича

1. Тема кваліфікаційної роботи : «ПРОЦЕСИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАНЕСЕННЯ ЖАРОСТІЙКИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ЛОПАТКАХ ТУРБІН АВІАДВИГУНІВ» затверджена наказом в.о. ректора від 28.08.2024 року № 1581/ст

2. Термін виконання роботи: з 30 вересня по 15 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Стандарт SAE AS 6100- SAE International, що визначає вимоги до покриттів для авіаційних двигунів, включаючи контроль якості та процеси нанесення; система якості ACE (Achieving Competitive Excellence) (Досягнення Конкурентної Переваги) в процесі нанесення покриттів

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Розділ 1. Проблема поверхневого зміцнення, для підвищення експлуатаційної надійності та якості авіаційних деталей Розділ 2. ТОВ «Paton Turbine Technologies» лідер світового ринку в удосконаленні та адаптації виробництва теплозахисних покриттів.

Розділ 3. Процеси управління якістю нанесення жаростійких захисних покриттів на лопатках турбін авіадвигунів Розділ 4. Охорона праці. Розділ 5. Охорона навколишнього середовища.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Приклади використання поліметалічних шаруватих комбінованих електродіодних покриттів; 2. Зовнішній вигляд робочої лопатки турбіни з типовою розміткою на ділянки; 3. Хімічний склад жаростійкого покриття; 4. Хімічний склад сплаву робочої лопатки; 5. Розташування дефектів покриття на лопатці; 6. Загальний вигляд виробничих площин компанії «Paton Turbine Technologies» : а – цех нанесення покриттів; б – цех ремонту компонентів газотурбінних двигунів; 7. Вигляд лопатки після напрацювання з розгаром на

вхідній кромці (а) та після відновлення для подальшої експлуатації (б).

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Ознайомитися з літературою та сформувавши структуру кваліфікаційної роботи.	2.10-12.10 2024	
2.	Написати вступ	13.10-25.10 2024	
3.	Розробити розділ 1	26.10-12.11 2024	
4.	Розробити розділ 2	13.11-23.11 2024	
5.	Розробити розділи 3 та	20.11-24.11 2024	
6.	Розробити розділи 4 та 5	25.11-27.11 2024	
7.	Сформулювати висновки по роботі.	28.11-30.11 2024	
8.	Оформити кваліфікаційну роботу та здати на рецензію.	01.12-05.12 2024	

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Старший викладач Ірина ЯКИМЕЦЬ	02.10.2024	05.12.2024
Охорона навколишнього середовища	Професор Юрій ОЛЬХОВИК	02.10.2024	05.12.2024

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Мирослав КІНДРАЧУК
(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання _____ Максим ІВАНИЦЬКИЙ
(підпис випускника)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота Максима Іваницького «ПРОЦЕСИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАНЕСЕННЯ ЖАРОСТІЙКИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ЛОПАТКАХ ТУРБІН АВІАДВИГУНІВ» складається із вступу, основної частини, що містять 5 розділів, висновків, списку літератури. Загальний обсяг роботи - ___ сторінок. Робота містить ___ рисунків та ___ таблиць. Список бібліографічних посилань включає ___ джерела.

Ключові слова: ЛОПАТКИ ТУРБІН АВІАДВИГУНІВ, ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ, СИСТЕМА ЯКОСТІ АСЕ (Achieving Competitive Excellence) (Досягнення Конкурентної Переваги)

Об'єкт дослідження – управління процесами нанесення та контролю якості покриттів при відновлення деталей авіаційної техніки.

Предмет дослідження – процеси управління якістю нанесення жаростійких захисних покриттів на лопатках турбін авіадвигунів

Метою дослідження є:

Дослідження процесів управління якістю нанесення жаростійких захисних покриттів на лопатках турбін авіадвигунів.

У відповідності з метою в роботі вирішувались наступні задачі:

- аналіз методів поверхневого зміцнення, для підвищення експлуатаційної надійності та якості авіаційних деталей;
- дослідити процеси управління якістю нанесення жаростійких захисних покриттів на лопатках турбін авіадвигунів на підприємстві ТОВ «Paton Turbine Technologies»;
- дослідити процеси управління якістю модифікованих поверхонь деталей авіадвигунів з використанням системи АСЕ Досягнення Конкурентної Переваги (Achieving Competitive Excellence);
- дослідити та оцінити процеси сертифікації нанесення жаростійких захисних покриттів на лопатках турбін авіадвигунів на підприємстві ТОВ «Paton Turbine Technologies»;

У кваліфікаційній роботі досліджені процеси управління якістю нанесення жаростійких захисних покриттів на лопатках турбін авіадвигунів на підприємстві ТОВ «Paton Turbine Technologies» з використанням системи АСЕ Досягнення Конкурентної Переваги (Achieving Competitive Excellence);

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати під час вдосконалення системи управління якістю методів нанесення покриттів на авіатранспортних підприємствах, при відновленні захисних покриттів на

деталях авіаційної техніки, та під час практичних та теоретичних занять з сертифікації.

ABSTRACT

Maksym Ivanytskyi's qualification work "QUALITY CONTROL PROCESSES OF APPLICATION OF HEAT-RESISTANT PROTECTIVE COATINGS ON AIRCRAFT TURBINE BLADES" consists of an introduction, the main part, containing 5 chapters, conclusions, and a list of references. The total volume of work is ___ pages. The work contains ___ figures and ___ tables. The list of bibliographic references includes ___ sources.

Key words: AIRCRAFT TURBINE BLADES, PROTECTIVE COATINGS, QUALITY SYSTEM ACE (Achieving Competitive Excellence)

The object of the study is the management of coating processes and quality control during the restoration of aircraft parts.

The subject of the study is the quality control processes of applying heat-resistant protective coatings on the blades of turbines of aircraft engines

The purpose of the research is:

Study of processes of quality management of application of heat-resistant protective coatings on turbine blades of aircraft engines.

In accordance with the goal, the following tasks were solved in the work:

- analysis of surface strengthening methods to increase operational reliability and quality of aviation parts;
- to investigate the processes of quality control of application of heat-resistant protective coatings on turbine blades of aircraft engines at the enterprise of Paton Turbine Technologies LLC;
- to investigate quality management processes of modified surfaces of aircraft engine parts using the ACE Achieving Competitive Excellence system;
- to investigate and evaluate the certification processes of application of heat-resistant protective coatings on turbine blades of aircraft engines at the enterprise of «Paton Turbine Technologies LLC»;

In the qualification work, the processes of quality control of applying heat-resistant protective coatings on the blades of aircraft engine turbines at the company LLC "Paton Turbine Technologies" using the ACE system of Achieving Competitive Excellence (Achieving Competitive Excellence) were investigated;

The materials of the qualification work are recommended to be used during the improvement of the quality management system of coating methods at air transport enterprises, during the restoration of protective coatings on parts of aviation equipment, and during practical and theoretical classes on certification.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМА ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ, ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ АВІАЦІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	12
1.1. Класифікація покриттів за призначенням.....	14
1.2. Проблеми поверхневого зміцнення.....	16
1.3. Основні методи поверхневого зміцнення.....	17
1.3.1. Термічна обробка.....	17
1.3.2. Хіміко-термічна обробка.....	18
1.3.3. Механічне поверхнєве зміцнення.....	18
1.3.4. Напилення покриттів.....	19
1.4. Сфера застосування методів поверхневого зміцнення в авіації.....	19
1.4.1. Лопаті турбін.....	20
1.4.2. Вали та шестерні.....	20
1.4.3. Підшипники.....	21
1.4.4. Деталі систем управління та шасі.....	21
1.4.5. Композитні матеріали.....	21
1.4.6. Електричні та гідравлічні системи.....	22
1.5 Якість механічних властивостей лопаток авіаційного двигуна.....	22
1.6 Використання сучасних матеріалів при виробництві та ремонті газотурбінних двигунів.....	27
1.7 Вплив корозійних пошкоджень на експлуатаційні характеристики деталей та вузлів газотурбінних двигунів.....	30
1.8 Аналіз методів підвищення стійкості лопаток турбіни до високотемпературної газової корозії.....	34
Висновки до розділу 1.....	40

РОЗДІЛ 2. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАНЕСЕННЯ ЖАРОСТІЙКИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ.....42

2.1 Удосконалення та адаптація виробництва теплозахисних покриттів в ТОВ «Paton Turbine Technologies»	42
2.1.1 Керамічне електронно-променеве покриття.....	44
2.1.2 Нанесення теплозахисного покриття на робочі лопатки турбіни SGT 800.....	44
2.1.3 Теплозахисні керамічні покриття на різних типах базових сплавів і металевих прошарках.....	45
2.1.4 Сучасний стан підприємства ТОВ «Paton Turbine Technologies»....	46
2.1.5 Іноваційні типи захисних покриттів, розроблених в «Paton Turbine Technologies».....	47
2.1.6 Покриття, отримані методами HVOF та APS (air plasma spray) — плазмового розпилення у повітрі.....	49
2.2 Ремонт компонентів газотурбінних двигунів.....	51
2.3 Система управління якістю підприємства.....	53
2.4 Досягнення Конкурентної Переваги ACE (Achieving Competitive Excellence)	
2.4.1. Характеристики що допомагають визначити якість управління:....	55
2.5 Науково-дослідний відділ організації і координації науково-дослідних робіт Pratt & Whitney – Paton.....	58
Висновки до розділу 2.....	60

РОЗДІЛ 3. ПРОЦЕСИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАНЕСЕННЯ ЖАРОСТІЙКИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ЛОПАТКАХ ТУРБІН АВІАДВИГУНІВ.....62

3.1. Проектування процесів нанесення покриттів при сертифікації.....	62
3.1.1. Початкові данні для проектування.....	62
3.1.2 Моделювання процесів нанесення покриттів.....	64
3.1.3. Побудова групових процесів нанесення покриттів.....	66

3.2. Контроль процесу механічної обробки після нанесення напилених покриттів.....	68
3.2.1 Визначення міцності зчеплення покриттів.....	69
3.2.2 Визначення твердості газотермічних покриттів.....	70
3.2.3 Проведення металографічних обстежень газотермічних покриттів.....	
3.2.4 Задачі та особливості фінішної обробки газотермічних покриттів.....	72
3.3 Рекомендації по зниженню коефіцієнта тертя деяких газотермічних покриттів.....	73
3.4 Контроль якості покриття при промиванні.....	74
3.5 Сертифікація процесів згідно UTCQR-09.1 та PWP-AP C0.08.0021	
Плану контролю процесу.....	76
Висновки до розділу 3.....	77
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	78
4.1. Опис робочого місця, умови праці суб'єкта.....	78
4.2. Перелік шкідливих та небезпечних чинників.....	79
4.3. Організаційні та конструктивно-технологічні методи по зниженню впливу небезпечних та шкідливих факторів виробництва.....	80
4.3.1 Шум і вібрації.....	80
4.3.2 Виробниче освітлення.....	82
4.3.3 Мікроклімат.....	83
4.4. Розрахунок системи загального освітлення методом світлового потоку.....	84
4.4.1. законодавчі і нормативно-правові акти охорони праці.....	84
4.5. Пожежна безпека.....	86
4.6. Інструкція з охорони праці.....	87
Висновки до розділу 4.....	88
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	89
5.1 Забруднення території важкими металами, що входять до складу захисних покриттів на лопатках турбін авіатехніки.....	89

5.2 Вплив шкідливих викидів.....	91
5.3 Електромагнітне випромінювання, його джерела та параметри.....	92
5.4 Вплив шуму на навколишнє середовище та організм людини.....	94
5.5. Методи з боротьби з шумовим забрудненням.....	98
Висновки до розділу 5.....	100
ВИСНОВКИ.....	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	102

ВСТУП

Аналіз методів нанесення покриттів показав, що найбільш перспективними з точки зору якості - ціна є газотермічні покриття, саме керуючи процесом напилення можливо отримання покриття з високими зносостійкими та антифрикційними властивостями. Перевагою газотермічного методу є те, що можливо наносити покриття з будь-яких елементів: порошоків, дротів, гнучких шнурів, а також отримати високі фізико-механічні властивості: висока твердість, міцність зчеплення з основою, висока стійкість.

Застосування методів газотермічного напилення зносостійких і міцних шарів металу на робочі поверхні деталей машин і технологічного оснащення дозволяють не тільки забезпечити їхнє зміцнення, але і вирішити комплекс взаємозалежних технічних і економічних задач, спрямованих на заощадження ресурсів. До таких задач варто віднести зниження питомої металоємності виробу і його елементів на одиницю основної характеристики підвищенням їхньої міцності і зменшенням маси завдяки застосуванню об'ємно і поверхово-зміцнених матеріалів. Відновлення зношених поверхонь методами газотермічного напилення дозволяє сполучити процеси створення нових шарів металу замість зношених, із процесами їхньої зміцнюючої обробки.

В даній кваліфікаційній роботі викладені ключові питання сертифікації процесів нанесення покриттів дослідного центру «Pratt & Whitney – Paton», та його правонаступника «Paton Turbine Technologies». Впровадження сертифікатів та прогресивної технології відновлення деталей авіатехніки газотермічними методами дозволить у відомій мірі підвищити якість нанесення покриттів та удосконалити процес освоєння передових технологій нанесення покриттів у виробничих умовах не тільки підприємств цивільної авіації, але й в інших галузях.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Сертифікація процесов нанесення покриттів це комплексний підхід до підприємства, устаткування і методам нанесення покриттів. Тому проведена

систематизація по класах і групах об'єктів та методів нанесення захисних покриттів застосовуються в авіаційній та машинобудівній промисловості.

2. Показані принципи проектування процесов нанесення покриттів при сертифікації. Автоматизація проектування технологічних процесів передбачає використання сучасних електронних пристроїв як для методів нанесення покриттів так і для контролю їх після нанесення і шліфування.

3. Механічна обробка має дуже важливе значення при сертифікації процесов нанесення покриттів. Механічна обробка є невід'ємна частина технологічного процесу отримання якісних покриттів готових до експлуатації.

Практична значимість роботи полягає в тому, що:

1. Сертифікація процесів напилення захисних покриттів при виробництві складається з комплексного показника де оцінюються чотири блоки об'єктів підтвердження відповідності якості: готова продукція, технологічна система, технічне обслуговування та ремонт, система технічного контролю та випробувань.

2. Впровадження системи якості ACE (Achieving Competitive Excellence) (Досягнення Конкурентної Переваги) в процесі нанесення покриттів дозволить: зосередитись на процесах та даних процесів нанесення; орієнтуватися на вимоги замовників; постійно спрямоватися на усунення прогалин між цілями і фактичними результатами; поліпшати результати роботи компанії.

3. Механічна обробка має дуже важливе значення при сертифікації процесов нанесення покриттів. Механічна обробка є невід'ємна частина технологічного процесу отримання якісних покриттів готових до експлуатації.

Результати отримані в роботі були опубліковані у фаховому журналі «Проблеми тертя та зношування»:

1. Харченко В.В., Гуменюк І.А., Корнієнко А.О., Іваницький М.С. Комбіновані методи інженерії контактних поверхонь трибологічних систем. Проблеми тертя та зношування, 2024. №1 (102), с. - 23-28.

РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМА ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ, ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ АВІАЦІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ

Проблема поверхневого зміцнення авіаційних деталей є критично важливою для забезпечення їхньої довговічності та надійності. Поверхнєве зміцнення спрямоване на поліпшення експлуатаційних характеристик деталей, таких як зносостійкість, корозійна стійкість, твердість і втомна міцність. Це особливо важливо в авіаційній промисловості, де деталі підлягають високим навантаженням, екстремальним температурним режимам і агресивним середовищам.

Відновлення зношених деталей різних машин і механізмів вимагає системного підходу і є складною науковою проблемою. Починаючи з аналізу умов експлуатації деталей, характеру та виду зношування, необхідно визначити доцільні технології відновлення деталей, наприклад, наплавленням, напиленням, гальванічними або іншими методами. У той же час і серед вище названих технологій може бути декілька варіантів, що потребує обґрунтування при їх виборі.

Зростаючі очікування споживачів щодо кількості та якості технічних систем вимагають від експлуатанта підтримки високого рівня експлуатаційної надійності та постійного стимулювання процесу підвищення ефективності. Ці фактори спонукають до впровадження системи проактивного моніторингу та технічного обслуговування, що дозволяє за результатами розробляти заходи, направлені на подовження ресурсу технічних систем. Ключовим фактором організації технічного обслуговування авіаційної техніки світового класу є управління якістю.

Згідно з даними [2] існує більше 150 видів поверхневого зміцнення деталей машин, які можна об'єднати в 21 основних технологічних методах [3], що включають як давно відомі і широко застосовні методи (хіміко - термічну обробку, гальванічні покриття, наплавку та інші), так і нові методи

(лазерну обробку, високотемпературний синтез, гелепокриття та інше). Пріоритетним напрямком у технологічних процесах поверхневого зміцнення авіаційних деталей є комплексні методи, що передбачають як послідовне, так і одночасне використання двох та більшої кількості методів: газотермічне напилення з подальшою лазерною обробкою, поверхневу механотермічну обробку, електромагнітну наплавку з одночасним поверхневим пластичним деформуванням [4].

1.1. Класифікація покриттів за призначенням.

Деталі машин та приладів контактують один з одним і з навколишнім середовищем своїми поверхнями, до властивостей яких висувають специфічні вимоги, що часто не забезпечуються властивостями матеріалу деталі. Так, до тієї чи іншої поверхні виробу або навіть до всього виробу можуть пред'являтися вимоги особливої хімічної стійкості, зносостійкості, високої відбивної здатності, високої електропровідності тощо. Відомі конструкційні матеріали в багатьох випадках такі властивості на необхідному рівні не мають. Іноді економічно вигідніше виготовити деталь з дешевого конструкційного матеріалу, а властивості поверхні забезпечити нанесенням спеціального покриття. Сучасний рівень розвитку машинобудування багато в чому визначається розвитком технологій нанесення покриттів та їх властивостями. За призначенням покриття поділяють на:

- захисні, що забезпечують стійкість об'єкта при взаємодії із зовнішнім середовищем;
- захисно-декоративні, що покращують, крім захисних властивостей, зовнішній вигляд виробу;
- спеціальні, що служать для зміни фізичних властивостей поверхневих шарів виробу (підвищення мікротвердості, зміни коефіцієнта тертя, зміни оптичних, магнітних, електричних та інших властивостей поверхні);
- відновлювальні призначені для відновлення форми та розмірів

поверхонь зношених деталей або деталей із виправним браком (за формою та розмірами); часто відновлювальні покриття виконують одночасно захисні функції;

– конструкційні покриття виконують у виробі роль конструктивного елемента: тонкоплівкові шари у виробках мікро- та радіоелектроніки (інтегральні мікросхеми, напівпровідникові елементи та ін.), резистори та ін. утворюють самостійний виріб, наприклад коркові деталі тугоплавких матеріалів, одержувані напиленням;

– технологічні покриття не несуть будь-яких функцій у виробі та є допоміжними на певних етапах та операціях виготовлення виробу.

В залежності від матеріалу, що наноситься, покриття ділять на:

- металеві;
- неметалічні неорганічні (хімічні сполуки – оксидні, фосфатні, силікатні, фторидні тощо).
- органічні (лакофарбові, полімерні, рослинні, смоли, жива тканина);

Матеріал, який поєднує всі компоненти в єдине ціле і в основному визначає технологічні особливості виготовлення виробів із композитних матеріалів (КМ), називають матрицею. Композитні матеріали класифікують по природі матриці наступним чином:

- 1) полімерні КМ (ПКМ) – це всі види КМ, поєднуючим компонентом в яких є полімерний матеріал, наприклад, епоксидна смола;
- 2) металокомпозити (МКМ) – всі компоненти об'єднані між собою металевою матрицею, наприклад, КМ алюміній-вольфрам;
- 3) керамічні та скляні КМ (ККМ, СКМ), наприклад, скло або абразивний диск, армовані сталеву сіткою;
- 4) вуглецеві КМ (ВКМ), зв'язуючим компонентом в яких є одна із модифікацій вуглецю, наприклад, кокс, графіт тощо.

1.2. Проблеми поверхневого зміцнення

Втомна міцність (Fatigue Strength) — це здатність матеріалу витримувати циклічні навантаження без руйнування. Втомна міцність визначається як максимальне навантаження, яке матеріал може витримати при циклічному навантаженні протягом великої кількості циклів.

Втомна міцність є критично важливим аспектом для багатьох конструкцій і компонентів, включаючи авіаційні деталі. Вона визначає здатність матеріалу витримувати циклічні навантаження без розвитку тріщин і зламів. Зниження міцності поверхневих шарів через втомні навантаження може призвести до тріщин і зламу деталей. Це особливо критично для деталей, які підлягають циклічним навантаженням, як у випадку з двигунами.

Важливість втомної міцності в авіаційних деталях:

- постійні циклічні навантаження - авіаційні деталі, такі як лопатки турбін, компресори і шасі, зазнають постійних циклічних навантажень через роботу двигунів і аеродинамічні сили.

- втомна тріщина - низький рівень втомної міцності може призвести до виникнення тріщин, які можуть швидко прогресувати і привести до руйнування деталей.

Безпека і надійність: втомна міцність є критичним параметром для забезпечення безпеки і надійності авіаційної техніки.

Зносостійкість: високий рівень зносу на поверхні деталей може викликати швидке зношування і потребу в частій заміні компонентів.

Корозійна стійкість: висока вологість, агресивні хімічні середовища та температурні перепади можуть викликати корозію, що веде до деградації матеріалу та зменшення терміну служби.

Термічна стабільність: деталі, що працюють при високих температурах, можуть піддаватися термічній деформації або змінам властивостей матеріалу.

Контроль якості: забезпечення однорідності і якості поверхневого зміцнення може бути складним завданням, яке вимагає точного контролю

технологічного процесу.

1.3. Основні методи поверхневого зміцнення

Поверхнєве зміцнення відіграє ключову роль у підвищенні механічних властивостей деталей авіаційної техніки. Існує кілька основних методів зміцнення, кожен з яких має свої переваги залежно від конкретних умов експлуатації та матеріалів. Ось детальний огляд основних методів:

1.3.1. Термічна обробка

Цей метод передбачає зміну мікроструктури матеріалу за допомогою нагрівання та швидкого охолодження, що дозволяє підвищити твердість і міцність поверхні деталі.

Гартування: процес нагріву до високих температур з подальшим швидким охолодженням. Це призводить до утворення фаз, таких як мартенсит, які підвищують твердість матеріалу.

Відпуск після гартування: після гартування матеріал піддається відпуску, що дозволяє зняти внутрішні напруження, підвищуючи в'язкість без значного зниження твердості.

Термічна обробка використовується для зміцнення деталей, які зазнають великих динамічних навантажень, таких як вали, шестерні та осі.

1.3.2. Хіміко-термічна обробка

Цей метод полягає в насиченні поверхні деталі різними хімічними елементами, такими як вуглець, азот або бор, які змінюють її хімічний склад і підвищують зносостійкість, корозійну стійкість і твердість.

Цементация: процес насичення поверхні вуглецем при високих температурах. У результаті утворюється шар цементованого матеріалу, який має високу твердість і зносостійкість. Цементация використовується для зміцнення валів, шестерень і інших деталей, які зазнають тертя.

Азотування: насичення поверхні азотом при температурах нижче точки плавлення матеріалу. Це забезпечує високу твердість і стійкість до корозії без потреби в подальшій термічній обробці. Використовується для деталей, які потребують високої корозійної стійкості, наприклад, лопаті турбін.

Борування: насичення поверхні бором, що утворює надзвичайно твердий боридний шар. Цей метод забезпечує відмінну стійкість до зношування і підходить для деталей, що працюють у дуже агресивних середовищах.

1.3.3. Механічне поверхнєве зміцнення

Ці методи включають вплив на поверхню деталі механічними засобами для підвищення її міцності та втомної витривалості.

Дробеструминна обробка: поверхня деталі піддається удару дрібними частками (дробом), що створює залишкові стискальні напруження. Це підвищує стійкість до втоми та зношування.

Прокатка поверхні: це механічна обробка, яка викликає пластичну деформацію поверхні за рахунок прокатки роликками або кульками. В результаті утворюються зміцнені шари, що підвищують стійкість до втомних руйнувань.

Ультразвукове зміцнення: використовується ультразвукова енергія для створення високочастотних механічних коливань, що призводить до пластичної деформації поверхневого шару і підвищення його твердості.

1.3.4. Напилення покриттів

Методи напилення покриттів забезпечують нанесення спеціальних матеріалів на поверхню деталі для покращення її механічних властивостей та стійкості до впливу зовнішніх факторів.

Плазмове напилення: це метод нанесення матеріалу на поверхню за допомогою плазмової дуги, що дозволяє створювати покриття з кераміки, карбідів або металів. Використовується для зміцнення лопатей турбін та інших деталей, які працюють в умовах високих температур.

Електролітичне осадження: процес електролітичного осадження металів,

таких як хром або нікель, на поверхню деталі. Це підвищує корозійну стійкість та твердість.

Термічне напилення: метод нанесення матеріалу на поверхню за допомогою високотемпературного факела. Забезпечує зносостійкість та стійкість до високих температур.

Кожен з методів поверхневого зміцнення має свої переваги та недоліки, тому вибір оптимальної технології залежить від умов експлуатації деталей, їх конструктивних особливостей та матеріалів.

Поверхнєве зміцнення полягає у створенні на поверхні деталі шару з підвищеними механічними властивостями, таких як твердість, стійкість до зношування та корозії.

1.4. Сфера застосування методів поверхневого зміцнення в авіації

Авіаційна техніка працює в умовах, що вимагають від деталей високої надійності, міцності та стійкості до різноманітних механічних і фізичних впливів. Через постійні високі навантаження, температурні коливання, корозійні середовища та зношування, застосування методів поверхневого зміцнення є життєво необхідним для забезпечення тривалої та безперебійної експлуатації літальних апаратів. Розглянемо основні сфери застосування поверхневого зміцнення в авіації.

1.4.1. Лопаті турбін

Лопаті турбін є одними з найбільш критичних компонентів авіаційних двигунів, які зазнають високих температур і тиску в умовах агресивного середовища. Вони працюють при температурі понад 1000°C, тому дуже вразливі до зношування та корозії. Для збільшення їх довговічності використовують такі методи поверхневого зміцнення:

Термічне напилення: використовується для нанесення захисних покриттів на основі карбідів, нітридів або оксидів, які підвищують стійкість до термічного зношування і корозії.

Іонне азотування: забезпечує утворення зміцненого шару, стійкого до високих температур і механічних пошкоджень.

Алитування (насичення алюмінієм): застосовується для підвищення термостійкості та стійкості до окислення при високих температурах.

1.4.2. Вали та шестерні

Вали й шестерні є важливими частинами трансмісійних систем авіаційної техніки, де постійно зазнають механічного навантаження та зносу через тертя. Поверхнєве зміцнення дозволяє значно покращити їх механічні властивості, продовжуючи термін експлуатації.

Цементация: створює твердий поверхневий шар, що підвищує зносостійкість і стійкість до втомних руйнувань, зберігаючи при цьому міцність основи.

Індукційне загартування: забезпечує високу твердість поверхні з одночасним збереженням пластичності серцевини деталі, що дозволяє ефективно витримувати динамічні навантаження.

Прокатка поверхні: створює залишкові стискальні напруження, що підвищують опір деталей до втомних навантажень і збільшують їх довговічність.

1.4.3. Підшипники

Підшипники мають забезпечувати мінімальний коефіцієнт тертя між рухомими частинами авіаційних систем. В умовах авіації вони піддаються високим швидкостям обертання і великим навантаженням, тому потребують зміцнення для запобігання передчасному зносу.

Азотування: підвищує твердість поверхні, що знижує зношуваність підшипників і збільшує їх опір втомним руйнуванням.

Хромування: забезпечує високу стійкість до тертя і корозії, що є важливим для деталей, що працюють у важких умовах.

Плазмове напилення: використовується для нанесення покриттів з високою

зносостійкістю, що зменшує вплив абразивного зношування.

1.4.4. Деталі систем управління та шасі

Системи управління літаком, такі як механізми керування елеронами, закрилками, а також шасі, піддаються значним навантаженням під час польоту та посадки, тому необхідно підвищувати їх стійкість до корозії, тертя та механічних пошкоджень.

Хіміко-термічна обробка (борування, азотування): створює зміцнений поверхневий шар, що підвищує стійкість до корозії та зношування.

Електролітичне покриття (хромування, нікелювання): забезпечує захист від корозії та підвищує механічну стійкість, що є критично важливим для довготривалої експлуатації.

Дробеструмінна обробка: підвищує втомну витривалість деталей, що особливо важливо для шасі, яке зазнає високих ударних навантажень при посадці.

1.4.5. Композитні матеріали

У сучасних літаках широко використовуються композитні матеріали, зокрема, у конструкціях фюзеляжів, крил і інших частин. Методи поверхневого зміцнення можуть використовуватися для покращення їхніх характеристик.

Нанесення захисних покриттів: напилення полімерних або металевих покриттів на композитні матеріали для підвищення їх стійкості до ультрафіолетового випромінювання, тертя і впливу хімічно агресивних речовин.

Плазмове та іонне напилення: забезпечують створення міцних покриттів, які захищають композитні елементи від зношування та корозії.

1.4.6. Електричні та гідравлічні системи

Деталі, що входять до складу електричних та гідравлічних систем літака, також піддаються впливу корозійних середовищ та механічних навантажень, тому вони потребують спеціального захисту для забезпечення довговічності та безперебійної роботи.

Електролітичне осадження (нікелювання): забезпечує високу корозійну стійкість і зносостійкість деталей гідравлічних систем.

Фосфатування: створює захисний шар, що підвищує стійкість до корозії та зменшує коефіцієнт тертя.

1.5 Якість механічних властивостей лопаток авіаційного двигуна

Проблема забезпечення на всіх етапах виробництва якості лопаток авіаційного двигуна є актуальною та економічно обґрунтованою. Робочі лопатки ротора є головною складовою газової турбіни, що визначають експлуатаційну надійність та забезпечують економічність та інші показники роботи авіадвигунів. Використання сучасних жароміцних сплавів на нікелевій та нікель-кобальтової основі для робочих лопаток газової турбіни авіаційних ГТД без використання жаростійких покриттів - недостатньо, тому для теплонавантажених деталей газової турбіни використання жаростійких покриттів для захисту від хімічного руйнування поверхні під впливом газової корозії є головною вимогою. Якщо на ранніх етапах розвитку авіаційних ГТД температура газів перед газовою турбіною становила від 600 °C до 800 °C, що за наявності дефектів покриття не дуже впливало на довговічність робочої лопатки турбіни в процесі експлуатації, то вже з подальшим розвитком авіаційних ГТД ця температура значно підвищилась від 1200 °C до 1400 °C і вище, що з урахуванням наявності дефектів покриття дуже критично впливає на довговічність робочих лопаток та є неприпустимим в умовах авіадвигунобудування. Найбільш поширеною технологією нанесення жаростійких покриттів є фізичне осадження металів в вакуумі (PVD - physical vapor deposition) з використанням катодів, які випаровуються. Найефективнішими і найпоширенішими жаростійкими покриттями є покриття на основі нікелю, кобальту та алюмінію. Якість нанесеного покриття залежить від адгезії, його щільності, рівномірного розподілу хімічного складу та структури. Катод, що випаровується, повинен забезпечити формування покриття з

необхідними властивостями, які значною мірою залежать від якості виготовлених катодів. У процесі експлуатації катодів низької якості існує ймовірність утворення неприпустимих дефектів покриття на поверхні лопаті, після чого необхідно доопрацювання деталі.

Робочі лопатки турбін, в яких однією з фінішних операцій є нанесення жаростійкого іонно-плазмового покриття, виготовляють для ротора ТВД авіаційного двигуна АІ-222 та його модифікацій. Зовнішній вигляд лопатки наведено на рисунок 1.2.

На нікелевий жароміцний сплав ЖС32-ВІ методом іонно-плазмового осадження на серійній установці АПН-250 з використанням серійного катоду, що випаровується, виготовленого методом вакуумно- індукційної плавки наноситься покриття типу Ni-Cr-Al-Y. Матеріал лопатки та хімічний склад покриття наведено у табл. 1.1 та табл. 1.2.



Рис. 1.2 - Зовнішній вигляд робочої лопатки турбіни з типовою розміткою на ділянки

Табл. 1.1

Хімічний склад жаростійкого покриття по даним підприємства, мас. %

Марка сплаву	Вміст хімічних елементів, мас. %			
	Ni	Al	Cr	Y
СДП-2	Осн.	11,0.14,0	18...24	0,4...1,0

Табл. 1.2

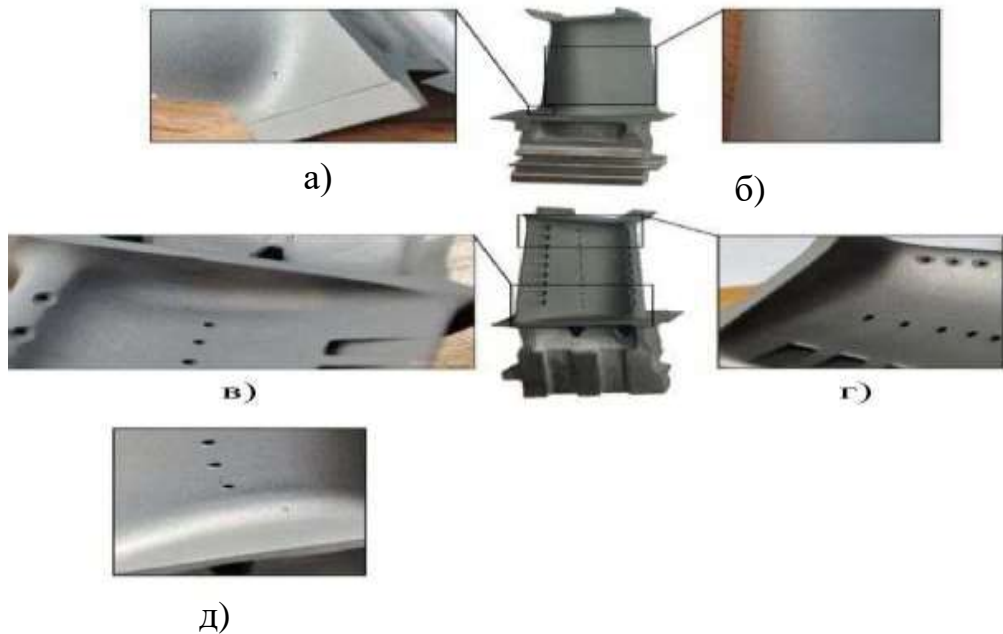
Хімічний склад сплаву робочої лопатки, мас. %

Марка сплаву	C	Cr	Co	W	Mo	Ti	Al	Nb	V
ЖС-32	0,12.0,17	4,1.5,3	8,7.9,3	10,0.12,0	0,9.1,3	0,8.1,2	5,6.6,1	1,4.1,8	0,8 1,2

Покриття повинно мати задовільну адгезію для забезпечення достатньої міцності зчеплення з поверхнею лопатки. Необхідну адгезію покриття забезпечує активування поверхні лопатки та дифузійна зона між покриттям та лопаткою після проведення дифузійного відпалу нанесеного покриття. Окрім адгезії, покриття повинно мати задовільну шорсткість поверхні робочої лопатки, що впливає на параметри авіаційного двигуна в цілому. Необхідну шорсткість поверхні забезпечує рівномірне випаровування та конденсації матеріалу процесі нанесення покриття, та зменшення кількості крапельної фази на поверхні покриття лопатки. Дефектами покриття, які не допускаються у зв'язку впливають на шорсткість поверхні лопатки, є одиничні (рис. 1.3, а) та групові (рис. 1.3, б) набризкування матеріалу, рихлоти поверхні (рис. 1.3, в) та дефекти типу «волосина» (рис. 1.3, г), наявність кратерів на поверхні покриття за рахунок випадання краплі випаровуємо матеріалу (рис. 1.3, д). На сьогоднішній день близько 20 % робочих лопаток від загальної кількості потребують доопрацювання через наявність дефектів жаростійкого покриття, які не допускаються, що утворюються під час напилення.

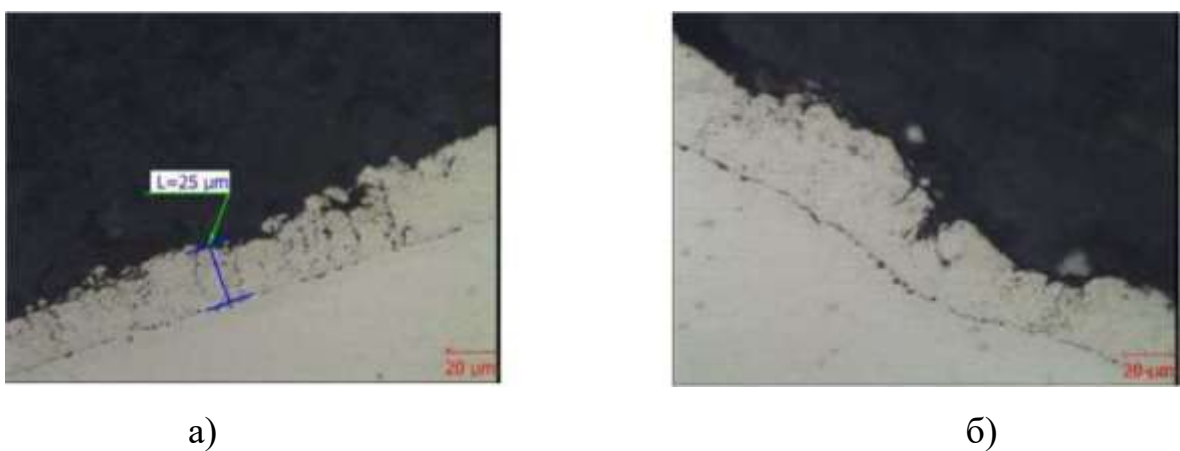
Виконаний мікроструктурний аналіз (рис.1.4) у місці виявлення дефектів

покриття потверджує, що причиною їх виникнення не може бути незадовільна адгезія покриття з поверхнею лопатки у разі порушення технології підготовки лопаток під напилення. Необхідно проаналізувати локальність розташування дефектів покриття, для цього відносно форми лопаті зроблено типову розмітку на зони (див. рис. 1.5).



а - одиничні набризкування матеріалу; б - групові набризкування матеріалу; в - рихлоти поверхні; г - дефект типу «волосина»; д - кратери на поверхні покриття.

Рис. 1.3 - Зовнішній вигляд дефектів покриття робочої лопатки



а - перо лопатки; б - бандажна полка.

Рисунок 1.4 - Мікроструктурний стан жаростійкого покриття в місцях

виявлення дефектів

Проведений аналіз (табл. 1.6) вказує на те, що дефекти мають хаотичне розташування щодо лопатки під час напилення, тим самим підтверджуючи те, що механічна частина установки (обертання лопаток) ніяк не впливає на масовий перенос матеріалу катоду, що випаровується, та ні як не може бути причиною виникнення дефектів покриття. Конкретної зони виникнення дефектів не визначено, тому необхідно вивчення та аналіз конструкції для нанесення покриття.

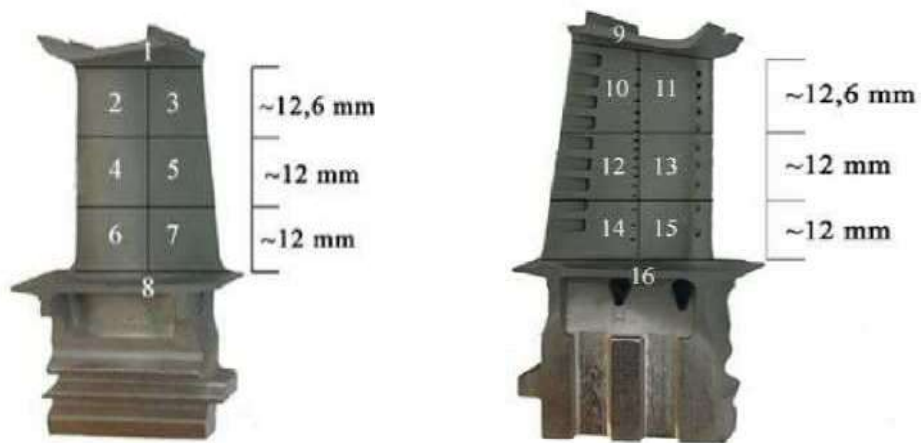


Рисунок 1.5 - Робоча лопатка з типовою розміткою на зони

Табл. 1.3

Розташування дефектів покриття лопатці

№ п/п	Ділянка дефекту, «+» - наявність дефекту покриття															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-
2	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+
3	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
4	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+
5	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+
6	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Разом	1	1	1	1	1	2	0	1	0	1	2	1	2	1	2	3

1.6 Використання сучасних матеріалів при виробництві та ремонті газотурбінних двигунів

Особливу роль при конструюванні нового газотурбінного двигуна грає вибір матеріалу деталей газового тракту і, зокрема, лопаток турбіни. Найбільш поширеними сплавами для виробництва лопаток турбін є жароміцні сплави нікелеві різних систем легування. Насамперед необхідно виділити сплави групи ЖС (ЖС32, ЖС32ВІ, ЖС6У та ін.), що мають необхідні жароміцні характеристиками. При цьому основним недоліком таких матеріалів є їх висока питома вага, що становить близько 8 г/м^3 .

Стосовно лопаток турбіни високого тиску проблема великої ваги деталей може бути вирішена шляхом заміни матеріалу на інтерметалідні сплави на основі алюмінідів нікелю, розробкою яких зараз займаються науково-дослідні інститути. З іншого боку, для лопаток турбін низького тиску ГНТ за рахунок роботи при нижчих температурах (до $900 \text{ }^\circ\text{C}$) доцільним є застосування матеріалів, основу яких складають алюмініди титану.

Інтерметалідні сплави системи Ti-Al - це широкий клас матеріалів, дослідження та розробка яких проводяться з 70-х років ХХ століття. На даний момент можна виділити три основні групи таких сплавів:

1. α_2 - сплави: на основі фази $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}$;
2. γ - сплави: на основі поєднання фаз $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}$ та $\gamma\text{-TiAl}$;
3. Орторомбічні сплави: на основі θ -фази Ti_2AlNb .

Найбільше практичне застосування, а також ступінь вивченості мають сплави другої групи, основні етапи розробки яких представлені в табл. 1.4.

Ці сплави є перспективними з позиції їх застосування для деталей авіаційної техніки, оскільки вони мають унікальну комбінацію механічних властивостей при низькій питомій вазі (порядку $3,9\text{-}4,2 \text{ г/см}^3$). Зокрема, розроблені матеріали мають: високу температуру плавлення, стійкість до окислювання та корозії, меншу повзучість через нижчий коефіцієнт самодифузії, високу питому міцність. Однак жаростійкість цієї групи сплавів значно поступається сучасним нікелевим сплавам типу ЖС (ЖС6У, ЖС32, тощо), а їх застосовність для деталей ГТД обмежується

температурним крихко-в'язким переходом, який становить, залежно від структури та легуючих компонентів для γ -TiAl сплавів, близько 700-800 °С.

Табл. 1.4

Основні етапи розробки γ -TiAl сплавів

Роки	Розробник	Склад сплавів, ат.%
1988-1993	General Electric, США	Ti-(47-48)Al-2(Cr або Mn)-2Nb
1999-2005	GKSS, Німеччина	Ti-(45-46)Al-(5-10)Nb-(0-0.4)C,B
2005-2010	GKSS, Німеччина	Ti-(42-45)Al-(2.5-7)(Nb,Mo,Cr)-(0.2-0.4)B

Результати дослідження впливу температури на механічні властивості γ -сплаву TNM-B1 з розміром зерна до 40 мкм, підтверджують наявність плавного переходу в зазначеному інтервалі температур (рис. 1.6).

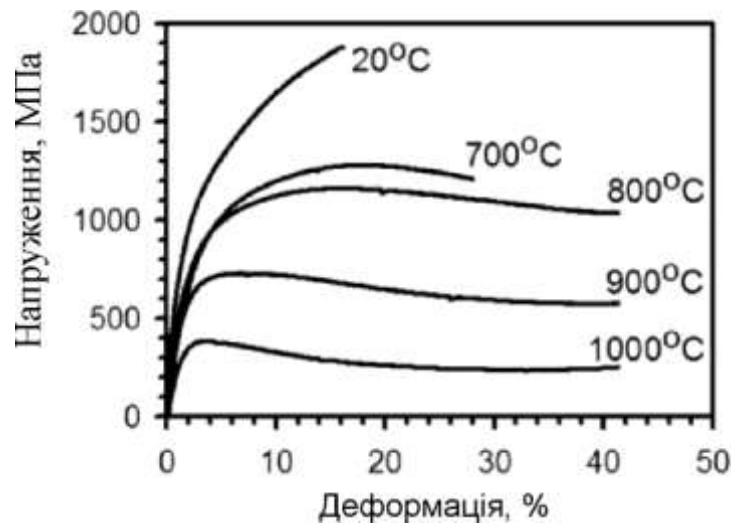


Рисунок 1.6 - Криві σ - ϵ при різних температурах сплаву TNM-B1.

Для групи γ -сплавів в основному можна виділити три основні види структур пластинчаста, глобулярна, дуплексна. Дослідженнями встановлено, що найбільшою жароміцністю, близькою до сучасних нікелевих сплавів, мають γ -TiAl сплави, що мають повністю пластинчасту структуру з високою щільністю напівкогерентних пластів γ/γ_2 і γ/α_2 фаз, проте для таких сплавів характерна дуже

низька пластичність ($5 < 0,5 \%$) за кімнатної температури.

Поєднання у сплаві у і a_2 фаз підвищує тріщиностійкість виробів у порівнянні з чистими сплавами на основі у фази, але при цьому дещо знижує стійкість до високотемпературної газової корозії через меншу концентрацію алюмінію. Як показали дослідження, підвищити пластичність таких сплавів при досягненні достатньої міцності можна шляхом проведення складної ступінчастої термічної обробки.

Іншою перспективною групою титан-алюмінієвих сплавів, що активно розроблялися на початку 1990-х років, є орторомбічні сплави. Основною перевагою даної групи сплавів є дещо краще поєднання властивостей при кімнатній температурі, зокрема вища пластичність (відносно подовження може досягати за певної структури до 18 %).

У той же час, по ряду параметрів орторомбічні сплави поступаються у - сплавам. Основним обмежуючим фактором у цьому випадку виступає стабільність структури та пов'язаних з нею механічних властивостей за високої температури. Максимальна робоча температура орторомбічних сплавів нижче на 50-90 °С, ніж Y-сплавів у зв'язку зі зниженням властивостей міцності, викликаних змінами у фазовому складі.

Ряд суттєвих обмежень, пов'язаних з високою складністю отримання оптимальної структури та хімічного складу матеріалу для забезпечення цілого комплексу необхідних механічних властивостей (що особливо актуально для лопаток ГТД, що працюють при підвищених температурах), значно ускладнює виробництво відповідальних важко навантажених деталей, що виготовлені із інтерметалідних матеріалів на основі алюмінідів титану. Незважаючи на це, існує цілий ряд прикладів успішного використання даних матеріалів для лопаток турбін авіаційних ГТД.

Таким чином, можна стверджувати, що на даний момент не є можливим застосування даних матеріалів для лопаток турбін високого тиску, а також для перших ступенів турбін низького тиску сучасних авіаційних двигунів через високу температуру газового потоку (не нижче 1000 °С навіть перед турбіною низького

тиску) без застосування спеціальних методів захисту, таких як створення сучасних систем охолодження лопаток або застосування спеціальних жаростійких та теплозахисних покриттів.

1.7 Вплив корозійних пошкоджень на експлуатаційні характеристики деталей та вузлів газотурбінних двигунів

Високотемпературна корозія значно впливає на пошкоджуваність лопаток турбіни, знижуючи їх ресурс і зменшуючи таким чином міжремонтне напрацювання двигуна і його надійність. Особливо пошкодження поверхневого шару внаслідок зазначених процесів знижує втомну міцність робочих лопаток ГТД, що пояснюється виникненням концентраторів напружень. Присутність відкладень (золи) на поверхні призводить до значного зниження їх довговічності, зокрема при напруженні в 320 МПа спостерігається зниження довговічності за критерієм втомної міцності до 10 разів у присутності золи на поверхні зразків, а за критерієм тривалої міцності до 2-3 разів (залежно від матеріалу).

Зміна розрахункової геометрії профілю, викликане корозійним пошкодженням поверхні при тривалій експлуатації, також є причиною розбалансування ротора та зміни характеру режиму коливання лопаток, що також призводить до зниження їх втомної міцності.

Крім іншого, корозійні ушкодження лопатки впливають і на ряд інших суттєвих характеристик ГТД, що обумовлено зміною геометрії профілю лопаток турбіни внаслідок пошкодження поверхневого шару деталі внаслідок наявності хімічних процесів між матеріалом лопатки та агресивними компонентами навколишнього середовища (рис. 1.7 та 1.8). Невідповідність геометрії профілю робочих лопаток, щодо розрахункових, негативно позначається на характеристиках виробу загалом. Дослідження та результати експлуатації вказують на те, що, навіть відхилення геометрії профілю від розрахункової на мікрорівні, пов'язане з погіршенням шорсткості з 4 до 40 мкм, знижує ККД окремої ступені турбіни на величину до 0.5 - 1 %.

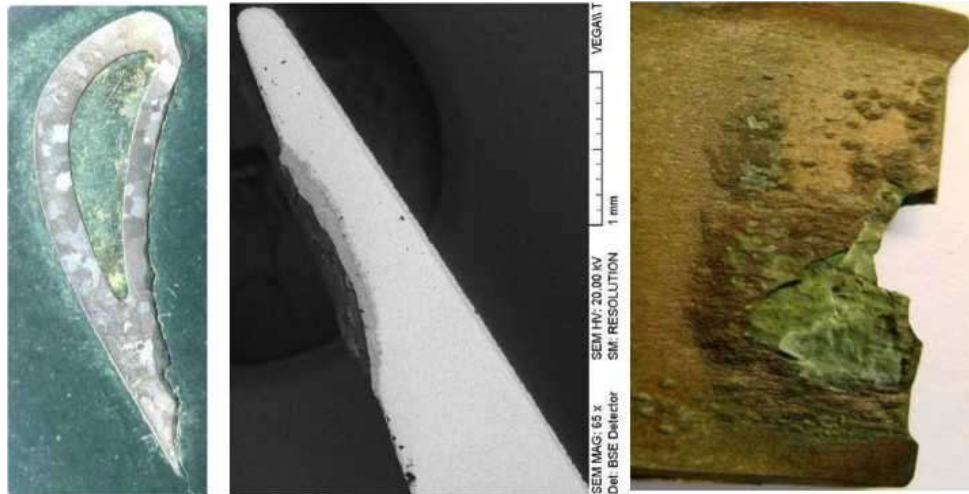


Рис. 1.7 - Зміна геометрії профілю лопаток двигуна ТВЗ-117 після експлуатації

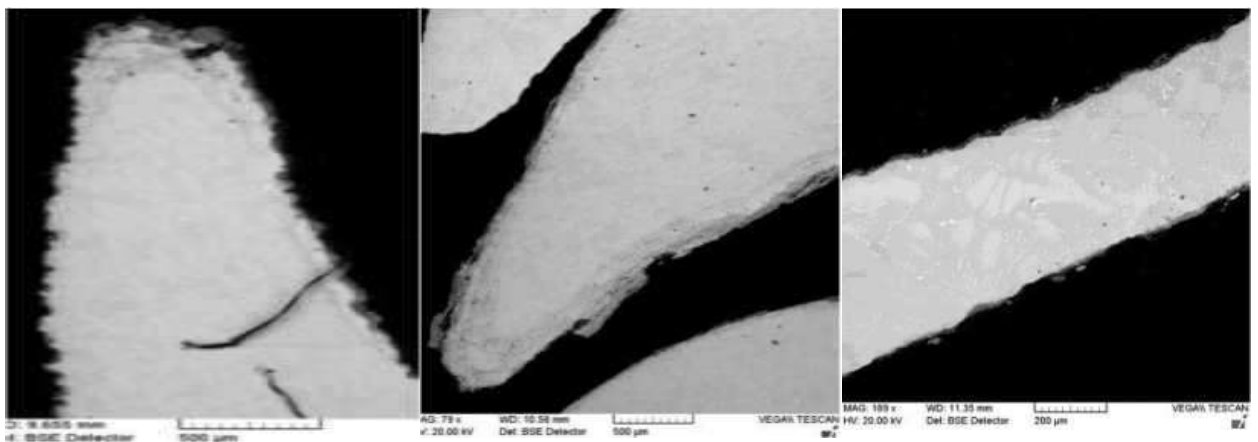


Рисунок 1.8 - Зміна геометрії профілю лопаток двигуна ТВЗ-117 після випробувань за умов високотемпературної корозії

Також зазначається, що зміна геометрії профілю в результаті пошкодження поверхневого шару лопатки та його забруднення корозійними нашаруваннями призводить також до зростання витрати палива.

Значний вплив корозійних пошкоджень лопатки позначаються на аеродинамічних параметрах лопатки.

Зокрема, в окремих роботах були проведені випробування на динамічному повітряному стенді. Зазначається, що у результаті зміни геометрії проточної частини лопатки (наприклад, зміна профілю вихідної кромки, показане на рисунку 1.9 та 1.10) змінюється і кут виходу потоку газу, що позначається на таких параметрах як ККД ступені, витраті газу, а також впливає на осьове зусилля, що діє на робочі лопатки турбіни (рис. 1.9 та 1.10).

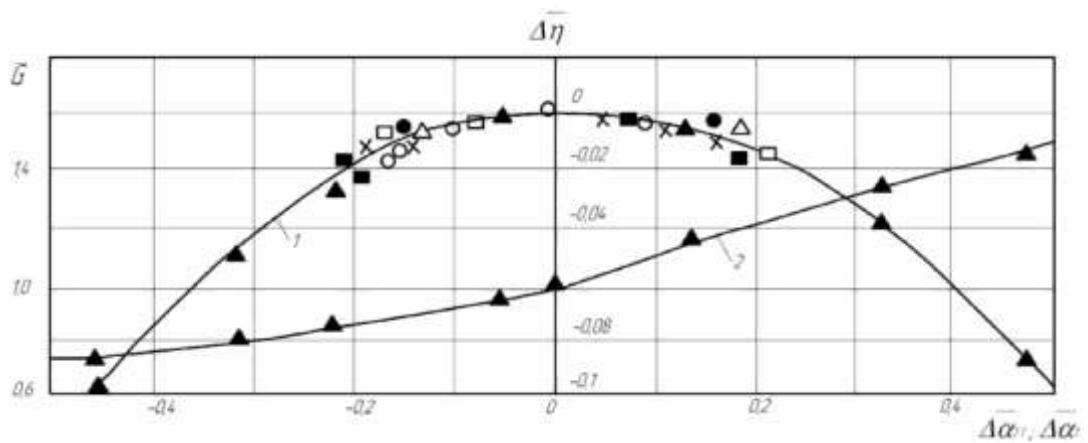


Рисунок 1.9 - Залежність внутрішнього ККД (1) та питомої витрати робочого тіла у турбіні (2) від величини зміни кута виходу потоку газу (Да)

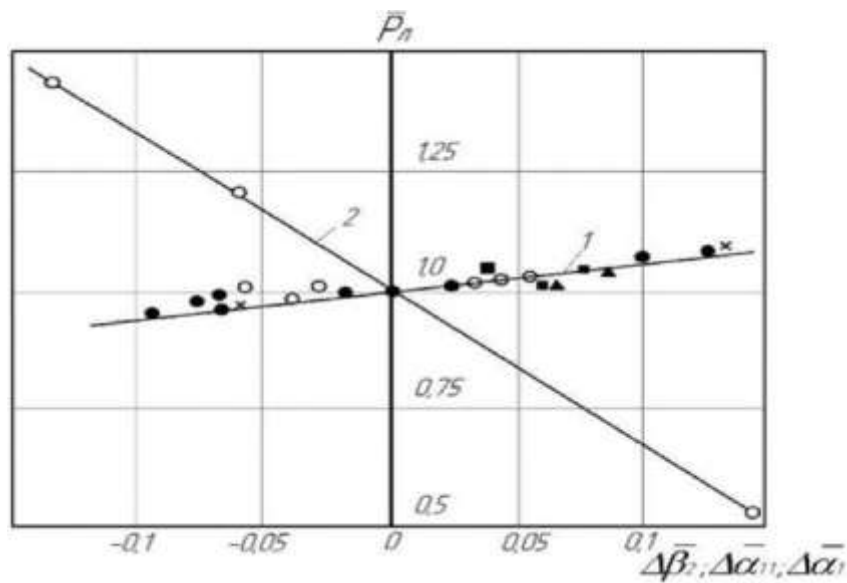


Рисунок 1.10 - Вплив зміни кута виходу потоку газу на осьове зусилля на робочу лопатку турбіни

Значний вплив також надає зміна макрогеометрії в зоні вхідної кромки. Подібні ушкодження (рис. 1.11) призводять до зміни кута потоку газу на вході в решітку, що обумовлює зміну кута атаки та зниження ефективності роботи турбіни за рахунок збільшення профільних втрат окремих ступенів.

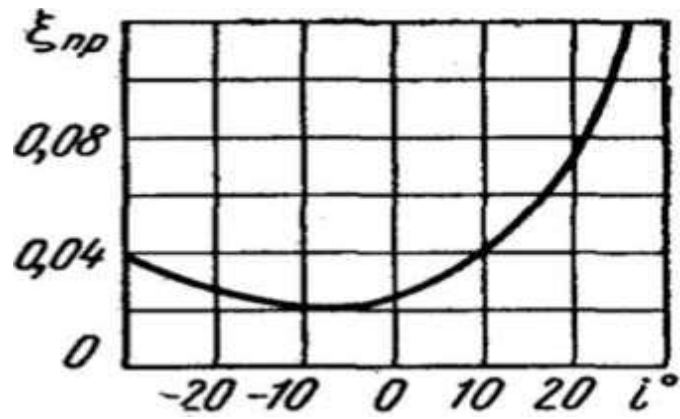


Рисунок 1.11 - Вплив зміни кута атаки на коефіцієнт профільних втрат

Корозійні процеси, що відбуваються на поверхні лопаток турбін можуть призвести до зменшення товщини профілю лопатки і радіусу вхідної кромки, це призводить до зниження ККД ступеня турбіни (рис. 1.12), а також зменшує ефективний переріз і таким чином знижує тривалу міцність лопатки.

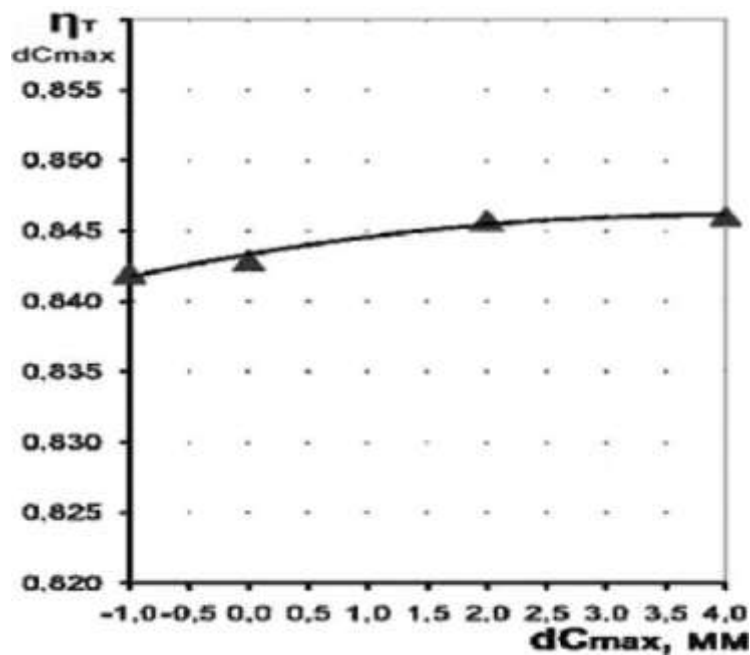


Рисунок 1.12 - Вплив зміни максимальної товщини профілю робочої лопатки на ККД ступеня турбіни

1.8 Аналіз методів підвищення стійкості лопаток турбіни до високотемпературної газової корозії

1.8.1 Методи підвищення стійкості лопаток турбіни до високотемпературної газової корозії

Нанесення захисних покриттів є одним із основних методів протидії високотемпературній газовій корозії поверхні лопаток турбін та компресора авіаційних газотурбінних двигунів

Згідно з наявною класифікацією всі захисні покриття поділяються на дифузійні та конденсаційні.

Дифузійні покриття наносяться за технологією дифузійного насичення матеріалу поверхні лопаток. При цьому на поверхню лопатки наносять певним способом шар стійкішого до високотемпературної газової корозії матеріалу і проводять термічну обробку при високій температурі. В результаті поверхневий захисний шар являє собою суміш (дифузійну зону) вихідного матеріалу і корозійностійкого матеріалу. Залежно від методу нанесення захисного шару можна виділити твердофазне дифузійне насичення з порошків, шлікерний метод, гаряче занурення в розплав, зольгель метод, хімічне осадження з парової фази (CVD-метод), та інші.

При нанесенні конденсаційних покриттів на поверхні формується захисний шар, склад якого залежить від матеріалу підкладки. При цьому залежно від конкретної технології нанесення захисного покриття може передбачатися термічна обробка після нанесення покриття (зокрема, високотемпературний відпал у вакуумі). Аналогічно першому типу покриттів при нанесенні конденсаційних покриттів між покриттям та вихідним матеріалом утворюється дифузійна зона. Найбільшого поширення набули методи іонно-плазмового напилення у вакуумі, газополум'яного та електронно-променевого напилення. газотермічного плазмового напилення на повітрі.

Цілий комплекс вимог є і до захисних покриттів для лопаток турбін і компресорів. Крім забезпечення зниження швидкості корозійних процесів порівняно з вихідним матеріалом, захисні покриття повинні мати термічну стабільність хімічного складу і структури, достатню міцність зчеплення з поверхнею підкладки, відповідний коефіцієнт

термічного розширення, термічну стабільність хімічного складу і структури,

При цьому технології формування покриттів повинні забезпечувати відсутність дефектів в поверхні і забезпечувати доцільну економічність процесу нанесення покриття.

Аналіз існуючих методів отримання багатокомпонентних захисних конденсаційних покриттів показує, що найбільш прийнятними стосовно лопаток авіаційних двигунів є:

- а) методи випаровування матеріалів у вакуумі (вакуумно-дуговий метод);
- б) плазмове напилення на повітрі.

Зазначається, що електронно-променева технологія має невисоку відтворюваність параметрів покриття, що є наслідком великої кількості параметрів випаровування, які важко контролювати. Це в свою чергу призводить до високої складності та ціни обладнання.

Детонаційне напилення не забезпечує необхідної точності і якостей покриття (таких як елементний та фазовий склад, товщина).

Незважаючи на невисоку точність і якість поверхні, що забезпечуються при реалізації напилення покриття плазмовим методом на повітрі, цей метод має дуже високу простоту, надійність і продуктивність, що обумовлює область його застосування для нанесення жаростійких покриттів товщиною понад 60...100 мкм на лопатки турбін. Інші важливі переваги даного методу, порівняно з вакуумно-дуговим, детонаційним та газополум'яними методами формування покриттів:

- а) можливість отримання покриттів із будь-яких матеріалів без обмеження за температурою плавлення;
- б) нанесення покриттів на деталі будь-яких розмірів, а також локальне формування покриттів;
- в) невисокий термічний вплив на поверхню деталі;
- г) можливість керування умовами формування покриттів, енергетичним

станом частинок шляхом гнучкого регулювання режимів роботи плазматрону.

З іншої сторони, основними перевагами вакуумно-дугового методу є: а) висока точність та відтворюваність процесу;

б) низька пористість одержуваних покриттів;

в) можливість реалізації іонного очищення поверхні необхідної для підвищення структурної стабільності і адгезії покриття;

г) невисока шорсткість поверхні.

До недоліків процесу можна віднести високу складність і вартість обладнання - в середньому вище в 3...5 разів у порівнянні з методом твердофазного дифузійного насичення поверхні.

Що стосується зазначеної класифікації, можна виділити кілька основних підходів до захисту титан-алюмінієвих інтерметалідних сплавів від високотемпературної газової корозії: 1. Нанесення дифузійних покриттів на основі хімічних елементів або сполук, що мають високу спорідненість до кисню та високу хімічну та термічну стабільність оксидів. Основним завданням при реалізації даного підходу є створення поверхні рівномірного шару оксиду алюмінію, що перешкоджає дифузії кисню до поверхні матеріалу. Сюди можна віднести насичення поверхні такими компонентами, як Al, Si, Cr, Hf, Y, Nb, Mo, а також складними компонентами типу Al_2O_3 , Al_3Ti та іншими. Приклад реалізації такого підходу описаний у низці робіт, у тому числі в роботі авторів S. Mirzamohammadi, R. Jafarian та ін. Авторами було проведено дослідження впливу насичення поверхні алюмінієм на окислюваність γ -TiAl сплавів. Використовувалися зразки на основі сплаву Ti-47Al і Ti-47Al-2Cr, які після попереднього полірування піддавали алітуванню в суміші порошків Al і Al_2O_3 впродовж 6 годин при 950 °C у середовищі суміші газів аргону і водню. Встановлено, що оксидна плівка на поверхні матеріалу системи TiAlCr зростає повільніше, ніж на зразку матеріалу на основі TiAl. Алюмінідне покриття, в даному випадку вивчався а 2-сплав хімічного складу Ti- 25 Al- 10Nb 3V-1Mo після алітування в суміші 2%Al+3% $AlF_3+Al_2O_3$. Випробування проводилися за температури 760 °C повітря.

Незважаючи на позитивний ефект алітування (збільшення стійкості до 5 разів), у процесі охолодження зразків на поверхні утворювалися тріщини, що пов'язано з високою крихкістю $TiAl_3$.

З іншої сторони, основними перевагами вакуумно-дугового методу є:

- а) висока точність та відтворюваність процесу;
- б) низька пористість одержуваних покриттів;
- в) можливість реалізації іонного очищення поверхні необхідної для підвищення структурної стабільності і адгезії покриття;
- г) невисока шорсткість поверхні.

До недоліків процесу можна віднести високу складність і вартість обладнання - в середньому вище в 3...5 разів у порівнянні з методом твердофазного дифузійного насичення поверхні.

Що стосується зазначеної класифікації, можна виділити кілька основних підходів до захисту титан-алюмінієвих інтерметалідних сплавів від високотемпературної газової корозії:

1. Нанесення дифузійних покриттів на основі хімічних елементів або сполук, що мають високу спорідненість до кисню та високу хімічну та термічну стабільність оксидів. Основним завданням при реалізації даного підходу є створення поверхні рівномірного шару оксиду алюмінію, що перешкоджає дифузії кисню до поверхні матеріалу. Сюди можна віднести насичення поверхні такими компонентами, як Al, Si, Cr, Hf, Y, Nb, Mo, а також складними компонентами типу Al_2O_3 , Al_3Ti та іншими.

Приклад реалізації такого підходу описаний у низці робіт, у тому числі в роботі авторів S. Mirzamohammdi, R. Jafarian та ін. Авторами було проведено дослідження впливу насичення поверхні алюмінієм на окислюваність γ -TiAl сплавів. Використовувалися зразки на основі сплаву Ti-47Al і Ti-47Al-2Cr, які після попереднього полірування піддавали алітуванню в суміші порошків Al і Al_2O_3 впродовж 6 годин при 950 °C у середовищі суміші газів аргону і водню.

Встановлено, що оксидна плівка на поверхні матеріалу системи TiAlCr зростає повільніше, ніж на зразку матеріалу на основі TiAl.

Алюмінідне покриття, в даному випадку вивчався α_2 -сплав хімічного складу Ti-25Al-10Nb-3V-1Mo після алітування в суміші $2\% \text{Al} + 3\% \text{AlF}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$. Випробування проводилися за температури 760°C повітря. Незважаючи на позитивний ефект алітування (збільшення стійкості до 5 разів), у процесі охолодження зразків на поверхні утворювалися тріщини, що пов'язано з високою крихкістю TiAl_3 .

Застосування іншого методу (золь-гель) створення на поверхні захисного шару з оксидів алюмінію і кремнію показано в роботах. У першому випадку авторами був запропонований варіант захисного покриття для сплаву γ -MET (Ti-46,5Al-4Cr,Nb,Ta,B) що складається з шарів Al_2O_3 і SiO_2 товщиною близько 1-2 мкм після термообробки, а в другому на хімічний сплав складу Ti-46Al-7Nb-0.7Cr-0.1Si-0.2Ni тим самим способом наносили шар покриття з діоксиду кремнію товщиною близько 0,2 мкм.

Сутність «золь-гель» методу полягає в наступному: на поверхню сплаву наносять захисний шар у вигляді колоїдного розчину, або розпорошуючи його на зразок ("Spray Coat") або шляхом занурення зразка в розчин ("Dip Coat"), висушують для його перекладу в стан гелю, після чого потім відпалюють протягом певного часу для формування покриття.

До високотемпературної газової корозії не менше ніж у 4 рази для покриття $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ та в 1,4 рази для покриття без оксиду алюмінію.

2. Нанесення конденсаційних захисних покриттів, з метою зниження інтенсивності дифузії кисню та інших корозійних агентів поверхні матеріалу підкладки, та з іншого боку, для перешкоди дифузії компонентів основного матеріалу на границі з навколишнім середовищем. Найбільш поширеними способами є вакуумно-дугове і магнетронне розпилення, а також газотермічне плазмове напилення повітря.

В обох випадках найбільш доцільними є системи покриттів NiCrAlY, CoCrAlY, NiAlCr, а при реалізації нанесення покриття у вакуумі також можна виділити системи TiAlCr, TiAlCrY, TiAlAg.

Основною перевагою покриттів системи Ti-Al-Cr-Me є близькість

коефіцієнтів температурного розширення матеріалів покриття та підкладки, завдяки чому можна досягти більш високої міцності втомі деталі, особливо в порівнянні з алюмінієвими покриттями. Це підтверджується висновками, зробленими в роботі, де зазначається, що покриття системи Ti-Al-Cr та Ti-Al-Cr-Y показує найкращі результати при циклічних випробуваннях на стійкість до окислення, порівняно з покриттям Al_2O_3 , отриманим методом хімічного осадження. із парової фази.

Проведено дослідження стійкості інтерметалідного сплаву γ Ti-45Al-8Nb з покриттями систем TiAlCrYN і TiAlAg на стійкість до високотемпературного окислення. Покриття було отримано методом іонного розпилення у вакуумі. Автором була проведена оцінка окислюваності гравіметричним методом в ізотермічних умовах за температур 750 і 850°C і часу витримки до 3000 годин, і було встановлено 2,5...5 кратне збільшення стійкості сплаву до високотемпературної корозії.

Вплив покриттів системи Al-Ti-N вакуумно-дуговим методом, що наносяться на підкладку, в середовищі азоту на стійкість сплаву до сульфідно-оксидної корозії (середовище $H_2 + H_2S + H_2O$, температура 850 °C). Основною причиною цього можна вважати невисоку хімічну стабільність нітриду титану при підвищеній температурі: за даними роботи нітриди титану та алюмінію (TiN і Ti_2AlN) окислюються майже з тією ж швидкістю, що і сам титан і перешкоджають утворенню безперервного шару оксиду алюмінію.

Більш ефективним способом підвищення стійкості до ВГК є формування таких нітрідів у глибині матеріалу, а не на кордоні з навколишнім середовищем. При цьому в поверхні краще формувати нітриди хрому, дослідженню покриття на основі якого присвячена робота. В роботі було досліджено зразки зі сплаву Ti-45Al-8Nb-0.2C, на які наносили покриття системи CrAlY методом плазмового розпилення в середовищі аргону і азоту. Оцінка стійкості до високотемпературної корозії проводилася гравіметричним методом після витримки за різних температур (750, 850, 950 °C) протягом 500 годин.

На підставі отриманих результатів, авторами був зроблений висновок про

високу корозійну стійкість даного покриття при температурах 750 і 850 градусів, завдяки, по-перше, формуванню шару TiN на межі «підкладка-покриття» який перешкоджає дифузії титану в покриття, що в свою черга призвела до утворення на поверхні покриття суміші оксидів Al_2O_3 і Cr_2O_3 які мають підвищену стійкість до високотемпературної корозії.

До інших методів, що мають на меті модифікацію поверхневого шару інтерметалідних сплавів, з метою підвищення стійкості до високотемпературної газової корозії можна так само віднести іонну імплантацію, хімічну та електрохімічну обробку поверхні (зокрема, мікродугове оксидування).

Дослідження модифікації поверхні інтерметалідного сплаву методом іонної імплантації проводилося у роботі. Було зазначено, що іонна імплантація бета-стабілізаторів Fe, Mo, W сплаву Ti-50.45Al-0.05Fe-0.007Si- 0.016C дозволяє до 5-10 разів знизити інтенсивність деградації поверхні зразків в умовах високотемпературного окиснення. Цей ефект на думку авторів роботи пояснюється стимулюванням формування Al_2O_3 . Важливо також враховувати, що висока концентрація деяких бета-стабілізаторів у поверхні (зокрема, Nb) негативно впливає на механічні властивості інтерметалідних сплавів через виникнення внутрішніх напружень у поверхневих шарах та зниження пластичності.

Іншою перспективною технологією модифікації поверхні є імплантація атомів неметалів групи галогенів (переважно Cl, F). У роботах описаний ефект від іонно-променевої та іон-іммерсійної імплантації іонів фтору та хлору в поверхню зразків зі сплаву γ -MET (Ti-46.5Al-4Nb, Cr, Ta, V), які надалі піддавалися випробуванням на високотемпературну окислюваність протягом 1000 та 100 годин при температурі 900 °C.

Позитивний ефект від імплантації іонів фтору пояснюється так званим галогенним ефектом. Цей ефект полягає в тому, що іони групи галогенів (особливо фтор та хлор) після їхньої іонної імплантації в поверхню активують механізм селективного окислення алюмінію, що призводить відповідно до утворення суцільної плівки Al_2O_3 та уповільнення процесу окислення.

Незважаючи на більш ніж 4-х кратне збільшення стійкості до високотемпературної корозії в результаті іонної імплантації фтору поверхня, реалізація даної технології пов'язана з низкою технологічних труднощів, пов'язаних, у тому числі з високою токсичністю хлору та фтору в газоподібному стані.

Метод хімічної обробки поверхні титан-алюмінієвого сплаву витримували зразки з γ -TiAl сплаву (Ti- 54Al) в 0.3M розчині ортофосфорної кислоти протягом 1 хвилини з наступним сушінням протягом 24 годин на повітрі. Далі зразки випробовували в умовах ізотермічного окиснення при температурі 800 °C з періодичним зважуванням

Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз методів поверхневого зміцнення деталей авіатехніки таких як термічна та хіміко-термічна обробка, азотування, хромування, плазмове напилення тощо, технологія виготовлення лопаток турбіни авіаційного двигуна та розглянута проблема зношування авіаційних деталей, причини виходу з ладу. Також розглянуті умови експлуатації, такі як високі температури, механічні навантаження, тертя та вплив агресивних середовищ. Відповідно до цього, результатом виконаної роботи є отримання певних даних для виконання кваліфікаційної роботи; закріплення теоретичних знань щодо основних технологічних процесів газотермічного напилення; вивчення організації і технології нанесення покриттів.

2. Встановлено, що експлуатація лопаток турбін авіаційних ГТД, у тому числі з інтерметалідних сплавів, в умовах високих температур та агресивних середовищ призводить до руйнування їхньої поверхні внаслідок протікання процесів високотемпературної оксидної та сульфідно-оксидної корозії, що створює необхідність дослідження та розробки способів.

3. За результатами аналізу сучасних методів захисту поверхні лопаток ГТД від високотемпературної газової корозії, з урахуванням особливостей

складу їхнього матеріалу, вибрано: дифузійне легування поверхні Al, Cr, Si та їх сполук; газотермічне нанесення жаростійких покриттів на нікелевій основі; комбіноване вакуумно-плазмове покриття, що складається з жаростійкого підшару на нікелевій основі та корозійно-стійкого алюмінієвого шару; хімічна обробка поверхні у розчині ортофосфорної кислоти.

4. Вивчено особливості руйнування поверхні лопаток турбіни 5 ступеня з інтерметалідного сплаву TNM-B1 в умовах тривалого (до 1050 годин) високотемпературного (800-850 °C) окислення та корозії. Встановлено, що досліджувані лопатки мають низьку стійкість до високотемпературного окислення і не забезпечують опір до високотемпературної сульфідно-оксидної корозії через недостатню когезійну міцність оксидного шару, що формується на їх поверхні.

5. Виявлено, що в умовах високотемпературного окислення лопатки зі сплаву TNM-B1 найбільш оптимальним методом захисту поверхні лопаток ТНТ є комбіноване вакуумно-плазмове покриття системи Ni-Co-Cr-Al-Y + Al-Co-Si-Y, що забезпечує триразове зростання стійкості (з урахуванням 500 годин). Показано, що найкращим способом захисту поверхні лопатки в умовах високотемпературної сульфідно-оксидної корозії є газотермічне плазмове напилення покриття системи Ni-Al-Cr-Y, що забезпечує підвищення її стійкості до корозії до 6 разів (на базі 500 годин).

6. Встановлено, що комбіноване вакуумно-плазмове покриття системи Ni-Co-Cr-Al-Y + Al-Co-Si-Y підвищує довговічність матеріалу лопатки ТНТ з інтерметалідного сплаву при циклічному навантаженні в 2,7 рази.

РОЗДІЛ 2. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАНЕСЕННЯ ЖАРОСТІЙКИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

2.1 Удосконалення та адаптація виробництва теплозахисних покриттів в ТОВ «Paton Turbine Technologies»

Товариство з обмеженою відповідальністю «Paton Turbine Technologies» (РТТ), будучи правонаступником «Pratt & Whitney-Paton» (PWP), у 2023-му році відзначило своє тридцятиріччя.

На початку 1990-х років одна з найбільших фінансово-промислових груп США United Technologies Corporation (UTC) звернулася з ініціативою до Бориса Євгеновича Патона про створення науково-дослідного центру для подальшого розвитку наукових розробок в області електронно-променевої технології, започаткованих раніше Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона під керівництвом відомих учених — Б.Є. Патона, Б.О. Мовчана, І.С. Малашенка, В.О. Тимашова та ін.

Основна спеціалізація створеного спільного підприємства полягала в удосконаленні та адаптації виробництва теплозахисних покриттів — ТЗП (Thermal Barrier Coating) для світового ринку (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд виробничих площин компанії: а – цех нанесення покриттів; б – цех ремонту компонентів газотурбінних двигунів

Застосування ТЗП є одним зі шляхів поліпшення експлуатаційної довговічності теплонавантажених виробів гарячого тракту турбін і більш ефективної роботи газотурбінних установок (ГТУ). У поєднанні з внутрішнім охолодженням ТЗП забезпечують зниження температури на поверхні базового сплаву, а отже, дозволяють підвищити температуру газу на вході в турбіну, збільшивши при цьому її коефіцієнт корисної дії (ККД), а також сприяють захисту від зовнішнього ерозійного впливу і запобігають деградації металу під впливом зовнішнього газового середовища, термічних і залишкових напружень. Міжнародний досвід останніх десятиліть, особливо в галузі авіації, підтвердив доцільність застосування електронно-променевого осадження у вакуумі (electron beam-physical vapor deposition - EB-PVD) для отримання теплозахисних керамічних покриттів зі стовпчастою досить щільною структурою сформованих кристалітів. Саме така особливість структури забезпечує запас довговічності керамічних покриттів при змінних термоциклічних навантаженнях в процесі експлуатації (рис. 2).

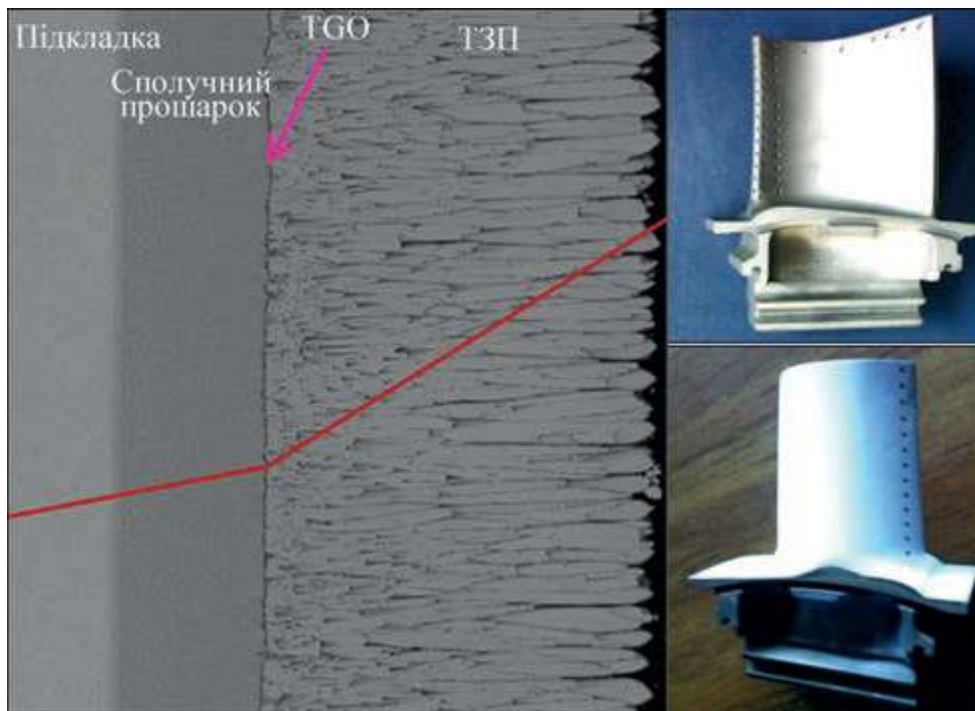


Рис. 2. Теплозахисне покриття та вид робочих лопаток із металевим та керамічними покриттями

Процес формування електронно-променевих теплозахисних покриттів на жаростійкому зв'язуючому прошарку опанували в ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Подальший успішний розвиток технології позначився на формуванні регулярного термічно вирошеного оксидного шару (ТГО) на межі з металевим прошарком у процесі осадження кераміки — це було розроблено, впроваджено та сертифіковано завдяки зусиллям українських та американських фахівців «Pratt & Whitney-Paton».

Спільне українсько-американське підприємство «Pratt & Whitney-Paton» на початку своєї діяльності увійшло у виробничу та інтелектуальну кооперацію з компанією «Pratt & Whitney», яка разом з британською компанією «Rolls-Royce» і американською «General Electric» належить до «великої трійки» виробників авіадвигунів.

Вже через рік після заснування компанії в Києві почалося виробництво високотехнологічного електронно-променевого устаткування для

американських партнерів, яке поетапно розміщувалося і модернізувалося в США та Сінгапурі.

2.1.1 Керамічне електронно-променеве покриття

У 1998 р. на лопатки першого ступеня авіаційного двигуна PW 4000, окремі серії яких призначені для Airbus A300-600, Airbus A310-300, Boeing 747-400, вперше нанесли керамічне електронно-променеве покриття в ДЦ «Pratt & Whitney- Paton» у Києві. Зараз в активі підприємства — формування покриттів на компоненти авіаційних двигунів CF-6 виробництва «GE Aviation» для Airbus A300 / 310/330, Boeing 747, Boeing 767; CFM-56 виробництва CFM International (спільне підприємство компанії Safran і американської «General Electric») для Airbus A319 / 320/321 і Boeing 737. За останні тринадцять років покриття було успішно нанесено на більш ніж 280 тис. лопаток і 18 тис. кілець допоміжних силових установок APU 131-9 Honeywell.

2.1.2 Нанесення теплозахисного покриття на робочі лопатки турбіни SGT 800

Ще одна важлива сторінка в історії розвитку РТТ — тривале співробітництво з підрозділом «Siemens Industrial Turbomachinery AB» (філія Швеції) щодо нанесення теплозахисного покриття на робочі лопатки турбіни SGT 800 (номінальною потужністю 47/53 МВт). За рівнем викидів забруднюючих речовин в атмосферу, при навантаженні 50...100 % вона відзначена експертами як найкраща серед електрогенеруючих турбін середньої потужності. Активна фаза співпраці стартувала в першому кварталі 2006 р., і за цей час електронно-променеві металеві і керамічні покриття були нанесені більш ніж на 60 тис. лопаток турбіни SGT 800 чотирьох різних поколінь. При цьому ефективність виробництва перевищила 99,8 %. І нині на «Paton Turbine Technologies», як лідера в галузі теплозахисних покриттів, розробляються та випробовуються оригінальні покриття на нове покоління монокристалічних робочих лопаток 1-го ступеня модифікованої турбіни SGT 800, яка виходить на ринок цього року.

2.1.3 Теплозахисні керамічні покриття на різних типах базових сплавів і металевих прошарках.

Нині в РТТ методом електронно-променевого осадження у вакуумі отримують теплозахисні керамічні покриття на різних типах базових сплавів і металевих прошарках. Сьогодні ТЗП наносять на велику номенклатуру робочих і соплових лопаток, виготовлених із жароміцних нікелевих сплавів рівновісної, спрямованої кристалізації і монокристалічних сплавів різних генерацій, наприклад, MAR M-247, CMSX-4, PWA-1484, Rene-5, CM-186LC, IN- 939, ЖС-32 ЖС-36 та ін. Як сполучні застосовуються металеві шари систем MeCrAlY (+ Hf, Si), сформовані методами EB-PVD, високошвидкісним газополуменим напиленням в кисневмісному середовищі (HVOF), плазмового напилення в низькому вакуумі (LPPS), алюмінідні NiAl і платиноалюмінідні (Pt, Ni) Al покриття (рис. 3).

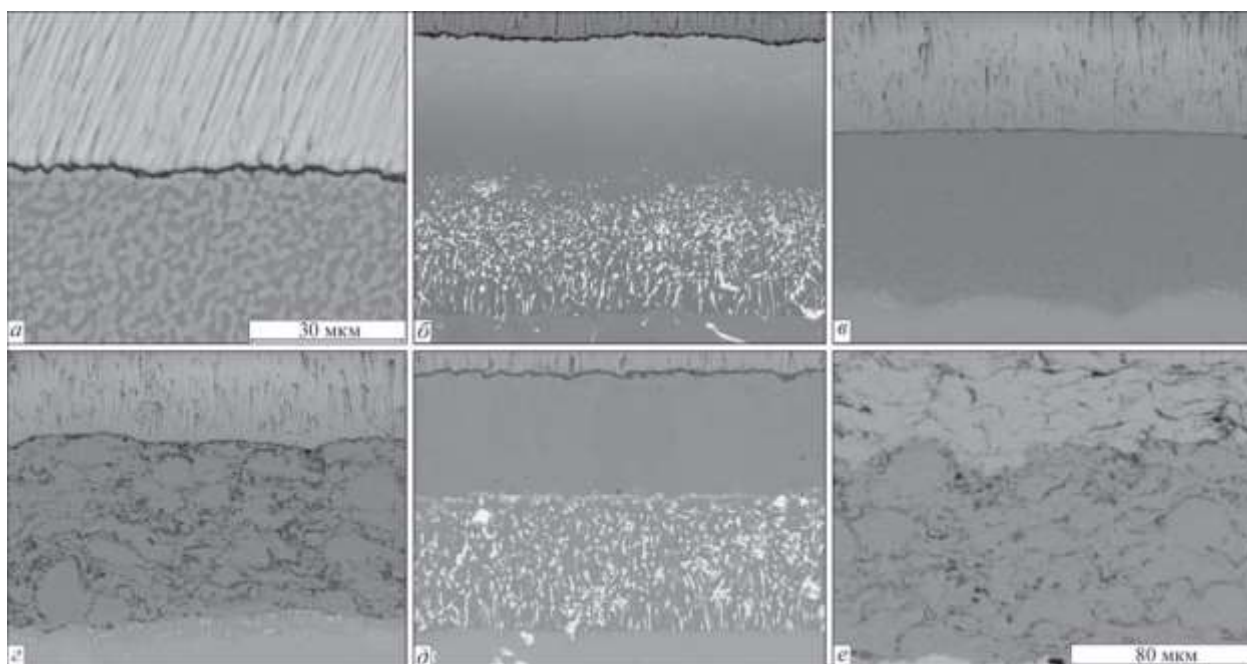


Рис. 3. Різні типи сполучних прошарків у теплозахисних системах покриттів, отриманих електронно-променевим осадженням у вакуумі (EB-PVD) (а – д) та плазмовим напиленням на повітрі (APS). а – EB-PVD; б – PtAl; в – LPPS; г, е – HVOF; д – NiAl

Крім того, більшість з них отримують зараз у Києві. У стратегії розвитку «Paton Turbine Technologies» відображена цілеспрямована диверсифікація для створення виробничого комплексу, який допомагає отримувати покриття різного виду або їхніх систем — вони використовуються для компонентів гарячого тракту турбін газотурбінних двигунів. Склад та спосіб отримання металевих покриттів обираються залежно від їхніх функціональних особливостей і типу базового сплаву компоненту, на який воно наноситься. Важливо відзначити, що випробування на термоциклічну довговічність зразків з покриттями показали, що деякі системи теплозахисних покриттів забезпечують довговічність понад 3700 термоциклів при максимальній температурі 1100 °С.

2.1.4 Сучасний стан підприємства ТОВ «Paton Turbine Technologies».

Підприємство «Pratt & Whitney Paton» переживало періоди піднесення та спаду, і досить серйозним випробуванням був 2014 р., коли американські партнери залишили дослідницький центр «Pratt & Whitney - Paton» і на його базі був організований правонаступник — ТОВ «Paton Turbine Technologies». Завдяки підтримці ІЕЗ ім. Є.О. Патона та особисто керівництва інституту, а також максимальній зацікавленості у розвитку «Paton Turbine Technologies» нового учасника РТТ, підприємство отримало імпульс для подальшого розвитку, виходу на нові горизонти — як промислового виробництва, так і опанування передових технологій.

Нині завдяки знанням, творчому підходу та належній організації виробництва електронно-променевої установки, виготовлені на Paton Turbine Technologies/ Pratt & Whitney-Paton, продовжують успішно працювати над замовленнями авіаційної промисловості в США та Сінгапурі. Продовжує розвиватися міжнародна співпраця з компаніями «Siemens Industrial Turbomachinery AB», «Honeywell», «Meyer Tool, Inc.», «Kawasaki Heavy Industries, Ltd.» Для міжнародного позиціонування компанії важливо відзначити, що РТТ включений у базу даних компанії Siemens Industrial

Turbomachinery AB як такий, що пройшов кваліфікацію та погоджений для співпраці постачальник (SIT Approval Supplier Data Base (ASD) SQ).

Стабільний та впевнений розвиток «Paton Turbine Technologies» позначається і на кадровій політиці компанії. За останні три роки додатково було створено 67 робочих місць (зростання чисельності компанії більш, ніж на 50 % у порівнянні з 2014 р.). При цьому кількість робітників, які мають вищу освіту, складає понад 2/3 від загальної чисельності компанії. Відбулося помітне омолодження трудового колективу.

У процесі розробки технологій електронно-променевиx покриттів за двадцятип'ятирічну історію отримано понад 25 різних патентів. При цьому запатентовані технології використовувались та використовуються у реальному виробництві. В «Paton Turbine Technologies» / «Pratt & Whitney-Paton» була розроблена та зареєстрована власна специфікація як для металевих — PWP - 400 (18 типів покриттів), так і для керамічних покриттів — PWP-100.

2.1.5 Іноваційні типи захисних покриттів, розроблених в «Paton Turbine Technologies»

Разом із розвитком «традиційних» напрямків Науково-технічні підрозділи «Paton Turbine Technologies» продовжують дослідження у галузі розробки принципово нових типів захисних покриттів. В активі — нові види «advanced MCrAlY», отримані шляхом електронно-променевого випаровування сплаву покриттів з додаванням додаткових легуючих елементів. Розвиток керамічних покриттів отримав продовження у застосуванні нових матеріалів на базі сумішей оксидів рідкоземельних металів. Такі матеріали мають теплопровідність нижче стандартної кераміки $ZrO_2-Y_2O_3$. Застосування електронно-променевого випаровування таких матеріалів дозволяє отримувати керамічні покриття нового покоління, що і реалізується в РТТ.

Орієнтуючись на реалії ринку захисних покриттів для авіаційних двигунів та індустриальних газових турбін разом з електронно-променевими зразка MeCrAlY у компанії почали активно розробляти та застосовувати інші методи нанесення захисних покриттів. Як металевий зв'язувальний прошарок для робочих лопаток першого ступеня ГТД широко використовують платиноалюмінідні покриття, які є окремою групою алюмінідних покриттів, модифікованих платиною.

В активі компанії уже є теплозахисні покриття, нанесені на платиноалюмінідні покриття замовників для робочих лопаток авіаційних двигунів, довговічність яких перевищила 1000 термоциклів. З 2018 р. в компанії створена і функціонує ділянка електролітичного осадження платини, яка укомплектована конкурентоспроможним українським обладнанням. Цього року завершиться створення лабораторної та введення в експлуатацію виробничої ділянки газозварного алітування на базі модернізованого у Нідерландах наявного обладнання. Це розширить виробничу лінійку РТТ щодо отримання алюмінідних та платиноалюмінідних покриттів для закордонних та українських партнерів. Важливо, що результатом тривалого вивчення властивостей та особливостей формування платиноалюмінідів став розроблений в «Paton Turbine Technologies» оптимальний склад покриття, що як зв'язувальний шар забезпечує формування надійних теплозахисних систем з достатнім сервісним ресурсом як на сплавах рівновісної кристалізації, так і на монокристалічних сплавах різноманітних генерацій (рис.4).

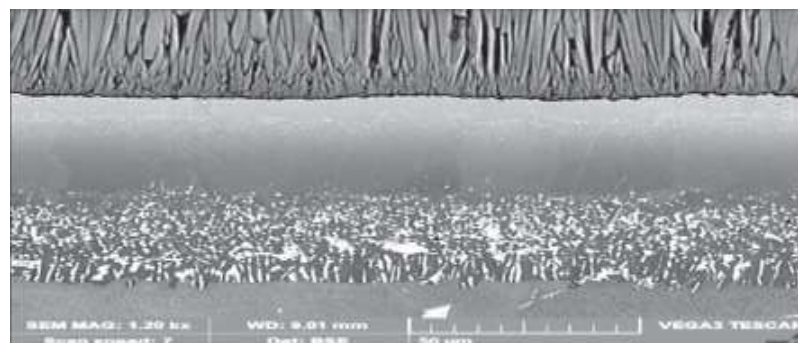


Рис. 4. Структура платино-алюмінідного покриття, сформованого як прошарок у системі теплозахисного покриття, нанесеного методом EB-PVD

2.1.6 Покриття, отримані методами HVOF та APS (air plasma spray) — плазмового розпилення у повітрі.

Як альтернативні і більш дешеві методи нанесення покриттів у промисловому комплексі «Paton Turbine Technologies» були розроблені та впроваджені покриття, отримані методами HVOF та APS (air plasma spray) — плазмового розпилення у повітрі. Процеси газотермічного напилення широко застосовуються для нанесення теплозахисних покриттів та зв'язувальних шарів для компонентів двигунів та наземних газових турбін. Ці технології осадження популярні з економічної точки зору, а також завдяки простоті й повторюваності процесу. HVOF-процес дозволяє формувати досить щільні покриття системи NiCoCrAlY (+Hf, Si) (з пористістю менше 2 об.%), які завдяки особливостям ламельної будови та легуючого комплексу демонструють хороший супротив високотемпературному окисленню і термічну стабільність, що дозволяє застосовувати ці покриття як самостійні захисні покриття, а також як зв'язуючі прошарки для теплозахисних покриттів, нанесених методом APS (рис. 5).

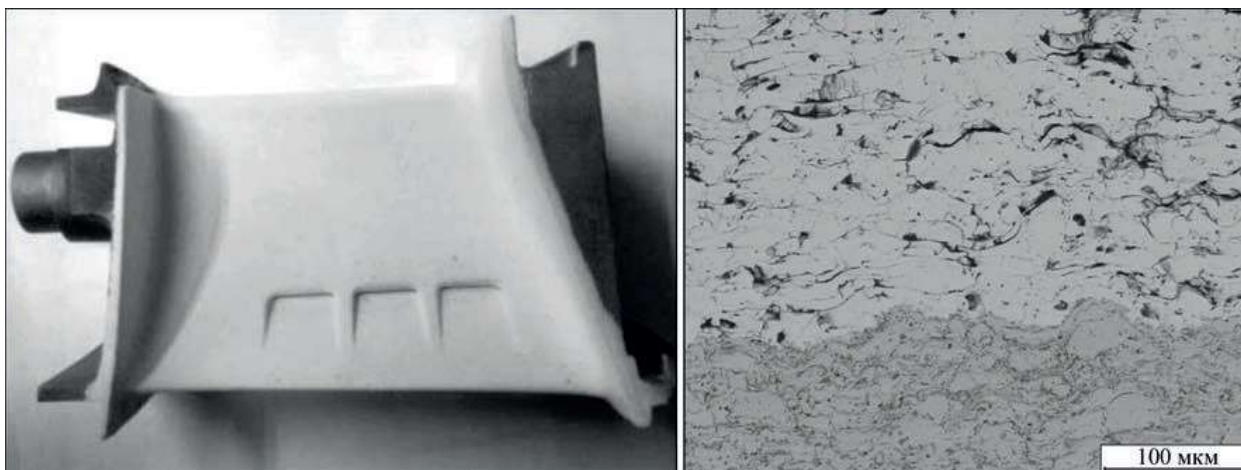


Рис. 5. Лопатка с теплозахисним покриттям, отриманим методами HVOF/APS та структура міжфазної межі металевого (HVOF) та керамічного (APS) прошарків системи ТЗП

APS-покриття, які отримують у повітряній або захисній атмосфері, з економічної точки зору вигідніші в комерційному застосуванні для компонентів індустріальних та енергетичних турбін і забезпечують довговічність понад 1000 термоциклів. Нанесені цим методом ТЗП мають низьку теплопровідність.

Із застосуванням установки APS також був розроблений метод отримання керамічних покриттів, що притираються, системи ReSZ: вони використовуються в проточній частині турбіни для мінімізації радіального проміжку над робочими лопатками для зменшення втрат газу та підвищення ефективності турбіни. Ці покриття мають достатню ерозійну й корозійну стійкість, жаростійкість, належну пористість ($> 20\%$) тощо. У випадку взаємодії лопатки з кожухом покриття захищає лопатку і корпус від серйозних пошкоджень та підвищує ефективність турбіни і зменшує споживання палива.

Варто зауважити, що «Paton Turbine Technologies» здійснює нові розробки, спрямовані на подальший розвиток сучасних технологій, їхню адаптацію у виробництві не лише для аерокосмічної галузі, але й для інших галузей, зокрема транспортного машинобудування, металургії, хімічної промисловості.



Рис. 6. Загальний вигляд валу після відпрацювання, відновлення з нанесенням зносостійких покриттів типу WC та Stellite та мікроструктура покриття W

Нині потреба в отриманні зносостійких покриттів на ринку має великий попит у різних замовників. З використанням установки HVOF на РТТ реального застосування набув спосіб газотермічного високошвидкісного отримання зносостійких корозійно стійких та антифрикційних покриттів на зразок WC, Cr₃C₂, Mo, ПГ-10Н-01 та ін. для виробів обертання і на плоскі поверхні, що стираються (рис. 6).

2.2 Ремонт компонентів газотурбінних двигунів.

У 2006 році в «Pratt & Whitney-Paton» почався розвиток нового напрямку, а саме ремонту компонентів газотурбінних двигунів. Нині у виробничому комплексі функціонує окремий цех ремонту, який здійснює комплексний ремонт як серійних партій авіаційних виробів, так і індивідуальних компонентів. Прогресивні способи ремонту лопаток включають зварювання та пайку для продовження робочого ресурсу лопаток турбін та газотурбінних установок загалом. Найбільша увага при відновленні виробів після сервісної експлуатації приділяється високотемпературному паянню у вакуумі. Дифузійне паяння нікелевих жароміцних сплавів зі своїми технологічними можливостями еквівалентне аргонодуговому зварюванню і забезпечує необхідні фізико-механічні властивості з'єднань.

Увесь цикл ремонту включає операції з очистки виробів, зняття відпрацьованих покриттів, механічні й термічні обробки, операції наплавки, паяння, відновлення розмірів та профілю, нанесення покриттів, зміцнення та ін. Основна увага приділяється поєднанню підвищеної міцності та низькотемпературної пластичності ремонтних зон та забезпечення жароміцності базовим сплавам відновлюваних виробів. «Paton Turbine Technologies» здійснює відновлення компонентів авіаційних двигунів РД-33, АЛ-31, Д 30КП, Д 36, ТВ3-117, ДСУ ГТДЕ-117 та індустріальних газотурбінних установок ГТК 10-4, ГТК 10И, MS 3002, ДР-59 та ін.

Для відновлення прогарів, механічних та корозійно-ерозійних ушкоджень, «лікування» тріщин та відновлення розмірів лопаток, сегментів та

інших компонентів газотурбінних двигунів нині застосовують багат шарові преформи або композиційні припої, які забезпечують оптимізацію процесів формування якісних міцних швів з достатніми фізико-механічними характеристиками. Нові опановані технології наплавлення та паяння дозволяють у процесі ремонту відновлювати ливарні та експлуатаційні протяжні розвинені дефекти (тріщини, прогари, оплавлення, деградацію та ін.) компонентів гарячого тракту ГТД (рис. 7).

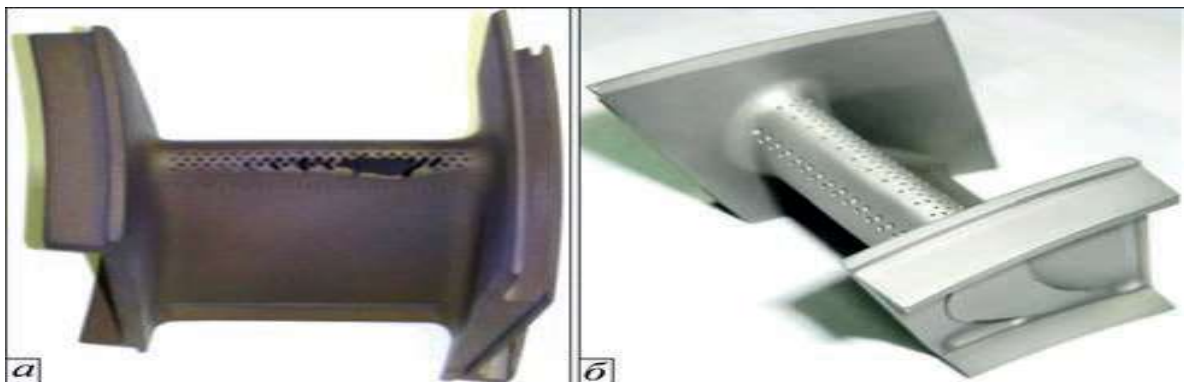


Рис. 7. Загальний вигляд соплової лопатки після напрацювання з розгаром на вхідній кромці (а) та після відновлення для подальшої експлуатації (б)

Маючи знання, навички, досвід та виробничі можливості, нині РТТ здійснює комплексне відновлення компонентів газотурбінних двигунів, які були в експлуатації, та проведення повного циклу ремонту і нанесення різного типу покриттів, які необхідні для цього типу виробів (рис. 8, 9).

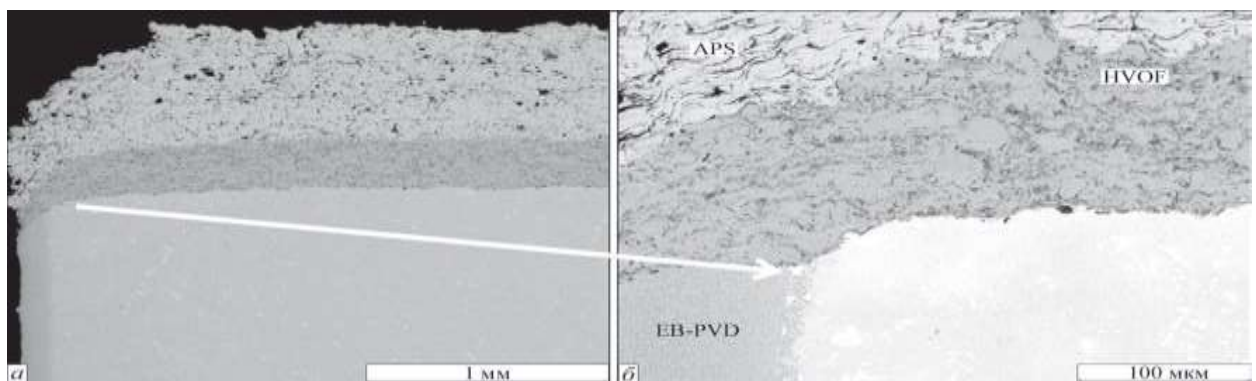
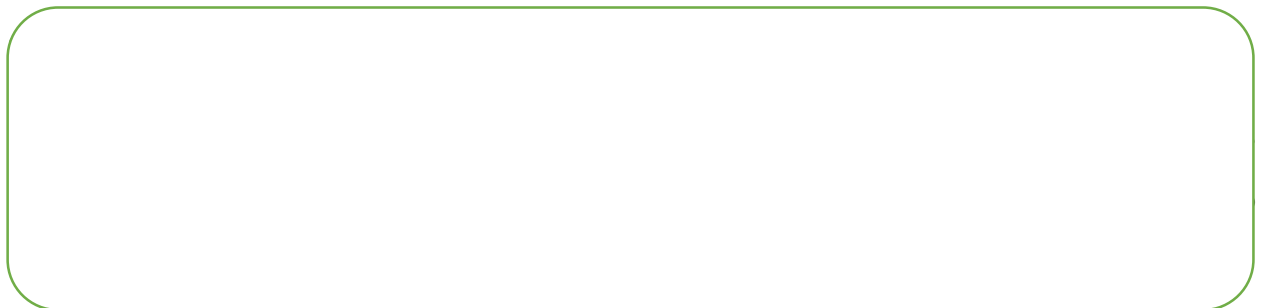


Рис. 8. Поєднання різних типів покриттів на торці пера робочої лопатки енергетичної турбіни; а – фрагмент пера лопатки; б – межа поєднання двох типів захисних та теплозахисного покриттів

Рис. 9. Класична стовпчаста структура теплозахисного покриття, отриманого електронно-променевим осадженням у вакуумі

Цей метод включає експертну оцінку, дефектацію, комплекс термомеханічних операцій, випробування. Таким чином, вимоги замовника задовольняються у форматі «all inclusive», тобто весь процес відновлення в одному місці. ТОВ «Paton Turbine Technologies» — це приклад вдалої адаптації та запровадження досягнень фундаментальної науки у виробництво, розвитку сучасних технологій, руху до майбутнього з урахуванням актуальних потреб суспільства.



- наукових досліджень у сфері авіації;
- проектних та впроваджувальних робіт;
- розробки технології нанесення покриттів;
- надання послуг з нанесення покриттів;
- вироблення устаткування для нанесення покриттів;
- ремонту лопатей турбін.

Предметом діяльності центру є виробництво захисних покриттів робочих і спрямовуючих лопаток для газових та авіаційних турбінних двигунів; виробництво матеріалів для захисних покриттів; розробки технології та обладнання для нанесення захисних покриттів; виробництво обладнання для нанесення захисних покриттів, ремонт робочих і спрямовуючих лопаток для газових та авіаційних турбінних двигунів

Продукція:

- металеві покриття;
- керамічні покриття;
- злитки керамічні для нанесення покриття;
- пресована кераміка (діоксид цирконія) для нанесення покриття;
- установки для нанесення металевих і керамічних покриттів.

Високий рівень підприємства підтверджено сертифікатами ISO 9001, AS 9100, ISO 14001, FAA (Federal Aviation Administration), NADCAP (National Aerospace and Defence Contractors Accreditation Program), повторне підтвердження яких здійснюється на регулярній основі.

Компанія сертифікована за такими стандартами та відділ контролю якості працює на їх підставі:

1. Сертифікат AS9100 від 12 жовтня 2009 року, виданий Бюро Верітас;
2. Сертифікат FAA Part 145 від 07 вересня 2012 року, виданий Департаментом транспорту США;
3. Сертифікат NADCAP від 31 липня 2011 року.

У компанії цілеспрямовано зберігається високий рівень організації виробництва, який був закладений американськими партнерами. У 2009 р. «Pratt & Whitney-Paton» досяг Срібного рівня в системі ACE (Achievement Competitive Excellence) — Досягнення конкурентних переваг в межах United

Technologies Corporation, а «Paton Turbine Technologies» продовжує підтримувати роботу усіх ключових елементів системи донині.

Вимоги до якості, які висуваються центром:

Керівництво по процедурах інспекції (ІРМ) покриттів:

Інспекція кваліфікації персоналу, в тому числі знання та доступність специфікацій;

Вхідні система контролю матеріалу для забезпечення того, що частини знаходяться в придатному для виконання польотів стані, коли їх отримано;

Попередня система інспекції для статей підтримується або змінена, і перевірена.

Керівництво має бути доступне всім співробітникам.

Керівники та інспектори повинні знати і розуміти зміст керівництва.

Система управління підприємством.

На підприємстві впроваджена система ACE (Achieving Competitive Excellence) (Досягнення Конкуретної Переваги).

Операційна система United Technologies Corporation - спосіб роботи.

Використовується щодня всіма працівниками для підвищення якості й потоку цінності замовнику.

2.4 Досягнення Конкуретної Переваги ACE (Achieving Competitive Excellence) :

- Зосереджений на процесах;
- Заснований на даних;
- Орієнтований на вимоги замовників;

- Постійно спрямований на усунення прогалин між цілями і фактичними результатами;
- Використовується для поліпшення результатів роботи корпорації.

Потік цінності це основне завдання Операційної Системи АСЕ:

- Все обертається навколо замовника і досягнення конкурентної переваги.
- Поставки необхідної кількості виробів необхідної якості точно тоді, коли замовник очікує їх.

2.4.1. Характеристики що допомагають визначити якість управління:

1. Керівництво всіх рівнів залучено:

- якщо керівництво визнає АСЕ лише на словах але не діє відповідно до принципів системи на всіх рівнях організації.

2. Ресурси доступні тоді, коли вони необхідні:

- Для виконання замовлення та задоволення Вимог наших замовників;
- Не обов'язково означає розширення штату співробітників, хоча це можливо;
- Працівники повинні думати про те, що вони роблять, - робити свою роботу добре - і розуміти її значимість;
- Керівництво готове робити необхідні інвестиції в удосконалення процесів.

3. Люди навчені основним принципам АСЕ - кожен розуміє основи операційної системи.

4. Кожен залучений в АСЕ - це робота не тільки АСЕ пілота або менеджера.

5. Люди задоволені - вони задоволені тим, що вони роблять, отримують задоволення від своєї роботи, зібрані, а не змучені, розтопані, розбиті.

6. Нові ідеї сприймаються позитивно а не автоматично відкидаються, тому що "тут це не буде працювати".

7. Думка співробітників вислуховується і цінується.

8. Кожен сфокусований на замовнику – простежується зв'язок між тим, що люди роблять і тим, що необхідно замовнику.

Всього в операційній системі ACE існує 12 інструментів («набір інструментів ACE») які розбиваються на 3 блоки, це інструменти для:

1. поліпшення процесу і усунення втрат;
2. вирішення проблем;
3. прийняття рішень.

У свою чергу блоки поділяються на:

1. Поліпшення процесу і усунення втрат:

- 5S (візуальне робоче місце) - застосовується для створення безпечного, організованого, візуального робочого місця;
- управління процесом / потоком цінності (VSPM) - шлях бачення загальної картини. Акцент на ефективність системи (ефективність всього в цілому) над ефективністю окремих елементів;
- сертифікація процесів / стійкість процесів – методи скорочення варіації в процесах і визначення можливостей процесу;
- стандартна робота (SW) - застосовується для закріплення певної, повторюваною послідовності виконання робіт;
- процес Підготовки Виробництва (ЗР) - облік всіх аспектів виробничої системи на стадії проектування для забезпечення якості товару, об'ємів виробництва, цільової вартості, графіка робіт;

- загальне виробниче обслуговування (TPM) - застосовується для забезпечення максимальної ефективності обладнання;

- скорочення часу переналагодження (Set-up Reduction) - застосовується для скорочення непродуктивного часу при підготовці до роботи.

2. Вирішення проблем:

- аналіз реакції ринку (MFA) - спосіб розуміння думки замовника;

- діаграми клініки якості (QCPC) - спосіб розуміння голосу процесу;

- аналіз кореневих причин (RCCA) - наполегливе прагнення визначити чинники, які викликають збої в роботі;

- попередження помилок (MP) - процес створення методів і пристроїв, що дозволяють робити роботу без дефектів 100% часу.

3. Прийняття рішень:

- процес паспортизації (Passport Process) - процес поетапної розробки проєктів.

Існує 4 рівня компетентності підприємств з ACE:

кваліфікаційний - це рівень підготовки, навчання, збору вихідних даних;

бронза - ви застосовуєте різні інструменти і отримуєте перші результати;

срібло - ви досягаєте значних поліпшень показників господарської діяльності;

золото - ви визнані кращим у своєму класі і постійно покращуєте показники господарської діяльності.

2.5 Науково-дослідний відділ організації і координації науково-дослідних робіт Pratt & Whitney – Paton

Основні завдання відділу:

— проведення науково-дослідних робіт щодо створення, функціонування та розвитку національної стандартизації з урахуванням світових досягнень та прогресивних вимог до розроблення, виробництва і використання продукції з метою підвищення її технічного рівня і конкурентоспроможності, сумісності та взаємозамінності, безпеки для життя та здоров'я людей, охорони довкілля, економії матеріальних та енергетичних ресурсів;

— науково-методичне керування плануванням, розробленням, упровадженням і забезпеченням функціонування стандартів та інших нормативних документів (НД) у сфері авіаремонту і авіації;

— проведення науково-дослідних робіт щодо формування і реалізації єдиної технічної політики у сфері стандартизації в рамках Міждержавної Ради із стандартизації, метрології та сертифікації (МДР);

— аналіз структури та складу чинного фонду НД, визначення пріоритетних напрямків упровадження європейських і міжнародних стандартів у сфері авіаремонту і авіації;

— підготовка аналітичних оглядів у окремих сферах діяльності чи галузях економіки, надання інформаційних матеріалів, виконання інших платних робіт (послуг);

— участь у проведенні наукових і науково-практичних семінарів та конференцій у сфері стандартизації.

Функції відділу:

— проведення науково-технічної експертизи, нормоконтролю у сфері авіаремонту і авіації, закріплений за відділом;

— аналізування структури, складу та змісту чинного фонду НД і створення оптимальної структури фонду НД;

— аналізування технічного рівня НД;

- визначення пріоритетних напрямків розвитку, розроблення перспективних щорічних планів стандартизації;
- пошук, систематизація та аналіз матеріалів досліджень у галузі фундаментальних наук, які можуть бути використані у роботі;
- науково-дослідні роботи щодо формування і реалізації єдиної технічної політики у сфері стандартизації в рамках МДР;
- проведення робіт у рамках міжнародного та міждержавного співробітництва;
- підготовка аналітичних оглядів з окремих напрямів у галузі стандартизації;
- переклад, науково-технічне редагування перекладів міжнародних, регіональних та національних стандартів інших країн;
- надання консультацій, науково-методичної допомоги, відповідей на запити підприємств та організацій;
- участь у науково-практичних конференціях, семінарах;

3. ПРОЦЕСИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ ДОСЛІДНОГО ЦЕНТРУ «PRATT & WHITNEY – RATON»

3.1. Проектування процесів нанесення покриттів при сертифікації

3.1.1. Початкові данні для проектування

Змістом виробничого завдання є конструкторсько-технологічна документація на вироби АТ. На основі цієї документації за допомогою ЕОМ формується і проектується технологічний процес. Для цього визначаються методи обробки; необхідні умови для виконання вимог ТУ; фактичні і необхідні розміри, форма, геометрія деталей, вибирається обладнання і інструменти, методи транспортування і т. д. Визначаються (підбираються) бази кріплення і

обробки. На основі цих даних розраховуються режими обробки деталей. Встановлюється послідовність і тривалість операцій по обробці і контролю. При цьому використовуються дані, що зберігаються в пам'яті ЕОМ. На всіх стадіях проектування технологічного процесу відновлення, виготовлення здійснюється візуальний і автоматичний контроль інформації. Розробляються і застосовуються для розрахунків на ЕОМ математичні моделі технологічних процесів.

Автоматизація проектування технологічних процесів передбачає застосування ЕОМ. Відомі деякі результати по автоматизації окремих стадій проектування: розрахунків режимів різання, гальванічної обробки, випробувань і т. д.

Тому, перспективним є комплексне рішення технологічних задач, пов'язаних з розробкою всієї технологічної документації. Для цього необхідна систематизація різних відомостей для розробки технологічних процесів: характеристики об'єктів ремонту, характеристики матеріалів, що застосовуються, характеристики обладнання, умови ремонту, збирання, випробувань, контролю, експлуатації об'єктів АТ, нормативні державні, галузеві, відомчі і заводські документи і т. д., залежність між ними. Для технологічних процесів повинні розроблятися і після перевірок уточнюватися відповідні математичні моделі, які повинні бути перероблені для ЕОМ з метою отримання надалі в будь-який час необхідних відомостей по оптимізації технологічних процесів. Роботи в цій області ведуться в двох напрямках. Перший комплексний напрям, проектування процесу розглядається від початку і до кінця як рішення комплексу взаємопов'язаних задач. Друге - виборчий напрям, проектування процесу розбивається на стадії, етапи, які і є частковим об'єктом автоматизації усього технологічного процесу. У останньому випадку переважають більш прості, обчислювальні задачі.

Перший напрям. Деталь розглядається як сукупність взаємопов'язаних поверхонь, кожна з яких характеризується невеликою кількістю параметрів. Для кожної поверхні є обмежена кількість можливих і допустимих методів

обробки. До таких характеристик відносяться: взаємне розташування поверхонь, їх розміри, шорсткість, бази і інші технічні вимоги і умови. У свою чергу, на ці характеристики накладають відбиток характеристики обладнання, що застосовується і інструмента, робочих матеріалів і серед, експлуатаційні умови і т. д.

Другий напрям передбачає автоматизацію всієї розрахункової частини розробки операцій і оформлення процесу - аж до видачі ЕОМ операційних карт. Ця робота повинна виконуватися машиною для типового технологічного процесу деяких груп деталей, розробленого без застосування ЕОМ. У основному це передбачає поступове поширення окремих ділянок автоматизації проектування технологічного процесу до повсюдної її реалізації. Спочатку угруповання може вестися по матеріалах, по мірі і різновидам їх можливої обробки, по габаритах, по точності, по обладнанню, що застосовується і т. д. Це роблять для того, щоб деталі або види обробки попали в одну групу. Кожного різновиду характеристик (групі, кресленню, характеристиці, найменуванню і привласнюється цифровий код. Машинне сортування полегшує угруповання деталей. Кожна група деталей замінюється однієї усередненої - універсальною або типовою деталлю, характерною по своїх параметрах для всієї групи.

3.1.2 Моделювання процесів нанесення покриттів

Будь-який технологічний процес можна представити як самостійну цілісну систему, характеристиками якої є склад, послідовність етапів, операцій, взаємозв'язку, вплив зовнішніх умов і т. д. Ця система є ведучою по відношенню до своїх складаючих частин. Тому процес управління такою системою є, насамперед, її упорядкуванням. Кінцевою метою управління цією системою є забезпечення оптимального технологічного і виробничого процесів, наприклад в авіаремонтному виробництві, зокрема для відновлення деталей АТ. Ефективним засобом призначення будь-якої системи і управління нею може бути моделювання відтворення цієї складної системи за допомогою

більш простої системи, званою моделлю. Процес моделювання заснований на структурній або функціональній схожості (ізоморфізмі) різних систем і дозволяє відтворювати і вивчати складні системи в математичних або фізичних моделях. Математична модель реального технологічного процесу є математичним об'єктом, відповідним даному фізичному процесу.

Тому під математичною моделлю реального технологічного процесу мається на увазі сукупність співвідношень (рівнянь, нерівностей, формул, логічних умов, операторів і , які зв'язують характеристики процесу з параметрами відповідної системи, початковою інформацією і початковими умовами. Модель повинна бути в тій або іншій мірі аналогічна, тобто схожа на оригінал. Впливаючи на складові зі частини моделі, можна отримувати різну залежність між ними, тим самим забезпечуючи вибір оптимального варіанту. Спочатку виконується математичний опис або будується математична модель технологічного процесу- Таким чином, під загальною математичною моделлю технологічного процесу можна розуміти систему умов у вигляді рівнянь, нерівностей, формул і різних кількісних показників, критеріїв, характеристик, що описують основні характерні властивості даного процесу.

Ефективність роботи фахівця авіаремонтного виробництва значною мірою залежить від рівня автоматизації виробничими, технологічними процесами ремонту АТ.

Підвищення цього рівня вимагає математичного моделювання процесів, яке дає можливість кількісно дослідити інформацію, що є і ухвалювати оптимальне рішення.

Для моделювання на ЕОМ технологічного процесу, заданого за допомогою математичної моделі, треба побудувати моделюючий алгоритм, який дасть можливість відтворити модель на машині. Звичайно запис алгоритму роблять незалежної від характеристик обчислювальної машини. Моделюючі алгоритми представляються у вигляді логічної і операторних схем, в яких вказана послідовність операторів, кожний з яких представляє одну з груп

елементарних операцій. Логічна і операторна форми представлення алгоритму не враховують особливостей системи команд різних типів ЕОМ. Облік цих особливостей, побудова розгорнутих схем рахунку для відтворення окремих операторів алгоритму виконується при програмуванні.

При розробці математичної моделі процесу газотермічного напилення деталей розглядається ряд умов (залежностей):

- умова можливості усунення несправностей і дефектів, яка визначається по критеріям трудовитрат та можливості виконання відновлення;
- температурна умова;
- умова міцності зчеплення покриття, яка залежить від шорсткості поверхні деталі на напилені;
- умова існування процесу, яка залежить від технологічних чинників і усталісної міцності деталей;
- умова усталеної міцності, яка залежить від величин залишкових напружень в покритті, структурних неоднорідностей наявності оксидів, пористості покриття;
- умова попередньої підготовки поверхні, яка показує залежність залишкових мікронапруг від режимів механічної обробки до напилення;
- умова стабільності властивостей покриття;
- умова конструктивної прийнятності, яка характеризує доступність деталі, для нанесення покриття і умови роботи при експлуатації

3.1.3. Побудова групових процесів нанесення покриттів

Відповідно до ГОСТ, під групою розуміється форма організації виробництва, яка характеризується спільним виготовленням чи ремонтом групи виробів

різної конфігурації на спеціалізованих робочих місцях. Метод групової обробки розроблений проф. С. П. Митрофанов, він є подальшим розвитком ідеї типізації технологічних процесів. При груповій обробці створюють класи заготівель по видах верстатів (оброблювані на токарських, револьверних і т.д. верстатах). Основною задачею класифікації при груповій обробці є формування груп.

Створення групових технологічних процесів в економічному й організаційному планах є найбільш бажаним. Однак підібрати значну по номенклатурі групу таких деталей дуже важко, тому частіше використовуються схеми групової обробки.

Аналіз схем групової обробки показує різноманіття форм її організації, відкля впливає варіантність цілей і ознак класифікації деталей. При груповому методі обробки класифікація всієї номенклатури деталей чи цеху ділянки – не однократний, а багаторазовий процес: комплектуються групи по видах операцій (токарська, револьверна, зуборізна і т.д.). більшість деталей для виготовлення повинні проходити кілька операцій, і тому кожна з них увійде не в одну, а в кілька груп. Такі групи виходять укрупненими. Для можливості обробки деталей групи при одному налагодженні укрупнену групу розділяють на групи по типорозмірах верстатів, по методах установки заготівель і типам пристосувань, по точності і якості поверхонь. Для прискорення і полегшення роботи з класифікації і групування деталей використовують лічильно-перфораційні чи електронно-обчислювальні машини.

Після уточнення складу групи створюють її представника – комплексну деталь. Вона створюється шляхом додавання на кресленні самої складної деталі поверхонь, що маються на інших деталях групи.

Наступним кроком є проектування, стосовно до комплексної деталі, групового технологічного чи процесу групових операцій. Для кожної операції встановлюють послідовність і зміст переходів, вибирають устаткування. Груповий технологічний процес, послідовність операцій у ньому і

послідовність переходів у групових операціях повинні бути такими, щоб по них можна було обробляти будь-яку деталь групи без значних відхилень від загальної технологічної схеми.

Метод групової обробки передбачає обов'язкове використання способу автоматичного одержання заданих розмірів. Тому для кожної операції розробляють схему групового налагодження верстата. Налаштування верстата, здійснене для комплексної заготівлі, дає можливість без серйозного переналагодження обробляти будь-яку деталь групи. Допускається незначне підналагодження верстата, що, однак, повинна виконуватися з мінімальною витратою часу (заміна свердлів, перестановка лінійних і діаметральних упорів, заміна змінних деталей групового пристосування).

Наступний етап – проектування і виготовлення групового оснащення – пристосувань і інструментів. В окремих випадках передбачається часткова чи повна модернізація верстата.

Розглянемо тепер питання про джерела ефективності групового методу обробки деталей. Як і при типізації технологічних процесів, при використанні групового методу скорочуються витрати праці на проектування технологічних процесів і оснащення, скорочуючи витрати засобів на виготовлення спеціального оснащення, прискорюється процес підготовки виробництва та освоєння нового об'єкта. Але при груповому методі, крім того, забезпечується значне скорочення витрат часу на виготовлення деталей, тобто забезпечуються значний ріст продуктивності праці робітників.

Розподіл об'єктів по класах здійснюється по конструктивно-технологічній спільності. У групу поєднуються ті представники класу, що крім конструктивно-технологічної подоби, характеризуються спільністю необхідного для ремонту устаткування, оснащення і спеціального інструмента. Для групи вибирається типовий технологічний процес.

В нашому випадку це сучасні технологічні процеси газотермічного напилення покриттів для відновлення деталей АТ.

3.2. Контроль процесу механічної обробки після нанесення напилених покриттів

Механічна обробка напилених поверхонь (токарна, шліфівка, віброгалтування та інші) проводиться на попередньо відпрацьованих для кожного виду покриттів і конкретної деталі режимах на заводському обладнанні. Далі в п. 1.6 буде розглянуто один із видів механічної обробки – фінішна обробка.

Усі застосовувані матеріали повинні відповідати ГОСТу та ТУ.

Процес струминно-ерозійної обробки контролюється за грануляцією корунду, тиском чистого повітря, суцільністю поверхні після обробки (піскоструминної).

Контроль виконується в наступній послідовності:

1. Після піскоструминної обробки контролювати поверхню на відсутність необроблених місць візуально. У разі виявлення ці місця підлягають повітряній піскоструминній обробці.
2. У процесі напилення контролювати режим напилення відповідно діючої виробничої інструкції.
3. Товщину покриття контролювати в процесі напилення спеціальним або універсальним інструментом.
4. Якість напиленого шару контролювати зовнішнім оглядом за еталоном на відсутність сколів, шпарин, крапель, пропусків запиленості поверхні.

У разі виявлення дефектів на напиленому шарі, виниклих у процесі напилення, при подальшій обробці або складанні допускається видалення дефектного

шару з усієї деталі струйно-ерозійною обробкою та повторним напиленням покриття. Місцевий ремонт покриття не допускається.

3.2.1 Визначення міцності зчеплення покриттів

Одним із визначальних показників якості являється міцність зчеплення і твердість.

Контроль цих якостей, в основному, дозволяє оцінити правильність призначення режимів і умов нанесення покриттів.

Варто мати на увазі, що міцність зчеплення залежить від величини залишкових напруг, що виникають у покриттях після остигання нанесеного шару.

Величина цих напруг залежить зокрема, від товщини покриття, збільшуючись з її ростом, тому в експериментах по визначенню міцності зчеплення товщини покриття по зразках – свідках повинна мало відрізнятися від товщини покриття на реальних деталях. Відомо кілька основних методів кількісної оцінки зазначених властивостей покриттів. При їхньому виборі варто виходити з того, що вони повинні забезпечити:

- можливість кількісної інтерпретації результатів;
- максимальне наближення лабораторних умов досліджень до реальних умов експлуатації;
- можливість зіставлення отриманих результатів із заздалегідь відомими даними;
- доступність, простоту й економічну доцільність.

При визначенні міцності зчеплення дозволяється виключити з розгляду не більш двох зразків, що мають розкид більш 30%.

Міцність зчеплення конкретного покриття не повинне бути нижче величини, установлені технологічною інструкцією з його нанесення.

3.2.2 Визначення твердості газотермічних покриттів

Контроль твердості покриттів дозволяє запобігти надходженню в експлуатацію відновлених деталей із твердістю покриттів вище технологічних допусків на цьому показнику, тому що завищення значення твердості ущільнювальних покриттів приводить до прискореного зносу контактуючих з покриттям сполучених деталей.

Вимір твердості здійснюється на зразках, матеріалу для яких може бути будь-яка сталь, наприклад, ст3. Зразки можуть використовуватись багаторазово, за умови відсутності, будь яких відхилень їхньої форми від вимоги креслень.

Для виміру твердості газотермічних ущільнювальних покриттів найчастіше використовуються методи Бринеля, що регламентується ГОСТ 9012-59.

Сутність методу полягає в тому, що кулька визначеного діаметра протягом встановленого часу вдавлюється з визначеною силою у діаметр відбитка, що залишився на поверхні зразка.

Слід зазначити, що число твердості по Бринелю залежить від прикладеного навантаження, тому ці величини необхідно вибирати відповідно до рекомендації ГОСТ. Поверхню зразка варто підставити так, щоб діаметр зразка спостерігався контрастно. Товщина основи зразка повинна бути такою, щоб відбиток не викликав на зворотній стороні будь-якої помітної деформації. За число твердості приймати середнє арифметичне результату трьох вимірів.

3.2.3 Проведення металографічних обстежень газотермічних покриттів

Металографічний контроль якості покриттів необхідний при обробці технологічного процесу напилення, для визначення параметрів і умов, що забезпечують оптимальні властивості напиленого шару. Він проводиться після того, як досягнуті визначені властивості від покриття, що є необхідними (твердість, агдезійна міцність, зносостійкість і т.п.). Структура, що відповідає оптимальним властивостям покриття, приймається за еталон.

Надалі металографічний аналіз проводиться у випадках одержання покриттів з незадовільними властивостями для з'ясування причин браку, тобто служать контролем дотримання технологічного процесу нанесення покриттів. Металографічним покриттям визначають дійсну товщину покриття, щільність прилягання між шаром, між покриттям і основою, сховану пористість, характер перехідної зони, наявність не проплавлених часток, кількість і розподіл сплавів.

Металографічний контроль відноситься до методів, що руйнують, тому він проводиться на досвідчених зразках, на яких обробляється технологічний процес чи на зразках – свідках, напилених одночасно з партією виробу.

Задачі та особливості фінішної обробки газотермічних покриттів

Фінішна обробка зносостійких покриттів у порівнянні з обробкою інших конструкційних матеріалів має свої особливості. Через високу твердість і зносостійкість покриттів, шліфування їх звичайним абразивним інструментом дуже утруднено. Застосування в цих випадках алмазного і ельборового інструмента дозволяє не тільки одержати краща якість оброблених поверхонь, але і підвищує продуктивність процесу шліфування при меншій витраті абразивного матеріалу.

Великий вплив на процес шліфування газотермічних покриттів робить мастильно-охолоджуюча рідина (МОР). Однак на відміну від шліфування звичайних конструкційних матеріалів, при обробці газотермічних покриттів, що мають підвищену пористість, а отже, збільшену проникаючу здатність МОР у пори покриттів, з метою зменшення шкідливого впливу на покриття й основу тип МОР варто вибирати з визначеними характеристиками .

Після напилювання поверхня газотермічних покриттів, як правило, має велику шорсткість і волнистість, механічна їхня обробка виробляється в два прийоми

: чорнове і чистове шліфування. При цьому дуже важливо в обох випадках підібрати оптимальні режими шліфування, тому, що істотне розходження властивостей плазменних, газополум'яних і детонаційних покриттів вимагає рекомендації для кожного виду покриття своїх режимів абразивної обробки, що виключають появу тріщин, огранювання, спучування, викришування і прижогів. Помилковим вибором інструмента і призначенням режимів шліфування можна звести нанівець весь попередній технологічний процес виготовлення деталей з покриттями, а також збільшити знос дорогих алмазних ельборових кіл.

При обробці газотермічних покриттів дуже важливо також мати рекомендації з мінімально припустимій товщині покриття після шліфування з урахуванням критеріїв їхньої працездатності і схильності до появи дефектів.

Таким чином, правильний вибір абразивного інструмента - СОР і режимів шліфування дасть можливість домогтися відсутності дефектів, забезпечити гарна якість поверхні, зменшити знос шліфувальних кіл, досягти великій продуктивності і великій економічній ефективності процесу фінішної обробки газотермічних покриттів.

3.3 Рекомендації по зниженню коефіцієнта тертя деяких газотермічних покриттів

Газотермічні покриття поряд з високою зносостійкістю мають високий коефіцієнт тертя. Це обставина в ряді випадків обмежує застосування покриттів вимагає додаткових технологічних заходів; спрямованих на поліпшення їхніх антифрикційних властивостей.

1. Коефіцієнт тертя газотермічних покриттів можна зменшити, використовуючи наступні технологічні прийоми

- вибір оптимальної жорсткості поверхні і взаємного розташування слідів механічної обробки (шліфування);
- просочення поверхні покриттів антифрикційними складами

- модифікація поверхні покрить нанесенням твердих змащень і осадженням м'яких металевих і полімерних плівок.

2. Вихідна жорсткість і взаємне розташування слідів фінішної обробки контактуючих поверхонь значно впливають як на знос, так і на коефіцієнт тертя. Для більшості конструкційних сплавів, що працюють в умовах фретінг-корозії, ці фактори не мають вирішального значення, тому що через високу інтенсивність зношування мікро геометрія тертьових поверхонь швидко змінюється і встановлюється рівноважна жорсткість, що мало залежить від вихідної. У випадку застосування зносостійких покрить вихідна мікро-геометрія поверхні буде тривалий час зберігатися і тим самим визначати функціональні властивості контакту сполучених деталей. Отже, жорсткість і взаємне розташування слідів обробки будуть істотно впливати на величину коефіцієнта тертя.

3. Для здійснення другого технологічного заходу необхідно, щоб пористість покриття була не нижче 5 %. Як антифрикційні добавки можна використовувати фторопласт, дисульфід молібдену, графіт. Просочення містить у собі наступні операції.

- підготовка суспензії антифрикційних компонентів у воді.

- просочення.

- сушіння.

Для більш повного заповнення пір краще робити вакуумне просочення або просочення під тиском. Операцію просочення і сушіння необхідно повторити три-п'ять разів. Після першого просочення виробляється сушіння при температурі не більш 100 С протягом 20-30 хвилин. Остаточне сушіння проводять при температурі 200 С в плин двох годин.

4. У випадку покрить, пористість яких менш 5 %, значного поліпшення антифрикційних властивостей можна досягти нанесенням на їхню поверхню

твердих змащень, металічних і полімерних плівок, що володіють низьким опором зрушенню.

Найбільш низький коефіцієнт тертя має мідь і срібло. Змащення ЦВСП-3С дає гарний результат при нанесенні на невідшліфовані поверхні. Низьке і стабільне значення коефіцієнта тертя в даному випадку забезпечуються безупинною регенерацією мастильної плівки за рахунок надходження змащення з западин мікро рельєфу. На шліфованій поверхні шар змащення швидко руйнується і віддаляється з зони контакту, унаслідок чого коефіцієнт тертя поступово наближається до вихідного значення.

3.4 Контроль якості покриття при промиванні

1. Після механічної обробки покрить із застосуванням СОР робити промивання деталей у теплій непротічній воді для видалення СОР.
2. Для повного видалення залишків СОР після промивання в теплій непротічній воді промити деталі в холодній і теплій проточній воді.
3. Після промивання у воді деталі висушити обдуванням теплим чистим чи повітрям у сушильній шафі при температурі 100 – 110 С до повного видалення вологи.
4. Деталі з покриттями після промивання і сушіння піддаються візуальному контролю лупи 4-10-кратного збільшення, у процесі якого виявляються зовнішні дефекти: тріщини, спучування, відшарування, викрашування неприпустима пористість і інші несплошності.
5. У напиляних покриттях після фінішної обробки тріщини, спучування, відшарування не допускається чи не повинні перевищувати норм, установлених Генеральним конструктором виробу

6. Контроль відкритої пористості повинний вироблятися по еталонах на кожне покриття.

7. При відсутності еталона контроль відкритої пористості. Складається у виявленні і визначенні площини черновин.

Відкрита пористість Поткр визначається за формулою:

$$Поткр = \frac{\sum S_n}{\sum S_o} \cdot 100\%$$

де $\sum S_n$ – сумарна площа пір на поверхні покриття контрольованої деталі;

$\sum S_o$ - загальна площа покриття контрольованої робили.

3.5 Сертифікація процесів згідно UTCQR-09.1 та PWP-AP C0.08.0021

Плану контролю процесу

Інженерна служба повинна забезпечити, сертифікацію всіх основних виробничих процесів підприємства після отримання всіх необхідних кваліфікаційних висновків і приймання першого виробу, якщо того вимагає замовник.

Типовий пакет документів з сертифікації, як мінімум, повинен включати:

- Затверджену форму Плану управління процесом;
- Статзвіт за кількісними ключових характеристиках, виконані, як мінімум, по 25 послідовним спостереженням, в яких не міститься невідповідна продукція і демонструють значення показника стабільності процесу $CpK = 1,33$;
- Записи з приймання якісних ключових характеристик (напр., візу-альний контроль, поверхневі дефекти, оцінка мікроструктури) виконання, як мінімум, по 45 послідовним спостереженнями, в яких не міститься невідповідну продукцію;
- Копія звіту про приймання першого виробу там, де це необхідно;

- Схвалення, отримані від замовника, якщо необхідно.

Інженерна служба повинна зберігати комплекти сертифікаційних доку-ментів 8 років.

Процес підлягає пересертифікацію в наступних випадках:

- Перекваліфікація;
- Невиконання більше 12 місяців;
- Зміни процесу як результат заходів по постійному поліпшенню

Якщо умови процесу сертифікації виконані, то виробнича служба і ЗККП повинні схвалити форму Плану управління процесом.

Висновки до розділу 3

1. Сертифікація процесов нанесення покриттів це комплексний підхід до підприємства, устаткуванню і методам нанесення покриттів. Тому проведена систематизація по класах і групах об'єктів та методів наесенія захисних покриттів застосовуються в аіаціонной та машинобудівної промисловості.

2. Показані принципи проектування процесов нанесення покриттів при сертифікації. Автоматизація проектування технологічних процесів передбачає використання сучасних електроних пристроїв як для методів нанесення покриттів так і для контролю їх після нанесення і шліфування.

3. Механічна обробка має дуже важливе значення при сертифікації процесов нанесення покриттів. Механічна обробка э невід'ємна частина технологічного процесаа отримання якісних покриттів готових до експлуатації.

4. Впровадження системи якості ACE (Achieving Competitive Excellence) (Досягнення Конкуретної Переваги) в процесі нанесення покриттів дозволить:

- зосередитись на процесах та даних процесів нанесення;

- орієнтоватися на вимоги замовників;
 - постійно спрямоватися на усунення прогалин між цілями і фактичними результатами;
 - Використовувати для поліпшення результатів роботи корпорації.
5. Потік цінності це основне завдання Операційної Системи АСЕ де все обертається навколо замовника і досягнення конкурентної переваги продукції та спрямовується на виробленні необхідної кількості продукції необхідної якості точно тоді, коли замовник очікує їх.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Створення здорових і безпечних умов праці є важливою державною справою. Поліпшення умов праці, підвищення її безпеки і нешкідливості має велике соціальне і економічне значення та впливає безпосередньо на підвищення продуктивності праці, на поліпшення якості продукції, що випускається.

Продуктивність праці підвищується завдяки збереженню здоров'я і працездатності людини, економії живої праці шляхом підвищення рівня використання робочого часу, продовження періоду активної трудової діяльності, економії суспільної праці шляхом підвищення якості продукції, зменшення числа аварій і нещасних випадків на виробництві.

Дотримання норм і правил по охороні праці є однією з найбільш важливих характеристик стану виробничої і трудової дисципліни.

Охорона праці — це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, які забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини.

У розділі охорона праці будуть розглянуті умови роботи в ТОВ «Paton Turbine Technologies» і ухвалені технічні рішення по безпеці виконання робіт, гігієні праці і виробничої санітарії, по пожежі.

4.1. Опис робочого місця. Умови праці суб'єкта.

Охорона праці – один з численних соціально-економічних чинників, які впливають на продуктивність праці, кількість і якість професійних захворювань, травматизм на виробництві, а також на кількість і наслідки аварій.

Система СКП обслуговується у залі (ремонтному цеху) на , що володіє наступними, важливими для охорони праці, характеристиками:

1. зал з розмірами: ширина 20 м, довжина 30 м, висота стелі 4 м, відповідно площа – 600 м^2 ;
2. вікна виходять на північ, двері виходять в коридор на південь;
3. склад виконуваних у цеху робіт: перевірка на механічні пошкодження, перевірка електронного керуючого устаткування
4. у приміщенні працюють 5 чоловік. Цех оснащений чотирма персональними комп'ютерами, які живляться від мережі змінного струму напругою $U = 220 \text{ В}$ і частотою $f = 50 \text{ Гц}$.

4.2. Перелік шкідливих та небезпечних чинників.

В результаті приведенного аналізу виділимо наступні небезпечні і шкідливі чинники згідно ГОСТ 12.0.003-74 :

1. підвищений рівень шуму і вібрації (у приміщенні є прилади, які можуть на якийсь час стати джерелами шуму);
2. недостатнє освітлення приміщення (можливий недолік природного освітлення, робота пов'язана з розрізненням об'єктів з дуже малими геометричними розмірами);
3. підвищений рівень протягів;

4. враження електричним струмом: використовується змінна напруга з частотою для підключення ЕОМ і роботи освітлювальних приладів;
5. пожежі: можливий спалах твердих горючих матеріалів в результаті короткого замикання або порушення одним із службовців правил техніки безпеки.

Прийнявши до уваги перераховане вище, розглянемо питання, пов'язані з безпекою праці, виробничою санітарією і пожежною безпекою в приміщенні.

4.3 Організаційні та конструктивно-технологічні методи по зниженню впливу небезпечних та шкідливих факторів виробництва.

Під робочим місцем розуміють частину площі виробничої ділянки, оснащеної устаткуванням, інвентарем і іншими пристроями, які необхідні для роботи.

Технічні засоби, які визначають склад робочого місця, підрозділяються на декілька груп. Основні з них – засоби відображення і засобу управління.

При проектуванні робочих місць повинні бути дотримані наступні вимоги:

1. достатність робочого простору, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи при експлуатації і обслуговуванні устаткування;
2. достатні фізичні, зорові і слухові зв'язки між оператором і устаткуванням;
3. оптимальне розміщення робочих місць в приміщеннях для оперативної роботи, достатні проходи для операторів;
4. оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця;
5. необхідне природне і штучне освітлення для виконання робіт.

б. планування робочого місця здійснюється з урахуванням антропологічного завдання і даних людини.

При проектуванні і розміщенні робочих місць варто передбачати заходи, які знижують передчасну втому оператора, запобігають виникненню психофізіологічних стресів, появи помилкових дій. Конструкція робочого місця повинна забезпечувати швидкість, безпеку, простоту і економічність технічного обслуговування. Вона повинна бути такою, щоб на робочому місці було зручно працювати. Найважливішими характеристиками робочого простору є зони досяжності

4.3.1 Шум і вібрації

Шум негативно відбивається на продуктивності розумової праці. Невеликий надлишок шуму не дає нормальної можливості зосередитися на виконанні робіт пов'язаних з інтелектуальним навантаженням. Неприпустимий постійний шумовий фон веде до погіршення стану нервової системи, що може зробити украй небажаний вплив на травну систему людини і зокрема на роботу шлунку.

Допустимі рівні звукового тиску на робочих місцях повинні відповідати вимогам «Санітарних норм допустимих рівнів шуму на робочих місцях» № 3223-85 і ДСН 3.3 6.037 – 99 «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Вібрація устаткування на робочих місцях не повинна перевищувати допустимих величин, встановлених «Санітарними нормами вібрації робочих місць» № 3044-84 і ДСН 3.3.6.039 – 99 «Вібрація. Загальні вимоги безпеки».

Рівень звукового тиску в приміщеннях обчислювальних лабораторій не повинні перевищувати 50 Дб.

Джерела шуму: цех, вентиляція системних блоків, пристрої для контролю цілісності матеріалу, освітлювальні прилади.

В цьому випадку передбачені засоби і методи захисту від шуму:

1. використання сучасних засобів для перевірки СКП;
2. сертифікована ЕОМ на озброєнні має вентилятор, шум від якого не перевищує допустимі показники. Якщо рівень звукового тиску від шуму вентилятора збільшився і відрізняється від паспортного у більшу сторону, то необхідно зробити або ремонт, або остаточну заміну блоку;
3. використання шумопоглинаючого покриття для стін.
4. освітлювальні прилади є джерелами шуму тільки у разі несправності. Такий шум усувається відносно безпечним ремонтом – силами від одного до трьох співробітників;
5. рекомендується також з метою зниження шуму розміщувати на стінах календарі і плакати, це відчутно понизить звуковідбивні властивості стін і зменшить кількість звукової енергії, що потрапляє на барабанну перетинку людського вуха.

4.3.2 Виробниче освітлення

Погане (недостатнє) освітлення негативно впливає на зір. При слабкому освітленні виконання робіт, які вимагають великої напруги від зорової системи, виконуються з перенапруженням, що негативно відбивається на працездатності і викликає втому, а при регулярному недоліку освітленості відбувається постійне погіршення зору.

У приміщенні здійснено одностороннє бічне природне освітлення у зв'язку з тим, що в робочій кімнаті вікна виходять тільки на північ. Штучне освітлення здійснюється завдяки лампам денного світла (ЛБ-40-1). У приміщенні застосовується загальна система освітлення.

Приміщення відділу по завданнях зорової роботи відноситься до першої групи:

1. характер зорової роботи – високій точності: це пов'язано з розрізненням товщини ліній на графіках і кресленнях, на маркіровках, на неякісно скопійованих документах;
2. об'єкт розрізнення – 0,3...0,5 мм;

3. контраст об'єкту розбіжності з фоном – великий;
4. характер фону – світлий.

Необхідний рівень освітленості у виробничих приміщеннях регламентується ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Необхідне штучне освітлення:

1. комбіноване 750 лк;
2. загальне 300 лк.

Необхідне природне освітлення (у КПО – коефіцієнт природного освітлення):

1. природне бічне освітлення – 2;
2. суміщене бічне освітлення – 1.2;
3. штучна освітленість робочої поверхні 200 лк (при загальній системі освітлення, але тому що дане приміщення – конструкторський відділ, то освітленість необхідно підняти до 300 лк);
4. показник дискомфорту 40;
5. коефіцієнт пульсації освітленості більше 10%.

4.3.3 Мікроклімат

Нормовані параметри мікроклімату: температура, відносна вологість повітря, швидкість переміщення повітря, потужність теплових випромінювань.

У залах з працюючою обчислювальною технікою на робочих місцях з пультом, при операторських видах роботи, параметри мікроклімату повинні відповідати ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».

Системи вентиляції, кондиціонування і опалювання повітря повинні бути виконані відповідно до СНиП 2.0405-91 «Опалювання, вентиляція і кондиціонування повітря»

У приміщеннях з надміром тепла необхідна регуляція подачі теплоносія для дотримання параметрів мікроклімату. Як нагрівальні прилади в машинних залах варто встановлювати реєстри з гладких труб або панелі променевого

опалювання. Не можна використовувати електронагрівальні прилади і парове опалювання.

Для забезпечення необхідних по нормативах параметрів мікроклімату передбачено:

1. водяне опалювання низького тиску;
2. місцева вентиляція (два кондиціонери БК-2500);
3. температура 21...25°C;
4. вологість 50...60%;
5. швидкість руху повітря 0,1 м/с

4.4 Розрахунок необхідної кількості освітлювальних ламп

В цеху для штучного освітлювання застосовуються освітлюванні прилади ОДОР-2 з двома люмінісцентними лампами ЛБ-40.

Освітленність у приміщенні потрібна дорівнювати 300 лк. Загальна площа кімнати 600 м², висота стелі 4 м. Напруга живлення становить 220 В. Коефіцієнти використання світлового потоку становлять: для стелі 50%, для стін 50%, для робочого місця 10%. Коефіцієнт запасу приймаємо 1,8.

Питома потужність для напруги U= 220В і K1 = 1,5 становить W = 20,4 Вт/м².

4.4.1 Розрахунок системи загального освітлення методом світлового потоку.

Розрахунок системи загального освітлення виконуємо використовуючи «Державні будівельні норми»

Світловий потік однієї лампи Φ знаходимо за формулою:

$$\Phi = \frac{100 \times E_n \times K_3 \times S \times Z}{N \times \eta}$$

$$i = \frac{S}{h \times (A + B)} = \frac{600}{6 \times (20 + 30)} = 2,$$

де A і B - довжина і ширина приміщення, м;

Висота світильника над робочою поверхнею, м. $h=8 - 0.5 - 1.5=6$ м.

K_z , - коефіцієнт приміщення ($K=1,3 - 1,8$);

E_n - нормативне значення освітленості, ($E_n=300$ лк);

S - площа приміщення, $S = A \times B = 30 \times 20 = 600 \text{ м}^2$;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення $z = 1,1$;

N - кількість світильників;

η - коефіцієнт використання світлового потоку $\eta=0.52$;

H – висота приміщення, 8 м.

Кількість світильників залежить від параметрів приміщення:

$$N = N_d * N_w ;$$

де $N_d = \frac{A}{L}$ - кількість світильників по довжині приміщення;

$N_w = \frac{B}{L}$ - кількість світильників за шириною приміщення;

A і B - відповідно довжина і ширина приміщення, м;

L - відстань між світильниками. $L = h * \lambda$, $L = 0.8 * 6 = 3.8$ м. $N = 24$

Коефіцієнт η визначається за таблицями залежно від типу світильника, коефіцієнтів відбиття $\rho_{ст}$ (стін), ρ_c (стелі), ρ_n (підлоги) та індексу приміщення i .

$$\text{Визначаємо світловий потік } \Phi = \frac{100 * 300 * 1,1 * 600 * 1,5}{24 * 52} = 21336 \text{ лк.}$$

Після зроблених підрахунків світловий потік $\Phi = 21336$ лк підбираємо лампу ЛБ-40 зі світловим потоком $\Phi = 3000$ лк.

$$N = \frac{100 \times E_n \times K_3 \times S \times Z}{\Phi \times \eta} = \frac{100 * 300 * 1.1 * 600 * 1.5}{21336 * 52} = 28$$

Обираємо світильник ЛСП 06-2х с двома лампами ЛБ – 40.

Визначимо кількість світильників:

$$N_{ссв} = \frac{N}{2} = \frac{28}{2} = 14$$

4.4.2 Законодавчі і нормативно-правові акти охорони праці

Розділ виконано згідно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ та ДНАОП 5.10.30-106.98.

Інформаційною, нормативно-правовою базою, яка регламентує порядок функціонування охорони праці, служать державні стандарти, положення, інструкції, стандарти підприємств (СТП) і інші нормативно-правові акти за допомогою яких можна отримати необхідну і достатню інформацію для ухвалення рішень.

Порядок функціонування охорони праці в авіаційній галузі регламентують наступні законодавчі і нормативно-правові акти:

- ГОСТ 2293 – 93 «Охорона праці. Терміни і визначення»;
- Правила пристрою електроустановок (ПУЭ - 86);
- Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила технічної безпеки при експлуатації електроустановок споживачів;
- ГОСТ 12.1.019 - 79. ССБТ «Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту»;
- ГОСТ 12.1.004 - 91. ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги»;
- ГОСТ 12.1.010 - 76. ССБТ «Вибухобезпечність. Загальні вимоги»;

— ГОСТ 12.1.044 - 89 ССБТ «Пожежна безпека речовин і матеріалів.
Номенклатура показників і методи їх визначення.

4.5 Пожежна безпека

Пожежі і вибухи на підприємстві являють собою велику небезпеку і залишаються важливою причиною нещасних випадків на виробництві, заподіюють величезний матеріальний збиток, негативно впливають на роботу самого підприємства й інших, зв'язаних з ним виробництв.

Пожежна безпека передбачає такий стан об'єктів, при якому виключається можливість пожежі, а у випадку його виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека забезпечується системами запобігання пожежі і пожежного захисту, що включають комплекс організаційних заходів і технічних засобів.

Вимоги до системи запобігання пожежі.

Для запобігання пожежі в системі передбачено відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ, ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ:

- виконання мережі джерел тиску з рядом конструктивних особливостей, що забезпечують безпеку мережі в пожежному відношенні;
- вибір вибухобезпечної робочої рідини;
- суворе дотримання інструкцій з техніки безпеки під час стендових випробувань.

У випадку виникнення пожежі передбачено провадити її гасіння за допомогою широко застосовуваних вогнегасників ОВП-100, ВВК 18 (ОУ 25). Також можна використовувати такі способи гасіння: піна, пісок, кошма; при об'ємному гасінні – вуглекислий газ, склад СЖБ, склад „3,5” та пар. При

загорянні у робочому приміщенні застосовують наступні способи пожежогасіння: розпилену воду, піну, вогнегасні порошки П-2АП, П-2АПМ і ПСБ-3; ПСБ-3, ПФ або ПХК П-2АП, П-2АП, ПСБ-3, ПФ.

Система протипожежного захисту включає в себе:

- засоби пожежогасіння та відповідні види пожежної техніки в місцях проведення ТО та ремонту літака;
- організаційні заходи по забезпеченню працюючих, інструктаж про порядок роботи з легкозаймистими речовинами.

Висновки до розділу 4.

Аналізуючи конструктивні особливості, при проектуванні системи, можна зробити висновки про те, що спроектована система є безпечною у пожежному відношенні і придатна для експлуатаційних та ремонтних робіт.

Водночас варто відмітити, той факт, що при безпосередньому встановленні системи на літак, ремонті, обслуговуванні роботи проводяться в цехах які мають свою специфіку. Під цим розуміється, що освітлення опалення вентиляція зручність доступу до агрегатів роблять свій внесок у безпечність робіт, котрі проводяться.

В цьому розділі було проведено розрахунок освітлення робочого місця конструктора згідно державних будівельних норм (ДБН В.2.5-28-2006).

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Забруднення території важкими металами, що входять до складу захисних покриттів на лопатках турбін авіатехніки.

Охорона навколишнього середовища – це система законодавчих актів і заходів спрямованих на зниження впливу шкідливих і виробничих факторів:

- на ґрунт;
- водоймища;
- атмосферу;
- рослинність;
- тваринний світ.

Охорона навколишнього середовища являє собою форму відносин між суспільством і природою. Вона здійснюється різними засобами: економічними, правовими, науково-технічними, санітарно-гігієнічними, біологічними та іншими.

Однією з причин забруднення навколишнього середовища є збільшення обсягу відходів та викидів. До них відносять: не використані у виробництві матеріали, що не підлягають подальшій переробці, або продукти, що відслужили свій термін споживання, різні пакувальні матеріали, всілякі відвали та терикони породи тощо.

Діяльність, пов'язана із створенням і використанням авіаційного транспорту (АТ), в сучасних умовах найважливіша сфера застосування

інтелектуальних та технічних можливостей людства в інтересах вирішення оборонних, народногосподарських і наукових проблем, одна найважливіших складових науково-технічного прогресу.

Однак негативними наслідками сучасної науково-технічної революції стали пряма і побічна дія на навколишнє природне середовище (НПС), зменшення запасів сировинних та енергетичних ресурсів, негативний вплив на здоров'я людини тощо.

Із збільшенням інтенсивності виробництва та ремонту АТ прийшло розуміння того, що таке виробництво суттєво впливає на НПС, причому не тільки в районах функціонування, але й в значно більших просторово - часових масштабах, а сам вплив на НПС надзвичайно різноманітний – акустичний, тепловий, механічний, хімічний, електромагнітний, радіоактивний. Вочевидь, що деякі з вказаних типів дії взаємопов'язані між собою і їхній вклад в загальне забруднення НПС залежить, наприклад, від конструкції виробів, від умов функціонування техніки, аварійних ситуацій, від технології виробництва, експлуатації та ремонту АТ.

Результати досліджень цих процесів свідчать, що проблема шкідливого впливу експлуатації та функціонування АТ на НПС дійсно існує; деякі з наслідків цієї господарської діяльності вже зараз викликають серйозну стурбованість на регіональному та глобальному рівнях.

Стратегічними цілями в області забезпечення екологічної і техногенної безпеки авіатранспортних процесів є:

- підтримка сприятливого для здоров'я екологічно безпечного середовища для забезпечення фізичного, психологічного та соціального благополуччя населення;
- забезпечення раціонального природокористування в інтересах ефективного і стійкого соціально-економічного розвитку країни;

- збалансованість процесів відтворення і використання відновлюваних природних ресурсів, а також раціональне використання не відновлюваних ресурсів з широким залученням в господарську діяльність відходів виробництва;
- збереження біосферної рівноваги на локальному, регіональному та глобальному рівнях;
- збереження генетичного фонду, видової та ландшафтної різноманітності дикої природи, ландшафтно-архітектурних особливостей сільської місцевості та міських систем.

У зв'язку з інтенсифікацією діяльності цивільної авіації, експлуатації військової авіаційної техніки, загострилися проблеми охорони навколишнього природного середовища від матеріальних та енергетичних забруднень, від прямого впливу цих процесів на стан НПС

5.2 Вплив шкідливих викидів

Наземні джерела забруднення можна умовно поділити на такі, що знаходяться всередині авіаремзаводу, і ті, що розташовані за межами авіаремзаводу. До останніх належать, насамперед, установки теплоенергетики, які працюють на різних видах місцевого палива, тому й характер забруднень визначається видом палива, способами його спалювання і шляхами відведення викидів. До основних шкідливих речовин, які містяться в димових газах теплоенергетичних установок відносяться діоксид сірки SO_2 , оксид вуглецю CO , оксиди азоту NO_x , тверді частки вуглецю (сажі).

Однією з найважливіших умов мінімальних викидів шкідливих речовин із теплоенергетичних установок є вибір режиму спалювання палива, при якому досягається повне його згоряння.

В атмосферне повітря із виробничих приміщень авіаремзаводу надходять пари нафтопродуктів, розчинників, лакофарбувальних матеріалів, лугів, кислот, аерозолі водних розчинів їдкою, вуглекислою і

фосфорнокислого натрію, сірчистого ангідриду, оксидів азоту, окису вуглецю, пилу.

Кількість шкідливих речовин, що надходять в атмосферне повітря з виробничих приміщень авіаремзаводу через вентиляційні системи, може перевищувати гранично допустимі значення, які спричиняють перевищення допустимих концентрацій (ГДК) цих шкідливих речовин.

Особливо це може мати місце при груповому розташуванні вентиляційних шахт, коли виникає ефект сумації шкідливих викидів і навіть утворення нових шкідливих речовин більшої токсичності

Забруднення атмосферного повітря не тільки прямо впливають на здоров'я живих організмів, але й посередньо, змінюючи структуру, склад і навіть будову атмосфери, яка в новій якості впливає вже глобально на життєдіяльність людини, а також на рослинний і тваринний світ планети.

Діоксид сірки (SO_2) є найбільш поширеним забруднювачем атмосфери. Він утворюється при спалюванні в транспортних і промислових установках вугілля, мазуту, нафти та інших видів палива, що містять сірку, і з продуктами згоряння викидається в атмосферне повітря. Це безбарвний газ з різким запахом, який при температурі $+10^\circ\text{C}$ згущається в рідину. Він подразнює дихальні шляхи, викликаючи спазм бронхів. При утворенні густого туману (смогу) з діоксиду сірки вплив його різко збільшується. Загальна дія його проявляється в порушенні вуглеводневого та білкового обмінів, пригніченні окислювальних процесів в головному мозку, печінці, селезінці, м'язах. При сумісній дії з оксидом вуглецю токсичність діоксиду сірки зростає.

При вимиванні з атмосфери цих шкідливих сполук так звані "кислотні" дощі, що утворюються при цьому, знижують родючість ґрунту та ефективність застосування мінеральних добрив на орних землях, негативно впливають на довгорічні трави сінокосів і пасовищ, вражають деревні рослини, особливо дуб, липу, ялину, руйнують хлорофіл в листях.

5.3 Електромагнітне випромінювання, його джерела та параметри

Електромагнітне випромінювання — взаємозв'язані коливання електричного (E) і магнітного (B) полів, що утворюють електромагнітне поле. Розповсюдження випромінювання здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль. Електромагнітне випромінювання представляє собою потік фотонів, який тільки при великій їх (фотонів) кількості можна розглядати як неперервний процес.

Розрізняють вимушені (під впливом зовнішніх джерел) і власні електромагнітні коливання. В необмеженому просторі або в системах з втратами енергії можливі електромагнітні коливання з неперервним спектром частот. Просторово обмежені системи мають дискретний спектр частот причому кожній частоті відповідає один або кілька незалежних типів коливань (мод)

Представлення коливань у вигляді суперпозиції мод з неперервним або дискретним спектром можливе для довільної складної системи провідників та діелектриків, якщо поля, струм або заряди в них зв'язані між собою лінійними співвідношеннями.

Джерелами височастотного електромагнітного випромінювання є радіо- і телевізійні станції різного призначення, а також радіотехнічні засоби ЦА, в які входять:

- радіоустаткування зовнішнього та внутрішнього зв'язку (зв'язкові, командні та аварійні радіостанції);
- радіонавігаційне устаткування (бортові обзорні радіолокатори, доплеровські радіолокатори вимірювання швидкості і кута зносу, радіовисотоміри, радіокомпаси, радіовідстанеміри);
- радіоустаткування систем посадки повітряних кораблів (обзорні, диспетчерські та посадкові радіолокатори, радіопеленгатори, радіомаяки).

Електромагнітні поля характеризуються напруженостями електричного E (В/м) та магнітного H (А/м) полів.

Електромагнітне поле навкруги будь-якого джерела має три зони: ближню - так звану зону індукції, проміжну - зону інтерференції та дальню - хвильову зону.

Для спрямованих випромінювачів із максимальним діаметром випромінювача D дальня зона в головному максимумі випромінювання формується на відстані $r > 2D^2/\lambda$, ближня на відстань $r < D$, а проміжна знаходиться в межах $D < r < 2D^2/\lambda$.

В зоні індукції людина або інший біологічний об'єкт піддається дії електричного та магнітного полів, між якими немає певної чіткої залежності. В зоні випромінювання напруженості електричного та магнітного полів співпадають за фазою і виконується умова, коли $E = 377 H$

Інтенсивність σ (Вт/м²) ЕМП в зоні випромінювання оцінюється густиною потоку енергії, що проходить за одиницю часу через одиницю поверхні, перпендикулярної до напрямку поширення хвилі, за допомогою виразу:

$$\sigma = P_{\text{ср}} G_{\text{ант}} / (4\pi R^2),$$

де $P_{\text{ср}}$ - середня потужність передавача, Вт;

$G_{\text{ант}}$ - коефіцієнт підсилення антени;

R - відстань до випромінювача.

Коефіцієнт $G_{\text{ант}}$ визначається в залежності від геометричних розмірів D випромінювача: при $D < \lambda/2$, $G_{\text{ант}} = 1 \dots 1.5$; при $D > \lambda/2$, $G_{\text{ант}} = 4\pi D^2 / \lambda^2$.

5.4 Вплив шуму на навколишнє середовище та організм людини

Сьогодні шум – один із важливих факторів шкідливого впливу нашої цивілізації на довкілля, він небезпечний не менше, ніж забруднення повітря або води.

Шумом прийнято називати будь-які небажані звуки різної частоти та інтенсивності, які заважають трудовій діяльності чи відпочинку людей і чинять несприятливий вплив на живі організми.

За фізичною суттю шум – це механічні коливання часток пружного середовища (газу, рідини, твердого тіла), які виникають в результаті діяннjabудь-якої збурюючої сили. При цьому звуком називають регулярні періодичні коливання, а шумом – неперіодичні, випадкові коливальні процеси.

Джерелами шуму та інфразвуку можуть бути коливання, що виникають при співударі, терті, ковзанні твердих тіл, витіканні рідин та газів. В виробничих умовах джерелами коливань є працююче виробниче устаткування (електричні та пневматичні пилки, відбійні молотки, перфоратори, клепальні засоби, електродвигуни та генератори, турбіни, компресори, ковальсько-пресове, під'ємно-транспортне устаткування, вентилятори, кондиціонери і таке інше.

Джерелами шуму є транспортні засоби (автомобілі, літаки, трамваї, тролейбуси, залізничний транспорт), джерелами звукового удару є повітряні кораблі чи тіла, що рухаються з надзвуковою швидкістю і створюють.

Для зниження рівня вібрації від приводу устаткування стінки захисного кожуху покривають вібродемпфіруючим матеріалом. Кожухи можуть бути з'ємними чи розбірними, можуть мати оглядові вікна та отвори для комунікацій чи для проходження повітря, що охолоджує закрите кожухом устаткування. В цих випадках отвори слід обладнати глушителями шуму із звукопоглинаючого матеріалу.

В автомобілях звукопоглинаючими матеріалами покривають стінки, днище, багажник і місце розташування двигуна. При цьому шум знижується не тільки в салоні чи в кабіні водія, а і в навколишньому середовищі.

При проектуванні промислових підприємств і громадських будівель устаткування, яке є джерелом шуму, розміщують в ізольованих приміщеннях. Для зниження інтенсивності відбитих звукових хвиль здійснюють акустичну

обробку приміщень. Щоб запобігти відбиттю звука, стелю, стіни, підлогу тощо покривають звукопоглинаючими матеріалами.

Для запобігання шуму при закриванні дверей промисловістю випускаються спеціальні пружини, що забезпечують плавне прикриття дверей. Зниження шуму від ліфтових установок в житлових будинках досягається виносом ліфтових шахт за межі зовнішніх стін будівлі, використанням розсувних дверей з амортизуючими прокладками, віброізоляцією механізмів, старанним регулюванням окремих вузлів і механізмів, наприклад, шляхом центрування та балансування елементів лебідки та електродвигуна.

У боротьбі з транспортним шумом використовують і організаційні засоби: заборона звукових сигналів, польотів над містом ПК тощо. Найбільш повне уявлення про шумові навантаження на довкілля дають шумові карти міста або підприємства, що є основою для розробки заходів щодо зниження шуму. Карти вміщують інформацію про розташування промислових і транспортних підприємств, густоту населення, інтенсивність і швидкість руху транспортних засобів, типи будівель, експлуатаційні характеристики джерел шуму тощо.

На карту міста наносяться джерела шуму з їх рівнями, одержаними шляхом натурних вимірювань. За допомогою таких карт можна визначити шумовий режим на транспортних магістралях і територіях житлової забудови, визначити найбільш небезпечні в акустичному відношенні райони міста. Шумова карта дає можливість встановити фактори, що впливають на акустичний режим, рекомендувати заходи щодо зниження впливу шуму на довкілля, прогнозувати рівні шуму на житловій території міста при розробці комплексних містобудівних заходів.

Проблема зниження впливу авіаційного шуму на людей залишається достатньо гострою. Найбільш ефективним є комплексний підхід до вирішення цієї проблеми. При цьому передбачаються впровадження в експлуатацію малошумних літаків; застосування спеціальних експлуатаційних прийомів при зльоті і посадці; раціональна організація наземної і льотної експлуатації,

вдосконалення систем управління повітряним рухом; застосування будівельно-планувальних заходів; регламентація та впровадження систем контролю авіаційного шуму.

Шкідливий та небезпечний вплив шуму на організм людини встановлено тепер з повною визначеністю. Ступінь такого впливу переважно залежить від рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Численні дослідження підтвердили той факт, що шум належить до загальнофізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини.

Так, за даними медиків дія шуму може спричинити нервові, серцево-судинні захворювання, виразкову хворобу, порушення обмінних процесів та функціонування органів слуху тощо. Із загальної кількості захворювань, які перераховані вище, останнім часом значно зросла частка тих, які спричинені саме шумовим впливом. У зв'язку з цим, слід звернути увагу на той факт, що протягом багатовікової еволюції людина так і не набула здатності адаптуватись до дії шуму, як і не було створено природного захисту для високочутливого та досконалого органу слуху людини від дії інтенсивного шуму.

Наближено дію шуму різних рівнів можна охарактеризувати у такий спосіб.

- шум до 50 дБА, зазвичай, не викликає шкідливого впливу на людину в процесі її трудової діяльності.
- шум з рівнем 50—60 дБА може викликати психологічний вплив, що виявляється у погіршенні розумової діяльності, послабленні уваги, швидкості реакції, утрудненні роботи з масивами інформації тощо.
- за рівня шуму 65—90 дБА можливий його фізіологічний вплив: пульс прискорюється, тиск крові підвищується, судини звужуються, що погіршує постачання органів кров'ю.
- дія шуму з рівнем 90 дБА і вище може призвести до функціональних порушень в органах та системах організму людини: знижується слухова

чутливість, погіршується діяльність шлунку та кишківника, з'являється відчуття нудоти, головний біль, шум у вухах.

- при рівні шуму 120 дБА та вище здійснюється механічний вплив на орган слуху, що виявляється у порушенні зв'язків між окремими частинами внутрішнього вуха, можливий навіть розрив барабанної перетинки. Такі високі рівні шуму впливають не лише на органи слуху, а й на весь організм. Звукові хвилі, проникаючи через шкіру, викликають механічні коливання тканин організму, внаслідок чого відбувається руйнування нервових клітин, розриви дрібних судин тощо.

5.5. Методи з боротьби з шумовим забрудненням

Відносно джерела звуку, боротьба з шумом поділяється на:

- засоби, що знижують шум у джерелі його виникнення;
- засоби, що зменшують шум на шляху його поширення.

До заходів зменшення шуму в джерелі його виникнення відноситься поліпшена конструкція машин, застосування матеріалів, що не створюють сильних звуків, забезпечення мінімальних допусків, зміна прямозубих шестерень шевронними і т. ін.

До заходів зменшення шуму на шляхах його поширення відносяться такі методи як:

- акустичні;
- архітектурно-планувальні;
- організаційно-технічні.

До акустичного методу відноситься зменшення шуму шляхом звукопоглинання та звукоізоляції.

Звукопоглинання базується на перетворенні енергії звукових коливань часток повітря на теплоту за рахунок втрат на тертя в порах звукопоглинаючого матеріалу.

У виробничому середовищі рівень шуму значно зростає внаслідок його відбиття від огорожуючих будівельних конструкцій та обладнання. Для зменшення відбитого шуму застосовують акустичну обробку приміщень шляхом облицювання його поверхонь звукопоглинаючими матеріалами.

Ефективність звукопоглинаючих матеріалів залежить від коефіцієнта поглинання, якщо він дорівнює нулю, тоді вся енергія відбивається, якщо одиниці-вся енергія поглинається.

Звукопоглинаючими вважають матеріали, що мають коефіцієнт поглинання більше 0,2. Коефіцієнт звукопоглинання залежить від частоти звукових хвиль, кута їх падіння, товщини і типу матеріалів, ефективність яких визначається акустичними розрахунками.

Звукоізоляція, як метод зниження шуму на шляху його поширення, базується на відбитті звукової хвилі, що падає на екран, перегородку, огороження та ін. Ефективним звукоізоляційним матеріалом є метал, бетон, дерево та інші щільні матеріали.

Екранування використовують тоді коли інші методи малоефективні. Екран створює звукову тінь і є перешкодою на шляху його поширення. Екрани виготовляють зі сталевих листів (1-3мм), які з боку джерела шуму вкривають звукопоглинаючим матеріалом. Акустична властивість екранів залежить від його форми, розмірів, розміщення відносно джерела шуму й робочого місця.

Для боротьби з аеродинамічними шумами застосовують глушники шуму: абсорбційні, реактивні і комбіновані.

Архітектурно-планувальні методи включають в себе акустичне планування будівель і споруд, організацію робочих місць, розміщення обладнання, створення шумозахисту та раціональних зон руху транспортних засобів.

На території промислової та житлової забудови зменшення шуму досягається шляхом створення зелених насаджень з дерев та чагарників.

Організаційно-технічні заходи боротьби з шумом включають впровадження малOSHумного технологічного обладнання, дистанційне управління та використання раціональних режимів праці та відпочинку і т. ін.

Крім наведених колективних методів боротьби з шумом використовують засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Сюди належать протишумові навушники, що закривають слухову раковину ззовні і протишумові вставки, що закривають слуховий прохід. До ЗІЗ належать також протишумові шоломи, що закривають голову, і маски, які використовуються разом з навушниками. До профілактичних заходів щодо попередження професійної слухової патології належить скорочення часу контакту людини з шумом, влаштування короткочасних перерв для відновлення слухової функції, суміщення професій, попередні та періодичні медичні огляди. Термін проведення яких залежить від рівня шуму (від 1 разу на 3 роки до щорічного).

Висновки до 5 розділу

1. Враховуючи великий шкідливий вплив підприємств на навколишнє середовище, слід враховувати при їх експлуатації вимоги екологічної безпеки.
2. При подальшій модернізації систем контролю і управлінням екологічною безпекою необхідно враховувати екологічні вимоги і нормативи.

Підсумувавши усе вищесказане в даному розділі, можна сказати, що діяльність підприємства завдає значної шкоди навколишньому середовищу. Має місце забруднення атмосферного повітря.

Щоб зменшити вплив шкідливих факторів на навколишнє середовище, варто впроваджувати сучасні високотехнологічні заходи щодо його захисту.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. У сучасному машинобудуванні та авіабудуванні на сьогоднішній день всюди використовуються захисні покриття, без яких вже неможливо уявити собі сучасну техніку. Найбільш вживані на сьогоднішній день покриття являються газотермічні. Ці покриття володіють великим рядом переваг в порівнянні з іншими методами нанесення покриттів.

2. Для підвищення якості нанесення так і якості самих газотермічних покриттів. Обов'язково крім сертифікації підприємства яке здійснює нанесення покриттів сертифікувати та обладнання яке наносить захисні покриття. Ці дії є першоступеневими для здійснення сертифікації процесів нанесення захисних покриттів.

3. Сертифікація підприємства, обладнання та процесів підприємства є гарантом отримання якісної продукції що актуальне при сьогоднішніх ринкових відносинах.

4. Сертифікація процесів напилення захисних покриттів при виробництві складається з комплексного показника де оцінюються чотири блоки об'єктів підтвердження відповідності якості: готова продукція, технологічна система, технічне обслуговування та ремонт, система технічного контролю та випробувань.

5. Впровадження системи якості ACE (Achieving Competitive Excellence) (Досягнення Конкуретної Переваги) в процесі нанесення покриттів дозволить: зосередитись на процесах та даних процесів нанесення; орієнтуватися на вимоги замовників; постійно спрямоватися на усунення прогалин між цілями і фактичними результатами; поліпшати результати роботи компанії.

5. Основне завдання Операційної Системи ACE де все обертається навколо замовника і досягнення конкурентної переваги продукції та спрямовується на виробленні необхідної кількості продукції необхідної якості точно тоді, коли замовник очікує їх.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ISO 9000-2015 «Системи управління якістю. Основні положення та словник».
2. ДСТУ ISO 9001-2015 «Системи управління якістю. Вимоги».
3. Указ Президента України "Про заходи щодо підвищення якості вітчизняної продукції" // Голос України, 24.12.2004р.
4. ДСТУ ISO 9004-2018 Управління якістю. Якість організації. Наставни щодо досягнення сталого успіху.
5. Свиткин М.З., Мацута В.Д., Рахлин К.М. Менеджмент качества и обеспечение качества продукции на основе международных стандартов ISO.
6. ДСТУ EN 9100 -2018 Системи управління якістю. Вимоги до організацій авіаційної, космічної та оборонної галузей.
7. А.П. Кудрін, Г.А. Волосович, В.В. Лубяний, В.Д. Хишко, Г.М. Зайвенко ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ Київ 2008 С. 14,18, 25,38,45,57, 156, 174-187.
8. Девіс Дж. Р. Руководство по технологии термического напыления. Лондон, 2004. 456 с.
9. Spanrad S. Fatigue crack growth in laser shock peened Ti-6AL-4V aerofoils subjected to foreign object damage. / Spanrad S., Tong J. // 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA. – 2012.
10. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин Дніпропетровськ РВВ ДНУ 2015 С. 46, 79, 90.
11. Рожков О.Д. Технологія нанесення покриттів. Частина II: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. С15.
12. Мубояджян, С. А., Промышленная установка МАП-1 для нанесения защитных покрытий различного назначения [Текст] / С. А. Мубояджян, С. А. Будиновский. // Авиационная промышленность. - 1995. № 7 - 8. - С. 44 - 48.

13. Фетисов, Т.П. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 1: учебник для СПО / под ред. Г.П.Фетисова. - 8-е изд., пер. и доп. - М.: Издательство Юрайт, 2018. - 386 с.
14. Терещенко, Ю.М. Теорія теплових двигунів. Термогазодинамічний розрахунок газотурбінних двигунів [Текст] : навч. посібник / Ю. М. Терещенко. М.С. Кулик, Л.Г. Волянська та ін. - Київ: Вид-во Нац. Авіац. Уні-ту «НАУ-друк», 2009. - 328 с.
15. Кулик, М.С. Конструкція, міцність та надійність газотурбінних установок і компресорів [Текст]: підручник / М.С. Кулик, О.А. Тамаргазін, В.В. Козлов. - Київ : Вид-во Нац. Авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. - 480 с.
16. Богуслаев, В. А. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД [Текст] / В. А. Богуслаев, В. К Яценко, П. Д Жеманюк, Г. В Пухальская, Д. В. Павленко, В. П Бень. – Запорожье. : ОАО «МоторСич», 2005 г. – 559 с.
17. Доронин, Ю. В. Причины образования дефектов на профиле пера титановых лопаток при полировании [Текст] / Ю. В. Доронин, В. Ф. Макаров // МиТОМ. – 1991. – №12. – С. 17 – 19.
18. Стандарт ISO 14917 Thermal spraying - General requirements for thermal spraying. Загальні вимоги до термічного напилення.
19. Стандарт ISO 2063-1 Вимоги до металізації термічним напиленням.
20. Стандарт ISO 2063-1 термічне напилення, вимоги та методики нанесення металевих покриттів частина перша.
21. Стандарт ISO 2063-2 термічне напилення, вимоги та методики нанесення металевих покриттів частина друга.
22. Ляшенко Б.А. Структура и вязкость разрушения высокоуглеродистых сплавов с поверхностным модифицированным слоем / Б.А. Ляшенко, Ю.С. Самогутина // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2018. – Том 14, № 4. – С. 161-167.
23. Бородай А.В. О всеобщей механической модели трения тел и механизме процессов фрикционного массопереноса / А.В. Бородай // Пробл. синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и

- мехатронике: Матер. 2 Междун. научн.- практ. конф., Новочеркасск, 6 ноябр., 2003. Ч.1. Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2003. - С. 9-16.
24. Полянский А.С. Повышение ремонтпригодности автотракторной техники // Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов, ХНАДУ, Вып. 18. - Харьков, 2006. - С. 27-30.
25. Брусило Ю.В. Особливості використання авіаційної наземної техніки під час оперативного технічного обслуговування повітряних суден / Ю.В. Брусило, Т.Ю. Крамаренко // Вісник Національного авіаційного університету. - Київ: НАУ, 2011. - № 1(46). - С. 112-116.
26. Спосіб формування зносостійкої поверхні металевих виробів. Патент на винахід 79336 Україна, МПК Е 21 Д 21/00, В 23 Н 9/00/ В.Г. Гончаров, О.П. Клімова (Україна), -200505863; Заявлено 14.06.05, Опубл.17.10.05. Бюл. № 10 - 17 с.
27. Ильинский И.И. Методика определения параметров микротекучести листовых материалов. /Проблемы прочности, 1993, №2. с.105-109.
28. Schijve J. Fatigue of Structures and Materials. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. – 513 с.
29. Abdullahi K. Gujba. Laser Peening Process and Its Impact on Materials Properties in Comparison with Shot Peening and Ultrasonic Impact Peening / Abdullahi K. Gujba, Mamoun Medraj // Materials. – 2014. - № 7. – P. 7295-7974.
30. Gujba A. Laser Peening Process and Its Impact on Materials Properties in Comparison with Shot Peening and Ultrasonic Impact Peening. / Gujba A., Medraj M. // Materials. – 2014. – Vol. 7(12) – P. 7925–7974.
31. Лебедев А. О. Механіка матеріалів для інженерів. Навчальний посібник / А. О. Лебедев, М. І. Бобир, В. П. Ламашевський. – Київ: Політехніка, 2006. – 286 с.
32. Luo K. Y. Effects of laser shock peening and groove spacing on the wear behavior of non-smooth surface fabricated by laser surface texturing. / Luo K. Y., Wang C. Y., L, Y. M [and other] // Applied Surface Science. – 2014. – Vol. 313, – P. 600–606.

Документ підписано у сервісі Вчасно (продовження)
Іваницький М..pdf

Документ відправлено: 10:34 05.12.2024
Документ отримано: 07:39 05.12.2024

Відправник документу

Отримувач документу

Електронний підпис

10:34 05.12.2024

Ідентифікаційний код: 3376918538

Іваницький Максим Сергійович

Власник ключа: Іваницький Максим Сергійович

Час перевірки КЕП/ЕЦП: 10:34 05.12.2024

Статус перевірки сертифікату: Сертифікат діє

Серійний номер: 382367105294AF9704000000EE1F09007AC63003

Тип підпису: кваліфікований

Електронний підпис

11:06 08.12.2024

Ідентифікаційний код: 1743009617

КІНДРАЧУК МИРОСЛАВ ВАСИЛЬОВИЧ

Власник ключа: КІНДРАЧУК МИРОСЛАВ ВАСИЛЬОВИЧ

Час перевірки КЕП/ЕЦП: 11:06 08.12.2024

Статус перевірки сертифікату: Сертифікат діє

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000231240105C7AD05

Тип підпису: удосконалений

Електронний підпис

17:50 08.12.2024

Ідентифікаційний код: 1893206531

ОЛЬХОВИК ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Власник ключа: ОЛЬХОВИК ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Час перевірки КЕП/ЕЦП: 17:50 08.12.2024

Статус перевірки сертифікату: Сертифікат діє

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000CD4CD500A07E4605

Тип підпису: удосконалений

Електронний підпис

07:11 09.12.2024

Ідентифікаційний код: 2738315065

Мікосянчик Оксана Олександрівна

Власник ключа: Мікосянчик Оксана Олександрівна

Час перевірки КЕП/ЕЦП: 07:11 09.12.2024

Статус перевірки сертифікату: Сертифікат діє

Серійний номер: 2DBD5940D955E12A04000000413D02009A700A00

Тип підпису: кваліфікований

Електронний підпис

23:11 09.12.2024

Ідентифікаційний код: 2971701463

ЯКИМЕЦЬ ІРИНА ВЯЧЕСЛАВІВНА

Власник ключа: ЯКИМЕЦЬ ІРИНА ВЯЧЕСЛАВІВНА

Час перевірки КЕП/ЕЦП: 23:11 09.12.2024

Статус перевірки сертифікату: Сертифікат діє

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000FD589D0195DAB505

Тип підпису: кваліфікований