

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний інститут, Інженерно-фізичний
(повне найменування інституту, факультету)

Обладнання та технології зварювального виробництва
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка технологічного процесу відновлення
бондажної папки лопатки турбіни середнього тиску
авіадвигуна з проектуванням зливниці.

Виконав: студент(ка) VI курсу, групи ІФ-419м

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Відновлення та підвищення
якості деталей і конструкцій

Керівник Савонів Ю.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Ситніков М.М.
(прізвище та ініціали)

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

тут, факультет Фізико-технічний, Інженерно-фізичний
ра Обладнання та технології зварювального виробництва
з вищої освіти магістр
альність В1 Трикладна механіка
(код і найменування)
програма (спеціалізація) Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

[Підпис] [Підпис]
«17» 12 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ко Васерій Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові)

а проекту (роботи) Розробка технологічного процесу відновлення лопатки компресора середнього тиску авіадвигуна
експлуатаційним діючим.

ик проекту (роботи) Савонов Юрій Миколайович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

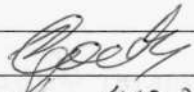
джені наказом закладу вищої освіти від «30» листопада 2020 року № 364
ок подання студентом проекту (роботи)

ідні дані до проекту (роботи) Креслення виробу - лопатки турбіни
середнього тиску. Виробничою програмою - 10000 шт/рік. Базова
технологія відновлення бандажної лопатки середнього тиску.

іст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
бити) Вступ; 1) Аналіз вихідних даних і формулюв. завдань;
методи досліджень відновлення лопаток ТСТ методом ППН; 3) Контроль
які наплавлення; 4) Вибір обладнання для наплавлення;
економіко-екологічні розрахунки діючої наплавлення; 6) Охорона праці
безпека у надзвичайних ситуаціях; Висновки; Додатки до проекту

елік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Лопатка ТСТ; 2) Морфологічні авіаційні сплави; 3) Результати вироб.
мічних сп. на привогу міцн.; 4) До вибору спос. нап.; 5) Установка
на нап. УПНС-304; 6) Пневмат. латекс; 7) Вплив пор-рів режиму нап.
розміри вихідної нап. мет.; 8) Мікрострук. графіків ЖС-32ВН, вироб.
ел ППН; 9) Економіка діючої; 10) Тех-еко. ефект від впровадн. розглянутої технології
сультанти розділів проекту (роботи)

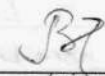
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прі вик зав
1-4	Саванов Ю.М., к.т.н., доцент, викл. каф. ОТЗВ		
5	Крушнінова В.В., к.е.н., доцент, викл. каф. ПТБД	4.10.20	
6	Нестеров О.В., к.т.н., доцент, зав. каф. ОПіНС		

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20 _____ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

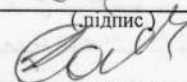
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	П
1.	Вступ	27.09.2020	ви
2.	Аналіз вихідних даних і формулювання завдання	05.10.2020	вик
3.	Обробка результатів досліджень	16.10.2020	вик
4.	Контроль якості наповнення, вибір обладнання	20.10.2020	вик
5.	Техніко-економічні розрахунки ділянки	15.12.2020	вик
6.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуац.	16.12.2020	вик
7.	Формулювання висновків і рекомендацій роботи	10.11.2020	вик
8.	Перелік джерел посилання	15.11.2020	вик
9.	Додатки	19.11.2020	вик
10.	Оформлення роботи, нормоконтроль	11.12.2020	вик
11.	Розробка доповіді до журисту	11.12.2020	вик
12.	Закінчення роботи до журисту		

Студент(ка)


(підпис)

Яхно В.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Саванов Ю.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 101 с., 33 рис., 24 табл., 22 посилання, 4 додатки.

ЖАРОМІЦНІСТЬ, НІКЕЛЕВІ СПЛАВИ, ЛОПАТКИ ТУРБІНИ, НАПЛАВЛЕННЯ, ПЛАЗМА, АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ, ПАРАМЕТРИ РЕЖИМІВ НАПЛАВЛЕННЯ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НАПЛАВЛЕННЯ.

Об'єкт дослідження – робоча лопатка турбіни середнього тиску та технологічний процес відновлення геометричних розмірів та форми зношеної бандажної полиці лопатки.

Мета проекту – удосконалення технології відновлення бандажних полиць робочих лопаток турбіни середнього тиску для підвищення якості ремонту, а саме – зменшення кількості дефектів у вигляді пор, тріщин, несплавлень основного металу з наплавленим шаром, та зниження трудомісткості технологічного процесу відновлення шляхом використання роботизованого комплексу для безпосереднього виконання наплавлення.

Встановлено, що застосування адитивних технологій у поєднанні з роботизацією процесу наплавлення дозволяє зменшити кількість операцій при відновленні лопатки шляхом виключення операцій механічної обробки після наплавлення, зменшити відсоток участі людини у виробничому процесі.

Встановлено закономірності впливу технологічних параметрів режиму наплавлення на геометричні характеристики наплавленого шару.

Практичне використання отриманих результатів дозволить підвищити технологічність процесу відновлення, що в свою чергу позитивно позначиться на якості ремонту і техніко-економічній ефективності у довгостроковій перспективі.

ABSTRACT

Explanatory note: 101 pages., 33 figure, 24 tables, 22 sources, 4 appendix.

HIGH TEMPERATURE STRENGTH, NICKEL ALLOYS, TURBINE BLADES, DEPOSITION, PLASMA, ADDITIVE TECHNOLOGIES, POWDER MATERIALS, PARAMETERS OF DEPOSITION, DEPOSITION QUALITY CONTROL

Object of research – medium pressure turbine blade and technological process of recovery sizes and shapes of worn out turbine blade.

Purpose of research – recovery process improvement for recovery quality raising – decreasing defects quantity and labor intensity decline by applying robotic complex for deposition.

It established that using of additive technologies with robotization of deposition process allow to reduce operation quantity during turbine blades recovery by excluding the mechanical treatment after deposition and percentage of human participation decreasing.

The regularities of deposition technological parameters influence at geometrical characteristics of deposited layer.

The practical use of the obtained results will allow raise recovery process manufacturability which in turn will have a positive effect on the quality of turbine blades recovery.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз вихідних даних і формулювання завдання на проведення досліджень	9
1.1 Аналіз жароміцних авіаційних сплавів на нікелевій основі	9
1.2 Призначення і опис виробу	11
1.3 Аналіз умов експлуатації лопатки турбіни	13
1.4 Аналіз механізму руйнування лопатки турбіни	14
1.5 Аналіз способів відновлення лопаток турбіни середнього тиску	20
1.6 Матеріали для плазмово-порошкового наплавлення	25
1.7 Параметри режимів наплавлення та їх вплив на якість наплавленого металу	34
1.8 Постановка завдання	39
2 Результати досліджень відновлення робочих лопаток турбіни середнього тиску методом ППН	40
2.1 Режими наплавлення та структура наплавлених зразків до та після термообробки	40
2.2 Механічні властивості дослідних зразків	42
3 Контроль якості наплавлення	44
4 Вибір обладнання для наплавлення	47
4.1 Обладнання для плазмово-порошкового наплавлення	47
4.2 Обладнання для інших технологічних операцій	49
5 Техніко-економічні розрахунки дільниці наплавлення	53
5.1 Аналіз ринку жароміцних матеріалів	53
5.2 Організація дільниці порошково-плазмового наплавлення робочої лопатки ТСТ	55
5.3 Виробнича програма та її матеріальне забезпечення	57

5.4 Розрахунок кількості обладнання та площі ділянки	59
5.5 Розрахунок кількості персоналу ділянки	62
5.6 Фонд оплати праці.....	64
5.7 Розрахунок собівартості робіт з відновлення	68
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	76
6.1 Аналіз потенційних небезпек	76
6.2 Засоби забезпечення безпеки.....	77
6.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....	81
6.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	86
6.4.1 Заходи з пожежної безпеки	86
6.4.2 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях	87
Висновки.....	91
Перелік джерел посилання.....	92
Додаток А Перелік графічного матеріалу.....	95
Додаток Б Специфікація установки УПНС-304.....	96
Додаток В Специфікація пневматичного притискача.....	97
Додаток Г Маршрутна карта технологічного процесу відновлення бандажної полиці лопатки турбіни середнього тиску.....	98

ВСТУП

Основною тенденцією розвитку авіаційного двигунобудування є безперервне підвищення температури газів перед турбіною, що обумовлює підвищення вимог до конструкції, надійності і ресурсу лопаток, дисків, валів та ін. Деталей, що зазнають високі термомеханічні навантаження, які циклічно змінюються.

Одними з найбільш відповідальних деталей авіаційних двигунів є лопатки турбіни. Саме вони визначають максимальну температуру газу в турбіні, надійність і ресурс роботи турбіни, питому потужність, питома вага і економічність двигуна. На робочі лопатки турбіни діють відцентрові і газодинамічні сили, що викликають в лопатках розтягнення, вигин і кручення. Високий рівень напружень, температур, нестабільність режимів нагріву і навантаження, можливість виникнення резонансних коливань робить робочі лопатки одними з найбільш відповідальних елементів ГТД.

Існуючі статистичні дані по експлуатації деяких конструкцій ГТД показують, що збільшення зносу робочих лопаток на частки міліметрів призводять до істотного зниження ресурсу роботи і ККД двигуна, що, тягне за собою збільшення витрати палива і зменшення потужності установки в цілому. З огляду на застосування дорогих матеріалів і технологій виготовлення робочих лопаток ГТД, є актуальною розробка технології їх ремонту.

Більше 50 років для виготовлення лопаток використовують нікелеві жароміцні сплави. Вони займають одне з перших місць за масштабами виробництва і обсягом застосування серед високотемпературних матеріалів конструкційного призначення.

1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ І ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАННЯ НА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз жароміцних авіаційних сплавів на нікелевій основі

Проблема довговічності деталей газотурбінних двигунів, що працюють в умовах впливу високотемпературного газового потоку, є однією з найважливіших в машинобудуванні. Особливої гостроти ця проблема набуває при створенні сучасних авіаційних двигунів, для яких основними ознаками є збільшення температури газів перед турбіною. Якщо в перших газотурбінних двигунах (ГТД) робочі температури матеріалу становили від 600 °С до 900 °С, то в подальшому значно підвищилися, досягнувши в даний час 1700 °С і більше, зменшення маси конструкції, збільшення ступеня стиснення повітря в компресорі. Збільшення параметрів двигуна неминуче веде до зростання навантажень на деталі і вузли, ускладнення конструкцій і вишукування нових технологій забезпечення тривалої працездатності ГТД [1].

Зростання термомеханічної напруженості деталей камери згоряння, турбіни і сопла є основною причиною малих ресурсів високотемпературних двигунів. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема розробки нових жаростійких і жароміцних сплавів, надійних методів захисту від газової корозії, зменшення маси елементів конструкції.

Конструктивні рішення, які закладаються в авіадвигуни нових поколінь, як правило, знаходяться за межами технологічних і матеріалознавчих можливостей. Тому особливої гостроти набуває необхідність розробки нових матеріалів і технологічних процесів, які повинні мати підвищені характеристики жароміцності, жаростійкості, опору до термічної втоми [2, 3].

Правильний науковий підхід до даної проблеми неминуче веде до того, що вирішуються як приватні поточні питання, так і з'ясовуються перспективи подальшого розвитку.

Для виготовлення деталей, що працюють при високих температурах, найбільш широке застосування знайшли жароміцні і жаростійкі нікелеві сплави, які дозволяють успішно експлуатувати авіадвигуни при температурі на металі до 1100 °С і короткочасно до 1150 °С. При більш високих температурах рекомендуються сплави на основі металевих з'єднань Ni_3Al і NiAl [4].

На частку нікелевих сплавів в авіаційному двигунобудуванні припадає не менше 70 % маси конструкцій ГТД. Властивості сплавів забезпечуються введенням легуючих елементів, технологією лиття деталей, штампування і оптимізацією режимів термічної обробки. Легування здійснюється з метою як безпосереднього зміцнення γ -твердого розчину, так і виділення γ -фази зміцнення, шляхом твердіння. Сучасні нікелеві сплави легують хромом, кобальтом, алюмінієм, титаном, ніобієм, гафнію, вольфрамом, ренієм, рутенієм, танталом, вводять рідкоземельні метали.

Титан і алюміній входять в γ -фазу зміцнення $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$, яка зміцнює більш ефективно, ніж Ni_3Al . Титан зменшує коагуляцію γ -фази, підвищує термостабільність сплавів, частково входить у з'єднання з вуглецем і утворює карбід TiC , так само як і ніобій, гафній. Ванадій, ніобій, титан надають несприятливий вплив на жаростійкість сплавів, тому в ряді сплавів їх зміст мінімізують або виключають. Хром вводять, перш за все, для підвищення жаростійкості. Однак в сучасних сплавах вміст хрому знизили до рівня від 4 % до 6 % для підвищення температури солідусу.

Тантал, вольфрам, реній, рутеній вводять для підвищення жароміцності. Наприклад, у сплаві ВЖ98 вміст алюмінію і титану незначний і γ -фаза не утворюється. Взагалі структура сплаву являє однорідний γ -твердий розчин, зміцнений хромом і вольфрамом. Це забезпечує високу технологічність, але недостатню жароміцність.

Незначна кількість карбідів Me_3C , Me_{23}C_6 і $\alpha\text{-W}$ в структурі сплаву не робить помітного впливу на механічні і технологічні властивості. Жароміцність сплаву ХН60ВТ можна помітно підвищити шляхом високотемпературного азотування. Зі збільшенням ступеня азотування шляхом збільшення температури

і тривалості процесу, відповідно, від 1000 °С до 1200 °С і часу від 5 год до 15 год, міцність при температурі 1100 °С зростає майже вдвічі, проте, в той самий час, майже вдвічі знижується пластичність.

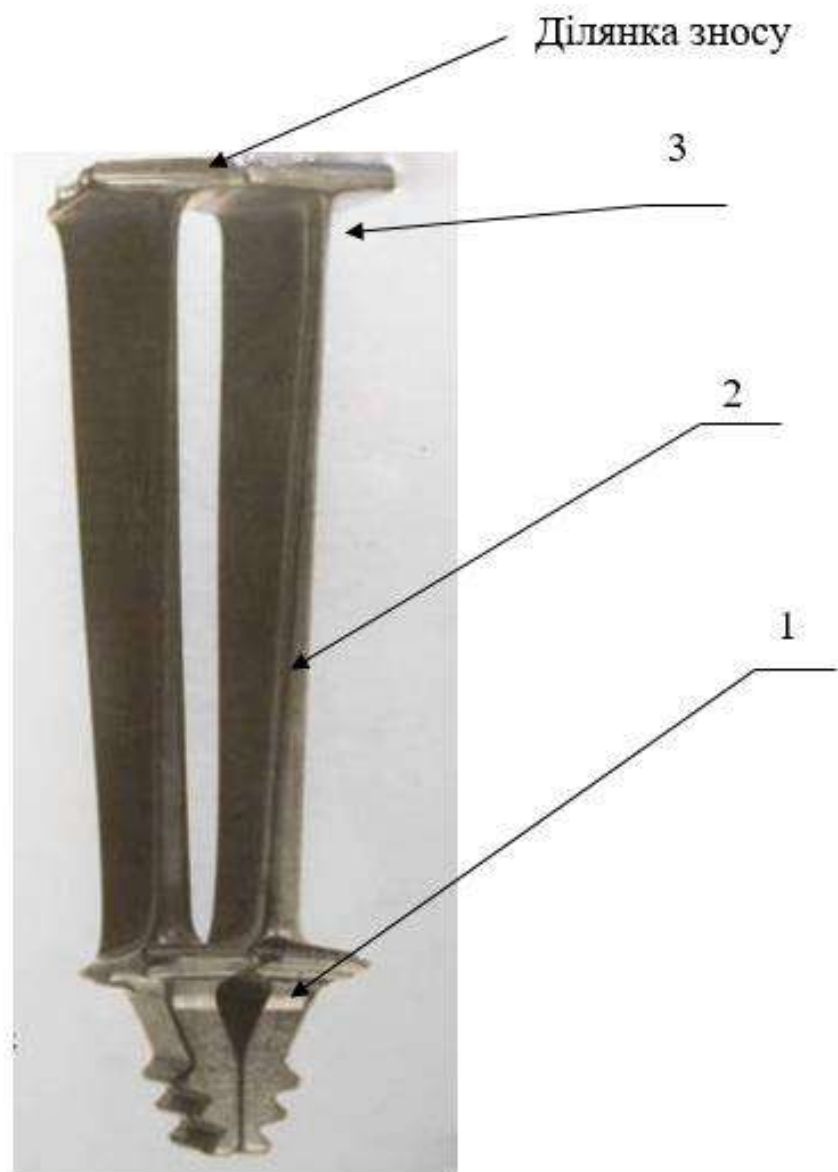
Основне зміцнення сплаву досягається створюванням дисперсних частинок нітридів титану і збільшенням вмісту азоту в γ -твердому розчині.

1.2 Призначення і опис виробу

Турбіна призначена для перетворення енергії газового потоку в механічну роботу на робочих лопатках, які є одними з найбільш відповідальних деталей двигуна.

Робоча лопатка турбіни має наступні елементи (рис. 1.1):

- 1 – хвостову частину - замок для кріплення в диску;
- 2 – середню частину - перо, на якому енергія газу перетворюється в механічну роботу, передану через замок лопатки ротора;
- 3 – зовнішній обід, що складається з бандажної полиці.



1 – замок;

2 – перо;

3 – бандажна полиця.

Рисунок 1.1 – Робоча лопатка турбіни

У зібраному робочому колесі лопатки утворюють бандаж, який є границею газового тракту (рис. 1.2).

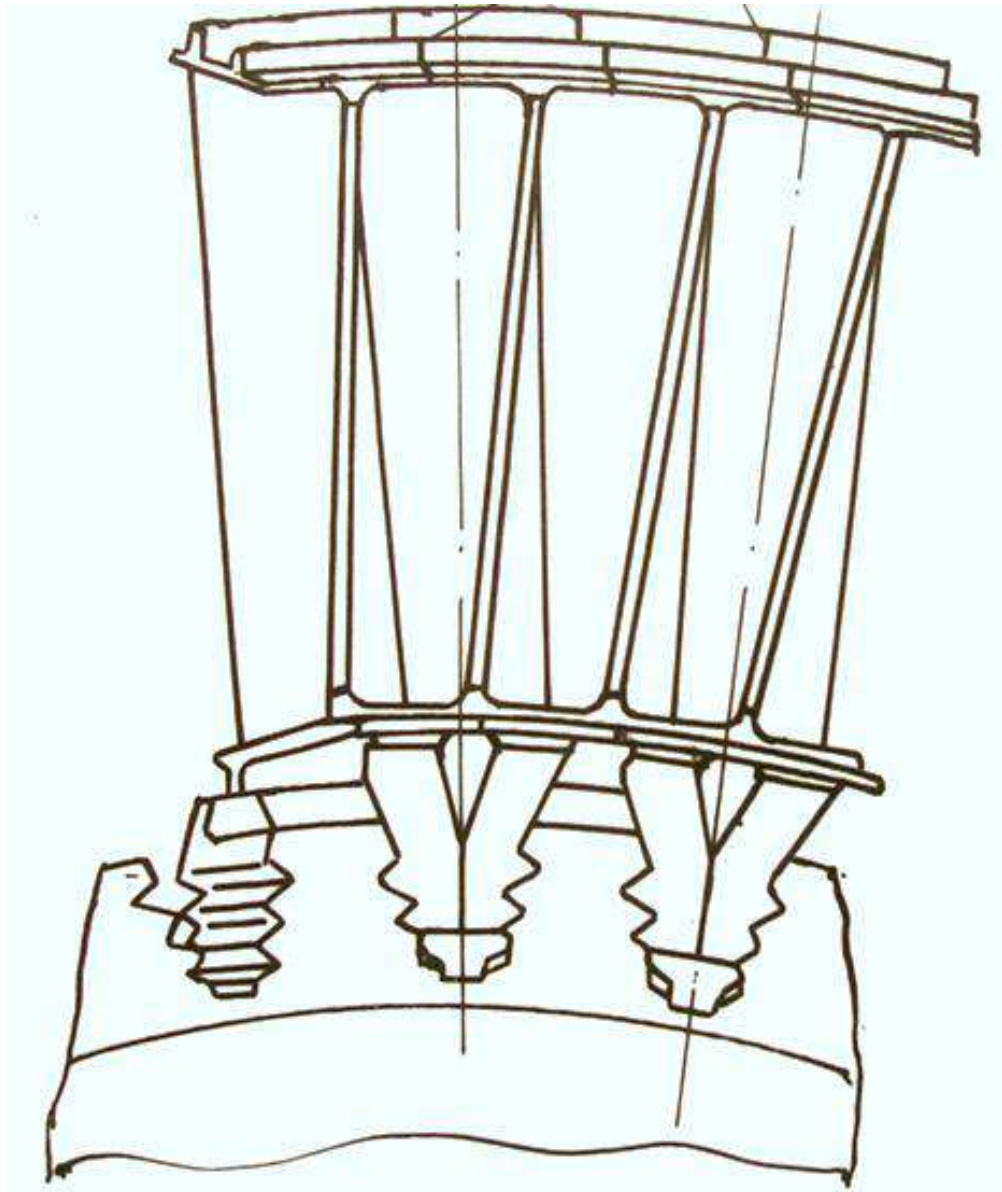


Рисунок 1.2 – Елемент з'єднання робочих лопаток двигуна Д-18Т

1.3 Аналіз умов експлуатації лопатки турбіни

В процесі експлуатації на робочі лопатки діють відцентрові сили і сили від тиску газу. Число обертів газової турбіни складає від 11000 об/хв до 17000 об/хв. Відцентрові сили викликають напруження розтягу в лопатках і залежать від маси лопатки і окружної швидкості. Тиск газу викликає постійну по довжині лопаток навантаження і вигин щодо місця її кріплення на робочому колесі.

Насправді в турбінах можуть виникати змінні, періодично діючі сили, які виникають в робочих лопатках динамічні знакозмінні напруги, що значно перевищують за своєю величиною статистичні. Практика експлуатації турбін показує, що вібраційні поломок робочих лопаток внаслідок знакозмінних напружень становить більшість від усіх аварій з турбінами.

Для зниження вібраційних напружень бандажні полиці лопаток збираються з натягом, а замки встановлюються в ялинкові пази дисків попарно (рис. 1.2).

В процесі експлуатації на лопатки впливає газовий потік від продуктів згоряння палива, що містить в середньому 74 % N_2 , 24 % CO_2 , 2 % H_2O .

Сила впливу газового потоку змінна за величиною і залежить від режимів роботи двигуна (режим малого газу, крейсерський режим, режим зльоту). Внаслідок цього лопатки зі значною силою притискаються одна до одної, що призводить до деформації бандажних полиць і їх інтенсивного зносу по контактуючим поверхням, що досягає 0,5 мм (рис. 1.3).

1.4 Аналіз механізму руйнування лопатки турбіни

Спрацьовування робочої лопатки ТСТ (рис. 1.3) відбувається за рахунок газо-абразивної ерозії, стирання, окисляє дії газів, динамічного зіткнення контактуючих поверхонь або фретинг-корозії.



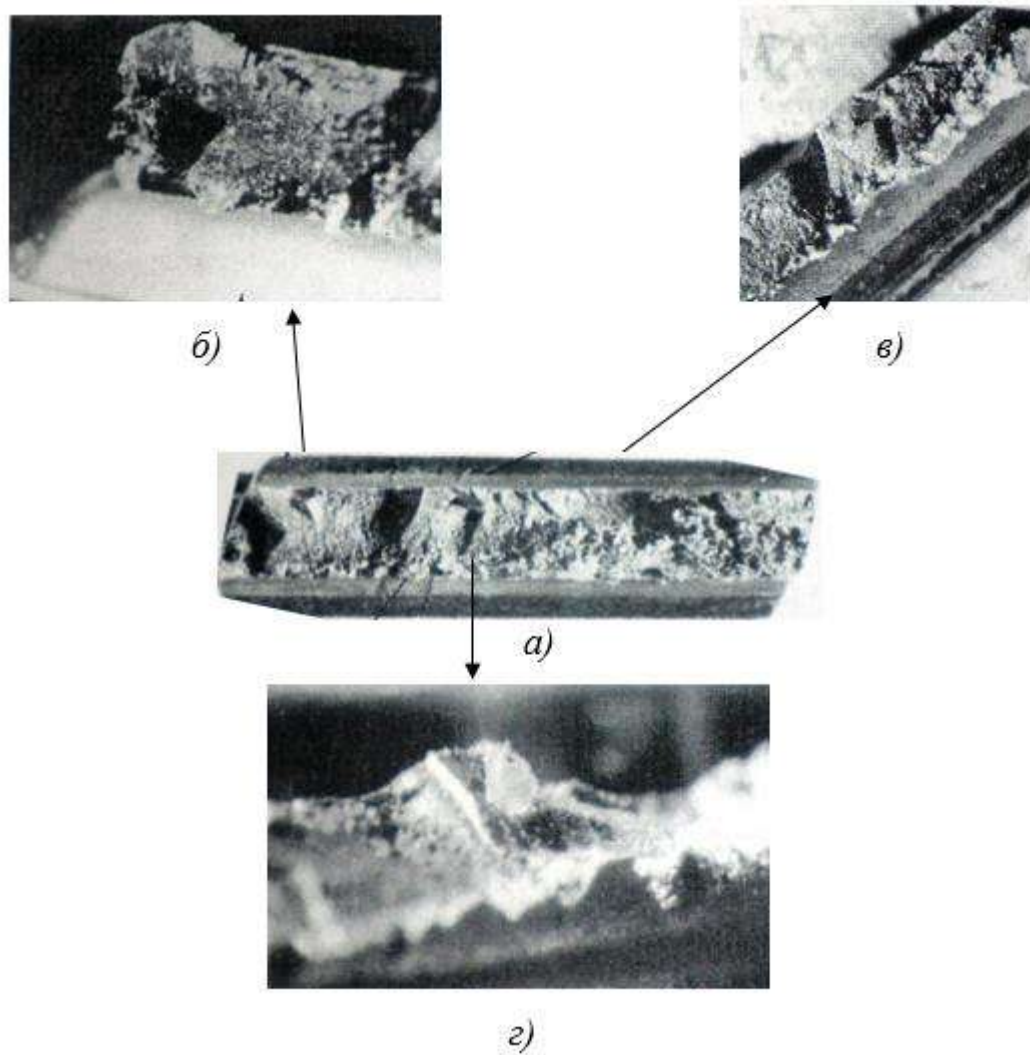
Рисунок 1.3 – Спрацьовування робочої лопатки турбіни після напрацювання 2458 годин.

Знос торців бандажних полиць призводить до вигину лопатки і виникнення в ній змінної напруги. Максимальні змінні напруги з'являються на злітному режимі і мають характер періодичних биття. На рівень змінних напружень впливає величина зазору між полицями лопаток: чим більше зазор, тим вище рівень динамічних напружень. У міру збільшення зазорів і амплітуди зіткнень цей процес прогресує.

В процесі експлуатації авіаційних двигунів робочі лопатки турбіни можуть отримувати різного виду ушкодження, які часто є основною причиною їх руйнування.

Злам у зоні руйнування (рис. 1.4, 1.5) складається з двох зон з чіткою межею поділу як за ступенем окислення, так і структурі зламу:

- втомної, що займає 60 % площі руйнування;
- статичної.



а – втомний злам; б, в – зона вибіркового розвитку втомної тріщини

г – втомні тріщини, які не розвиваються

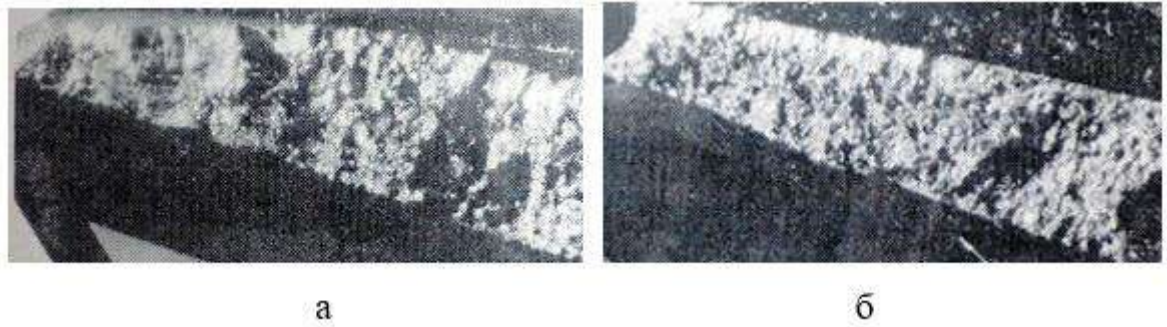
Рисунок 1.4 – Втомний злам в зоні руйнування

Втомний злам характеризується великою кількістю центрів початкового розвитку у вигляді невеликих гладких, блискучих приповерхневих ділянок, з різними кутами нахилу відносно поверхні (рис. 1.4, а).

Морфологія поверхні цих майданчиків вказує на механізм багатоциклового втомного руйнування.

Зона вибіркового розвитку втомної тріщини складається з великої кількості ділянок, розорієнтованих відносно напрямку руйнування (рис. 1.4 б, в). Слід зазначити, що в зламі з боку корита спостерігаються аналогічні

приповерхневі похилі гладкі ділянки, які не мають подальшого розвитку (рис. 1.4, г).



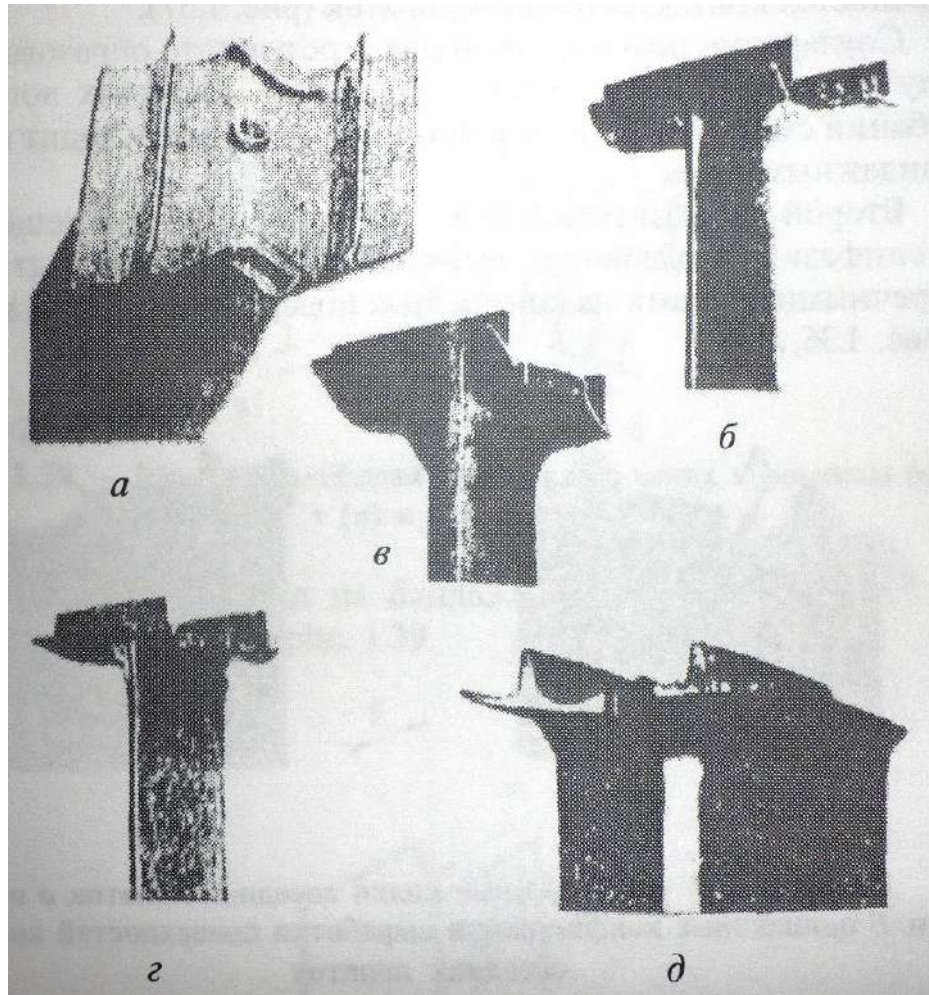
а – зі сторони вхідної кромки; б – зі сторони вихідної кромки.

Рисунок 1.5 – Злами на місці руйнування лопаток

В процесі експлуатації ГТД спостерігається інтенсивне спрацьовування поверхонь контакту бандажних полиць, які поділяють на наступні типи:

- правильної форми (рис. 1.6, а)
- кратероподібної форми (рис. 1.6, б);
- перенесення металу з однієї полиці на поверхню іншої полиці (рис. 1.6, в);
- поперечні риси на поверхні контакту і неробочій поверхні полиці відповідно (рис. 1.6, г, д).

Спрацьовування контактних поверхонь бандажних полиць призводить до зменшення зусилля їх притиску і появи зазору по полицях, що знижує демпфуючу здатність суміжних лопаток і підвищує рівень їх вібраційної напруженості при резонансних коливаннях [5].



а - спрацьовування правильної форми; б - спрацьовування кратероподібної форми; в - перенесення металу на поверхню полиці; г, д - поперечні риси на поверхні контакту і неробочій поверхні полиці відповідно

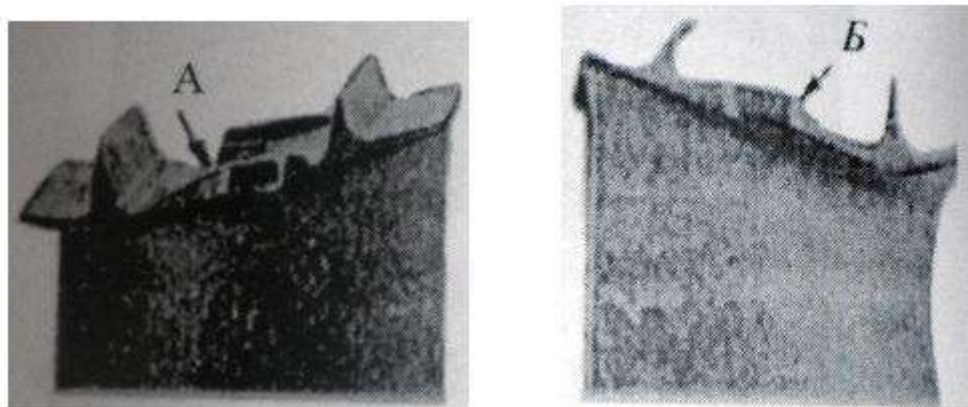
Рисунок 1.6 - Типи спрацьовування бандажних полиць робочих лопаток

Виділяють два основних види взаємодії бандажних полиць робочих лопаток в процесі експлуатації ГТД:

- перший вид взаємодії - зіткнення полиць по поверхнях контакту при антифазних коливаннях суміжних лопаток, що підтверджується перенесенням металу з поверхні контакту однієї лопатки на іншу (рис. 1.6, а), а також відповідністю конфігурації вироблення поверхонь контакту сусідніх лопаток (рис. 1.7).

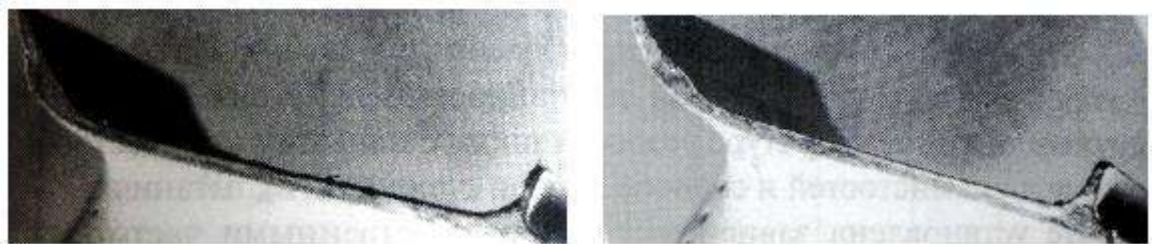
Зіткнення полиць відбувається в результаті утворення зазору між поверхнями контакту окремих суміжних лопаток. При коливанні суміжних лопаток в протифазі і відбувається зіткнення їх бандажних полиць.

- другий вид взаємодії - поперечне переміщення полиць при синфазних коливаннях суміжних лопаток, що підтверджується поперечними ризиками на контактних поверхнях бандажних полиць (рис. 1.6, г, д).



А, Б – однакові конфігурації спрацьовування поверхонь контакту сусідніх лопаток

Рисунок 1.7 – Бандажні полиці сусідніх лопаток А та Б.



а – поверхневі сліди фретинг-корозії; б – глибинне спрацьовування металу фретинг-корозією;

Рисунок 1.8 – Загальний вигляд торців бандажних полиць робочих лопаток турбіни, пошкоджених фретинг-корозією

Таким чином, в процесі експлуатації двигунів в основному спостерігається втомне руйнування робочих лопаток турбіни. При цьому, в більшості випадків реалізується механізм багатоциклового і термовтомного руйнування лопаток з початком утворення втомних тріщин від пошкоджень, отриманих робочими лопатками турбіни в процесі експлуатації. Ділянками пера лопатки, які найбільше пошкоджуються, є вихідні кромки, поверхні сполучення полиці хвостовика з його зубчастою частиною, перо в зоні бандажної полиці, а також поверхня спинки на відстані від 10 мм до 18 мм від полиці хвостовика.

Стикові торці бандажних полиць пошкоджуються фретинг-корозією від поверхневих слідів до глибинного спрацьовування металу.

Основні ливарні невідповідності в більшості випадків проявляються у вигляді плівки, засмічення, усадочних раковин, неспаю, що призводять до виникнення втомних тріщин [6].

1.5 Аналіз способів відновлення лопаток турбіни середнього тиску

Традиційно для ремонту робочих лопаток ГТД застосовують технології з нанесенням на торець лопатки наплавочного матеріалу, як правило, з матричного сплаву робочої лопатки. Однак, більшість методів відновлення вимагають застосування наплавочного матеріалу у вигляді дроту або відлитих пластин (в разі напайки), що мають форму пера лопатки. Отримання таких пластин - трудомісткий і дорогий процес, що, в свою чергу, позначається на продуктивності процесу ремонту лопаток. Також варто враховувати, що більшість сплавів з високими зносо- та жаростійкістю, є крихкими, отримання дроту з яких неможливо. Крім того, пайка або наплавлення матеріалу, що відрізняється за властивостями і складом від основного матеріалу лопаток, призводить до виникнення термічних напружень і руйнування наплавленого матеріалу через різницю коефіцієнтів термічних напружень.

Одним з можливих рішень проблеми ремонту робочих лопаток ГТД є застосування адитивних технологій відновлення з використанням порошкоподібних матеріалів для наплавлення.

Методика адитивного (пошарового) нарощування заснована на сплавленні часток порошку, що подається роботизованим дозувальником в зону плавлення у вигляді газопорошкової суміші. Наплавлення проводиться по 3D-моделі, побудова якої відбувається на підставі даних вбудованого промислового сканера. Така технологія затребувана не тільки при ремонті і зміцненні поверхні, але і при створенні принципово нових градієнтних поверхонь, які можуть бути отримані за один технологічний цикл виробництва завдяки застосуванню відразу декількох складів матеріалів для наплавлення, що змішуються в режимі реального часу по комп'ютерній програмі.

В якості вихідного матеріалу для плазмового порошкового наплавлення використовуються дрібнодисперсні металеві порошки необхідного хімічного складу. До порошків для даної технології пред'являються жорсткі вимоги. В першу чергу, забезпечення сферичності, строго визначеного хімічного складу, високу хімічну однорідність, відсутність пористих гранул і знижений вміст газових домішок.

Для відновлення лопатки ТСТ можна застосовувати такі способи наплавлення:

1. Іонно-плазмове нанесення покриттів

Іонно-плазмове нанесення покриттів (катод, магнетрон, високочастотне розпилення та ін.) Дозволяє формувати покриття з металів і сплавів, різних з'єднань і композицій.

Переваги іонно-плазмового нанесення покриттів:

- більш висока міцність зчеплення і щільність отриманих покриттів через більш високої енергії розпорошених частинок;
- формування покриттів без зміни стехіометричного складу;
- можливість отримання покриттів з особливо тугоплавких матеріалів;

- можливість управління складом і властивостями покриття в процесі нанесення;

- можливість очищення поверхні основи і зростаючого покриття.

Основні недоліки, які має іонно-плазмове нанесення покриттів:

- швидкості напilenня, як правило, нижче, ніж при інших вакуумних методах, за винятком магнетронного, де швидкості осадження покриття досягають від 25 м/с до 45 м/с;

- кількість забруднень в матеріалі покриттів трохи вище;

- обсяг камери обмежує розмір виробу.

2. Плазмове наплавлення

Плазмове наплавлення є одним з найбільш прогресивних способів відновлення зношених деталей машин і нанесення зносостійких покриттів (сплавів, порошків, полімерів) на робочу поверхню при виготовленні деталей. В даному процесі джерелом тепла є плазмова дуга, а матеріалом виступає металевий порошок. Порошок подається в плазмотрон спеціальним транспортуєчим газом, за допомогою живильника. Такий спосіб наплавлення забезпечує високу продуктивність при дуже низькому проплавленні основного металу. Це дозволяє досягнути необхідної твердості і хімічного складу наплавленого металу на ділянці від 0,3 мм до 0,5 мм від місця сплавлення. Такі результати забезпечує можливість регулювання потужності плазмової дуги і подачі присадного матеріалу. Плазмове-порошкове наплавлення дозволяє обмежитися одним шаром наплавлення, замість трьох-чотирьох при електродугових способах.

За допомогою плазмового наплавлення металевим порошком можна отримати жаростійкі і зносостійкі покриття із сплавів на основі нікелю і кобальту. Даний спосіб дозволяє отримати тонке рівномірне покриття з гладкою безпористою поверхнею, часто не вимагає додаткової механічної обробки.

Плазмове-порошкове наплавлення має всі переваги плазмового наплавлення дротом. Крім того, застосування в якості присадного матеріалу порошку, який може бути отриманий практично з будь-якого сплаву, незалежно

від його твердості, міцності, ступеня легування і інших властивостей, значно розширює спектр матеріалів, що наплавляються механізованими способами. Вартість порошків нижча від вартості прутків і дроту аналогічного складу від 10 % до 30 %. Якість порошків, зокрема, їх хімічний склад, контролювати легше, ніж якість порошкового дроту і стрічок. При необхідності порошки можна змішувати для отримання необхідного складу наплавленого металу.

Важливими перевагами плазмового наплавлення порошком є невелика товщина наплавленого шару (при необхідності) і його добре формування, завдяки чому знижуються витрати матеріалів для наплавлення і трудомісткість механічної обробки наплавлених виробів.



Рисунок 1.9 - Лопатки ТСТ, відновлені методом ППН

Перевагами плазмового наплавлення є:

1. Висока концентрація теплової потужності і мінімальна ширина зони термічного впливу (рис. 1.10);



Рисунок 1.10 - Наплавлені лопатки методом ППН

2. Можливість отримання товщини наплавленого шару від 0,1 мм до декількох міліметрів;
3. Можливість наплавлення різних зносостійких матеріалів (мідь, латунь, пластмаси) на сталеву деталь;
4. Можливість виконання термічної поверхні деталі.
5. Відносно високий ККД дуги (від 0,2 до 0,45);
6. Мала (у порівнянні з іншими видами наплавлення) частка участі основного матеріалу, що дозволяє досягти необхідних характеристик покриттів;
7. Висока температура плазмового потоку дозволяє розплавляти і наносити покриття з тугоплавких матеріалів;
8. Потік плазми дає можливість отримувати сплави різних за властивостями матеріалів або наносити багатошарові покриття з різних сплавів,

що відкриває безліч можливостей для отримання покриттів, що поєднують різноманітні захисні властивості;

9. Можливості способу не обмежені формою і розмірами оброблюваного виробу;

10. Плазмова дуга – одне з найбільш гнучких джерел нагріву, що дозволяє в широких межах регулювати його енергетичні характеристики.

Таким чином, серед розглянутих способів наплавлення найбільш універсальним і перспективним процесом є плазмове наплавлення з використанням порошків в якості матеріалу для наплавлення.

1.6 Матеріали для плазмово-порошкового наплавлення

З урахуванням умови роботи лопаток, вимоги до наплавних матеріалів можна сформулювати наступним чином:

- висока гаряча твердість;
- висока зносостійкість;
- високий опір окисленню і ерозії;
- висока термостійкість;
- близькість коефіцієнтів термічного розширення наплавленого металу і матеріалу лопаток.

Лише деякі сплави мають такий комплекс властивостей. Розглянемо найважливіші типи застосовуваних і перспективних для лопаток турбіни матеріалів для наплавлення.

1. Хромокобальтові сплави (стеліти)

Серед зносостійких сплавів, що мають високу працездатність при високих температурах, перше місце займають стеліти, вперше запропоновані Е. Хайнесом (США) в 1907 році. Стеліти містять від 18 % до 35 % Cr, від 0,25 % до 2,5 % C, від 3 % до 20 % W і основа – Co.

Залежно від вмісту вуглецю і вольфраму структура стеліту може бути доєвтектичною, евтектичною і заєвтектичною.

Структура стеліту вітчизняної марки ВЗК, склад якого аналогічний складу сплаву стеліту №6, складається з твердого розчину, що містить Co, W, Cr і карбідної евтектики. При великому вмісті вуглецю і вольфраму кількість карбідів настільки велика, що вони виділяються у вигляді вільної надлишкової фази (заєвтектичної структури).

На структуру, а отже і на властивості стеліту значний вплив мають умови охолодження. Якщо сплав застигає повільно, структура виходить грубою, великокристалічною. В умовах швидкого охолодження спостерігається дрібнокристалічна структура з наявністю дрібних і рівномірно розподілених зерен карбідів. Працездатність наплавленого металу в значній мірі залежить від форми виділення карбідної та інших фаз, від розмірів часток і їх розподілу, а також від властивостей матриці сплаву.

2. Матеріали для наплавлення на основі карбіду хрому

Останнім часом набули широкого розповсюдження наплавочні сплави на основі карбіду хрому у вигляді спечених прутків. За допомогою порошкової металургії можна отримати електроди будь-якого хімічного складу. Прикладами подібних матеріалів можуть служити кермети, основою яких є карбід хрому Cr_3C_2 , а металевої зв'язкою служить порошковий нікель.

Основні марки керметів:

- ГК-10 (90 % Cr_3C_2 + 10 % Ni);
- ГК-15 (85 % Cr_3C_2 + 15 % Ni);
- ГК-30 (70 % Cr_3C_2 + 30 % Ni).

Спечені карбідохромові тверді сплави мають високу окислостійкість, зносостійкість і стійкістю до ерозійного руйнування. Структура керметів складається з зерен карбіду хрому, зцементованих зв'язкою, що представляє собою легований розчин на основі нікелю.

Застосування карбідних матеріалів для наплавлення обмежене через високу їх крихкість.

3. Наплавні матеріали на основі нікелю

Основним елементом, що забезпечує окалиностійкість нікелевих сплавів, є хром, зі збільшенням вмісту якого підвищується опір корозії при всіх температурах. Хром є карбідоутворюючим елементом і частково входить в твердий розчин сплаву. Максимальну окалиностійкість мають сплави з вмістом хрому від 30 % до 40 %. Однак високий вміст хрому є небажаним, тому що викликає крихкість сплаву, що ускладнює технологічні операції його обробки.

Максимальний вміст хрому в хромонікелевих сплавах, які застосовуються в авіаційному двигунобудуванні, становить від 26,5 % до 28,5 % (ВЖ-98, EI-652).

Хром відноситься до числа елементів, які зміцнюють міжатомні зв'язки і, як наслідок, підвищують жароміцність аустенітних і сплавів.

Висока окалиностійкість сплавів з великим вмістом хрому пояснюється утворенням на їх поверхні при високих температурах плівки оксидів хрому типу Cr_2O_3 або шпінелі NiCr_2O_4 , яка створює бар'єр, що перешкоджає дифузії кисню і нікелю. Плівка повинна мати механічну міцність та щільність, не мати розривів і мати досить низьку провідність (для запобігання взаємодії металу з корозійним середовищем і, в першу чергу, з киснем).

Для підвищення жароміцності в сплав додають Ti, Al, Mo, W, Nb, Re, V та інші легуючі елементи.

Ступінь зміцнення і рівень одержуваних властивостей сплаву залежать від температури плавлення, кристалічної структури твердого розчину і ступеня його дисперсності.

Зносостійкість при підвищених температурах залежить, головним чином від кількості, дисперсності і форми карбідів, а також від міцності і твердості металевої основи при підвищених температурах. Важливою властивістю є в'язкість сплаву-матриці і міцність закріплення в ній карбідів. Причиною високої зносостійкості карбідної сталі з аустенітно-карбідною структурою є здатність аустеніту утримувати карбіди в результаті існування когерентного зв'язку – міцного зчеплення кристалічних ґраток на границі аустеніт-карбід, завдяки чому попереджається викришування карбідних часток в процесі зношування.

Зносостійкість наплавленого металу в значній мірі залежить від структури матриці, в яку вкраплені карбіди. Якщо вони оточені в'язкою матрицею, то в процесі зносу карбідні частинки будуть виступати над поверхнею і викришуватись, оскільки міцність їх на вигин низька.

При введенні в шов зміцнюючих елементів - алюмінію і титану необхідна жароміцність і зносостійкість досягається за рахунок дисперсного зміцнення при старінні пересиченого твердого розчину, з якої виділяється зміцнювальні інтерметалідна γ' -фаза - $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$.

Кремній, присутній в жароміцних нікелевих сплавах з інтерметалідним зміцненням, негативно впливає на тривалу міцність і підвищує схильність сплаву до утворення тріщин. Чим вищий вміст алюмінію і титану, тим меншим повинен бути вміст кремнію. У багатьох жароміцних сплавах вміст кремнію допускається в межах від 0,3 % до 0,5 %.

Введення в кобальтові та нікелеві сплави невеликих добавок V, Nb, B, збільшує твердість і жароміцність сплавів.

В табл. 1.1 наведений хімічний склад різних нікелевих жароміцних сплавів.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплавів на нікелевій основі

Сплав	Хімічний склад, % мас.												
	Cr	Ti	Mo	W	Re	Ta	Al	Co	Hf	Nb	B	Zr	C
Сплави для рівноосного лиття													
ЖС6К	11	3	4	5	-	-	5,5	4,3	-	-	-	-	0,15
ЖС6У	8,5	2,5	1,8	10	-	-	5,5	9,5	-	1	-	-	0,15
Сплави для направленої кристалізації													
ЖС6Ф*	5,5	1	0,9	12	-	-	5,3	9,4	0,9	1,6	-	-	0,11
ЖС30	7	1,9	0,7	11,8	-	-	5,2	8,5	0,8	0,9	0,015	0,05	0,15
ЖС26У	5	1	1,1	11,7	-	-	5,8	9	-	1,6	0,015	0,05	0,15
ЖС32	5	-	1	8,3	4	4	6	9	-	1,5	0,015	0,05	0,15
Сплави для монокристалного лиття													
ЖС30М	7	1,8	0,6	12	-	-	5	7,5	-	1	-	-	-
ЖС40	6,1	-	4	6,9	-	7	5,6	0,5	-	0,2	-	-	-

Продовження табл. 1.1

ЖС36	4	1	1	12	2	-	6	9	-	-	-	-	-
ЖС47	2,5	-	2	1,1	9,5	9	5,8	11	-	-	-	-	0,005
ЖС49	2,4	-	1,6**		12	14***		12	-	-	-	-	0,005

Примітка: * - сплав містить 1 % V; ** - сума W + Mo; *** - сума Ta + Al.

Для об'єктивного вибору матеріалу для наплавлення розглянемо результати випробувань на тривалу міцність основних жароміцних сплавів (рис. 1.11, 1.12), (для ЖС6У, ЖС26, ЖС30М, ЖС32 вказані значення, що відповідають ймовірності неруйнування від 1 до 0,5; для ЖС36, ЖС40, ЖС47, ЖС49 вказані середні значення).

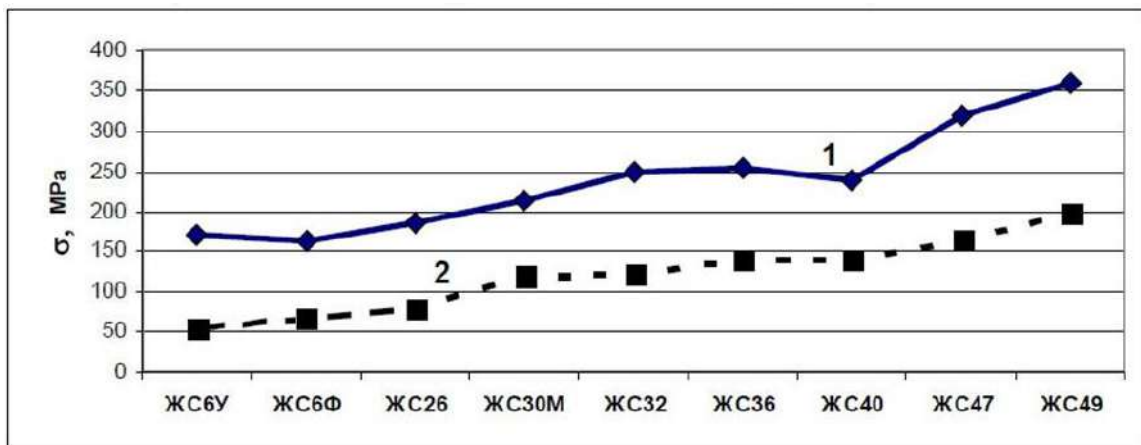


Рисунок 1.11 – Тривала міцність жароміцних сплавів протягом 100 годин, випробування при температурах 1000 °C (1) та 1100 °C (2)

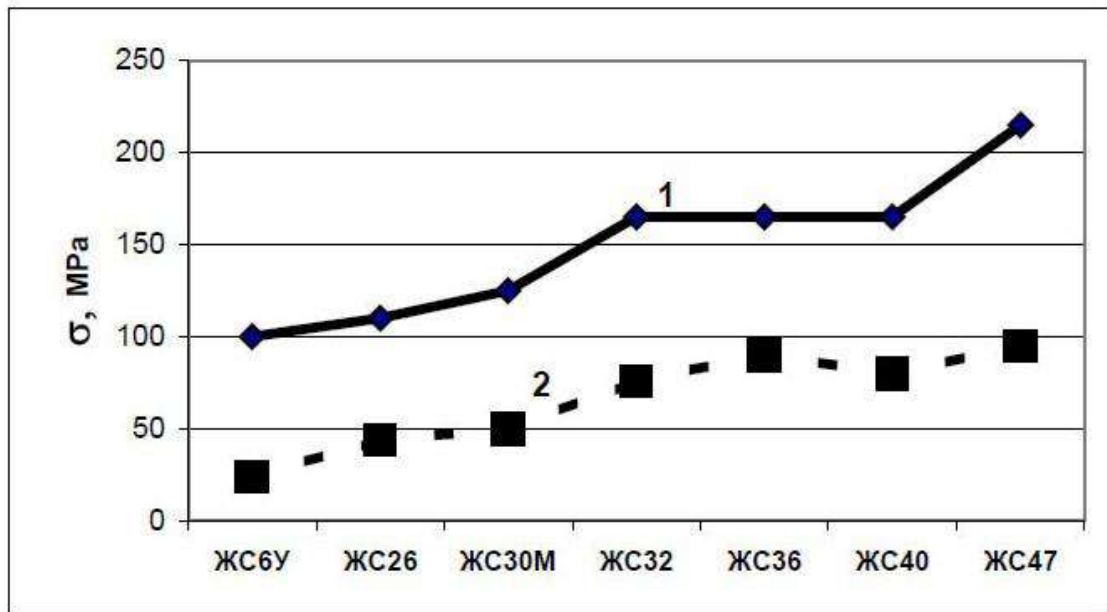


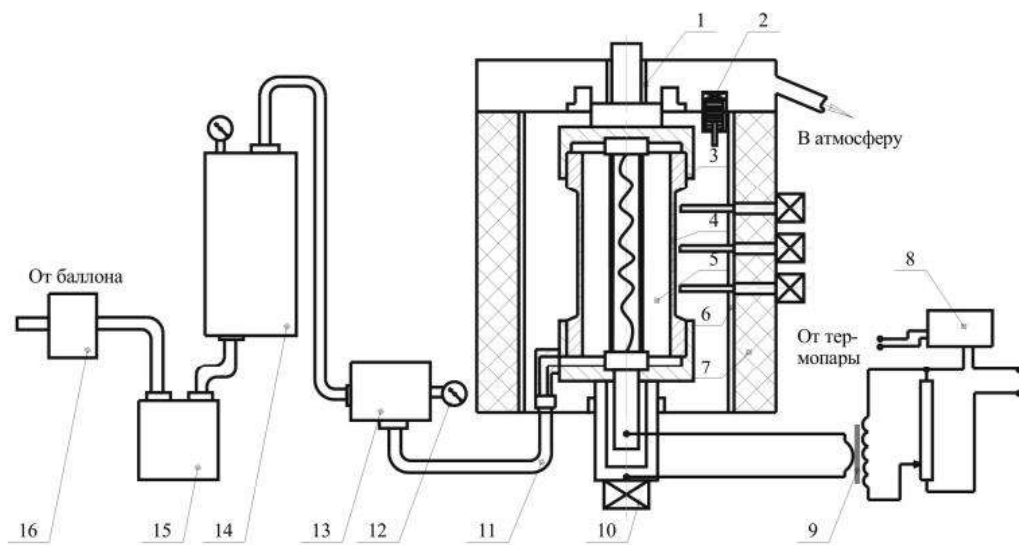
Рисунок 1.12 – Тривала міцність жароміцних сплавів протягом 1000 годин, випробування при температурах 1000 °C (1) та 1100 °C (2)

Для випробувань матеріалів на тривалу міцність використовували розроблену в Інституті проблем міцності АН України лабораторну установку (рис. 1.13) [7].

Плоский напружений стан у зразку створюється при сумісній дії внутрішнього тиску з розтягуванням або крутінням. Зразок за допомогою різьби кріпиться в перехідних втулках, які тягами з'єднані з захватами машини, що створює осьове зусилля або момент крутіння. У внутрішній порожнині зразка знаходиться нагрівач, виготовлений з металокерамічного сплаву і який складається зі стрижня, концентрично розташованого всередині полого циліндричного кожуха. Нагрівач живиться від понижувального трансформатора, клеми якого з'єднані зі стрижнем нагрівача і нижньою тягою. Передбачена також реєстрація в процесі випробування радіальних деформацій робочої частини зразка. Всі пристосування для кріплення, нагріву і навантаження зразка захищені зовнішнім кожухом і термоізоляцією. Передача переміщень на індикатор здійснюється за допомогою пристроїв, що забезпечують автоматичне замикання

каналу при розриві зразка. Осьові деформації фіксуються приладами механічної системи машини, на якій встановлене пристосування.

Газове середовище (аргон, азот або інший інертний газ), що створює внутрішній тиск в зразку, надходить від балона в компресор і, проходячи через фільтр, заповнює ємність. Звідти через клапан, обладнаний манометром, газ по трубці надходить у внутрішню порожнину зразка. При руйнуванні зразка спрацьовує клапан, що відключає подачу газу. Газ, який перебував в зразку, надходить у верхню порожнину пристосування і виходить в атмосферу.



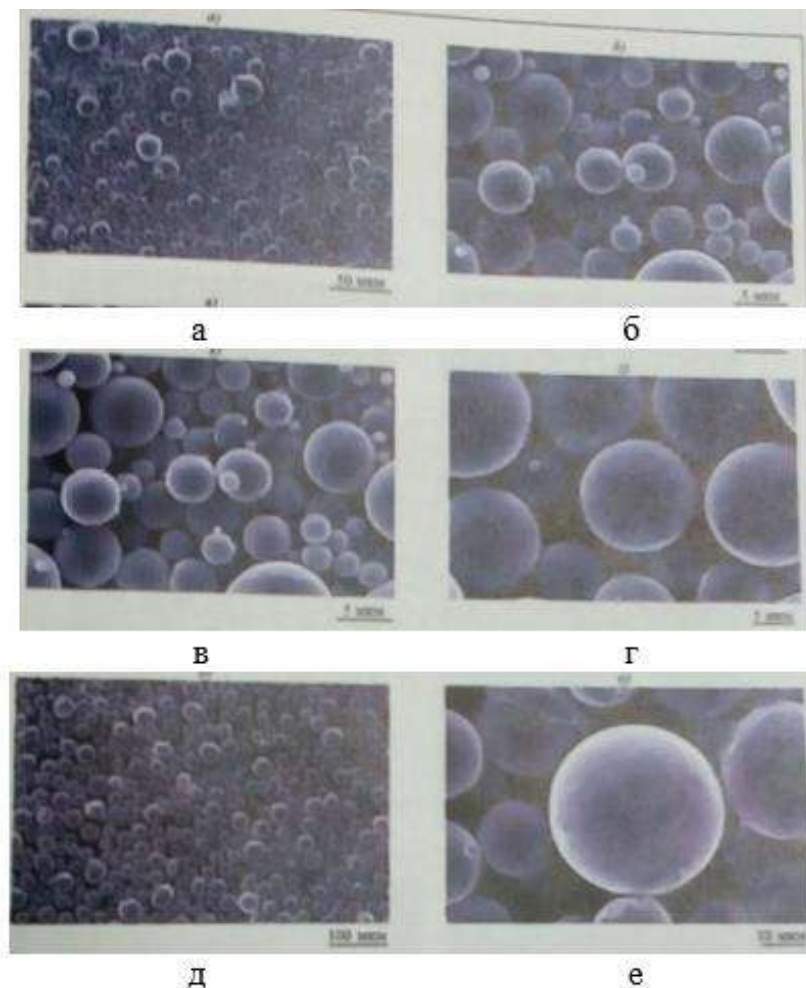
1 – тяга; 2 – пристрій для проходу газу у верхню порожнину; 3 – перехіні втулки; 4 – зразок; 5 – нагрівач; 6 – пристрій для передачі на індикатор радіальних переміщень зразка; 7 – термоізоляція; 8 – регулятор температури; 9 – трансформатор; 10 – клеми трансформатора; 11 – ввідна трубка; 12 – манометр; 13 – клапан; 14 – додаткова ємність; 15 – фільтр; 16 – компресор високого тиску.

Рисунок 1.13 – Принципова схема установки для випробувань

Результати випробувань, отримані на базі від 5 тис. год. до 10 тис. год. за допомогою описаних вище випробувальних установок, можна екстраполювати на більші бази, після чого можуть бути прискорено визначені межі тривалості

міцності матеріалів і конструктивних елементів (у випадку застосування спеціальних перехідних кріплень) з урахуванням характеру тривалого навантаження в експлуатації

З наведеного вище аналізу можна зробити висновок, що сплав ЖС32-ВИ є оптимальним варіантом. Для наплавлення лопатки ТСТ сплав ЖС32-ВИ використовується у вигляді порошку (рис. 1.14). Жароміцні нікелеві сплави, які одержуються з порошків, мають ряд переваг в порівнянні з традиційними сплавами: підвищені механічні властивості, більша технологічність процесу.



а, б – до 10 мкм; в, г – від 10 мкм до 25 мкм; д, е – від 25 мкм до 40 мкм.

Рисунок 1.14 – Морфологія поверхні гранул сплаву ЖС-32ВИ різного фракційного складу

Плазмово-порошкове наплавлення дозволяє отримати наплавлений метал однорідної структури з основним металом без тріщин (рис. 1.15)



АДС – аргонодугове зварювання; ППН – плазмово-порошкове наплавлення

Рисунок 1.15 – Порівняння способів наплавлення лопаток

1.7 Параметри режимів наплавлення та їх вплив на якість наплавленого металу

У загальному випадку процес плазово-порошкового наплавлення (ППН) характеризується наступними технологічними параметрами: силою струму дуги I , напругою U , швидкістю наплавлення V_n , амплітудою коливань плазмотрона A , частотою коливань плазмотрону f , грануляцією порошку d , масової швидкістю подачі порошку $G_{\text{п}}$, плазмоутворювальним, транспортувальним і захисним газами та їх витратою відповідно $d_{\text{пл}}$, $d_{\text{тр}}$, d_z , відстанню від плазмотрона до виробу h , діаметром внутрішнього $d_{\text{вн}}$ і зовнішнього сопел плазмотрона $d_{\text{н}}$, температурою підігріву деталі, що наплавляється $T_{\text{под}}$.

Однією з найважливіших переваг плазово-порошкового наплавлення є можливість забезпечення малого проплавлення основного металу і, як наслідок, мінімальна частка його участі в наплавленому шарі.

Розглянемо способи впливу основних параметрів режиму наплавлення.

Сила струму дуги прямої дії I_n найбільше впливає на частку основного металу в наплавленому (рис. 1.16).

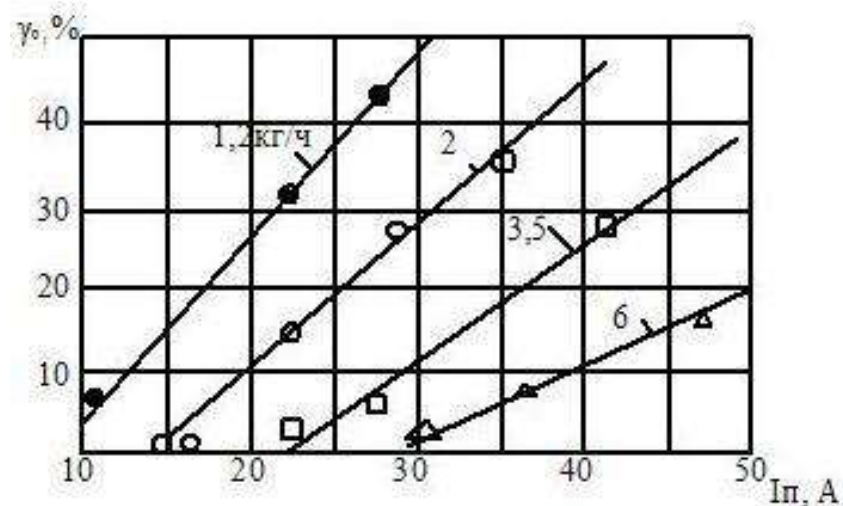


Рисунок 1.16 - Залежність частки основного металу γ_0 у наплавленому від сили струму дуги прямої дії $I_{\text{п}}$ при різній продуктивності наплавлення

Струм непрямої дуги I_k практично не впливає на проплавлення основного металу.

Однак, при занадто малій I_k знижується стабільність роботи плазмотрона. При більших значеннях I_k зростає теплове навантаження на плазмоутворювальне сопло. З цієї точки зору існує оптимальне значення сили струму непрямої дуги, що знаходиться в межах від 10 А до 20 А.

Зі збільшенням витрати плазмоутворювального газу $q_{пл}$ частка основного металу γ_o в наплавленому збільшується (рис. 1.17).

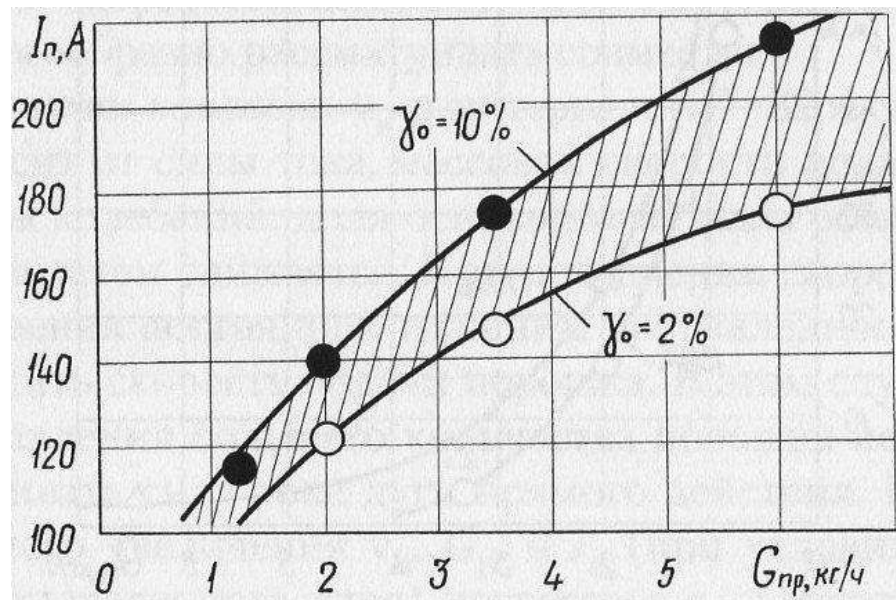


Рисунок 1.17 – Діапазон значень сили струму дуги прямої дії I_p , при яких частка основного металу в наплавленому шарі знаходиться в межах від 2 % до 10 %

Вплив $q_{пл}$ на проплавлення основного металу пов'язано головним чином з тиском плазмової дуги на зварювальну ванну, так як ефективна теплова потужність дуги при зміні $q_{пл}$ змінюється в межах від 10 % до 15 %. У той же час швидкість потоків плазми в дузі збільшується більш ніж в два рази. Очевидно, що витрата плазмоутворювального газу при наплавленні повинна підтримуватися по можливості малою. Її значення обирають з умов забезпечення стійкості горіння дуги і стабільності процесу наплавлення.

Витрата транспортувального газу $d_{\text{тр}}$ в межах від 4 л/хв до 9 л/хв впливає на частку основного металу в наплавленому шарі γ_0 аналогічно плазмоутворювальному газу, але помітно слабкіше.

Зі збільшенням витрати транспортувального газу зростає витрата порошку внаслідок підвищення початкової швидкості частинок і погіршення умов їх нагрівання в дузі. При малій витраті транспортувального газу (від 3 л/хв до 4 л/хв) процес наплавлення часто порушується внаслідок забивання порошком каналів плазмотрона. Оптимальною вважається витрата транспортувального газу в межах від 6 л/хв до 9 л/хв.

Амплітуда і частота коливань плазмотрона лише незначно впливають на проплавлення основного металу. Так, наприклад, при зміні амплітуди коливань в межах від 2 мм до 16 мм величина γ_0 змінюється в межах від 12 % до 17 %. На підставі цього амплітуду коливань A плазмотрону слід обирати виходячи з необхідної ширини наплавленого валика, однак, враховуючи те, що ширина валика перевищує значення A на величину від 5 мм до 8 мм. Частота коливань повинна відповідати швидкості наплавлення таким чином, щоб крок коливань становив від 2 мм до 5 мм.

При зміні відстані від плазмотрона до виробу h в межах від 7 мм до 22 мм проплавлення основного металу зберігається практично постійним, що є важливою перевагою плазмового наплавлення. Враховуючи те, що зі збільшенням відстані h погіршується захист зварювальної ванни і зростають втрати порошку, рекомендована відстань становить від 8 мм до 15 мм.

Величина γ_0 в значній мірі залежить від масової швидкості подачі порошку $G_{\text{п}}$ (при постійних величинах інших параметрів процесу) на практиці подача порошку обирається одночасно зі швидкістю наплавлення, тому вплив цих двох факторів доцільно розглядати комплексно.

При збільшенні швидкості наплавлення $V_{\text{н}}$ в інтервалі від 1,7 м/год до 32 м/год, величина якого залежить від сили струму, масової швидкості подачі порошку і амплітуди коливань, частка основного металу залишається майже постійною, а потім знижується. При підвищенні швидкості наплавлення для

збереження постійної товщини наплавленого шару необхідно збільшити швидкість подачі порошку. У цьому випадку для забезпечення плавлення більшої кількості порошку необхідно також збільшувати силу струму дуги прямої дії. В результаті одночасного збільшення V_n , G_n , і I_n (за умови збереження товщини наплавленого шару) зростає γ_o . Звідси випливає, що продуктивність наплавлення шару певної товщини обмежена допустимою величиною γ_o .

Зв'язок між товщиною наплавленого шару, часткою основного металу в наплавленому і продуктивністю наплавлення ілюструє графік на рис. 1.18.

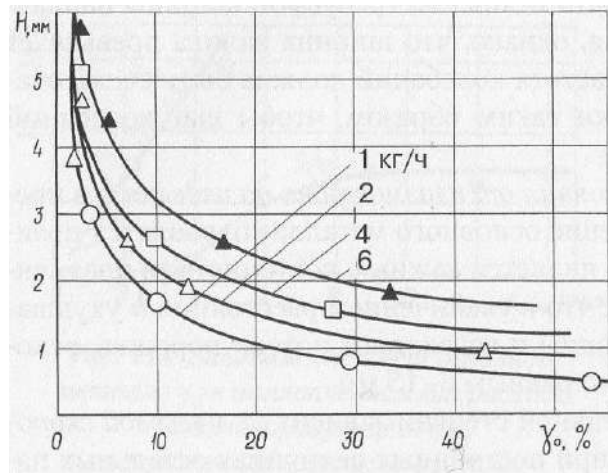


Рисунок 1.18 – Товщина наплавленого шару H та частка основного металу γ_o у наплавленому металі при різній продуктивності наплавлення

З наведених вище даних випливає, що вибір оптимальних режимів плазово-порошкового наплавлення зводиться, в основному, до визначення сили струму дуги прямої дії I_n , масової швидкості подачі порошку G_n і швидкості наплавлення V_n . Значення інших параметрів режиму (I_k , $q_{пл}$, $Q_{тр}$, H) повинні підтримуватися постійними в зазначених вище межах. Амплітуду поперечних коливань плазмотрону A встановлюють в залежності від необхідної ширини наплавленого валика, а частота коливань f встановлюється в залежності від швидкості наплавлення.

Продуктивність нанесення тонких шарів значною мірою залежить від допустимого розведення наплавленого металу основним. Чим тонше шар і чим

менше задана величина γ_0 , тим нижче продуктивність, яка визначається масою наплавленого металу в одиницю часу.

Втрати порошку. Не всі частинки порошку, що рухаються по периферії стовпа дуги, потрапляють в зварювальну ванну. Ті з них, які потрапляють на наплавляється поверхню попереду або збоку зварювальної ванни, в результаті пружного відскоку від цієї поверхні втрачаються. Втрати порошку будуть менше, якщо зварювальна ванна «підтікає» під дугу. Це спостерігається при високій змочуваності основного металу металом зварювальної ванни, при невисокій швидкості наплавлення, при наплавленні на спуск, при великій товщині наплавленого валика і т.д. Втрати порошку зростають, якщо плазмотрон розташовується або періодично підходить близько до крайки деталі яка наплавляється, якщо ширина підкладки менше діаметра сопла і т.д.

Розміри і форму наплавлених валиків визначають в основному масовою швидкістю подачі порошку, амплітудою поперечних коливань плазмотрону, швидкістю наплавлення і струмом дуги прямої дії (рис. 1.19). Вплив інших параметрів є незначним.

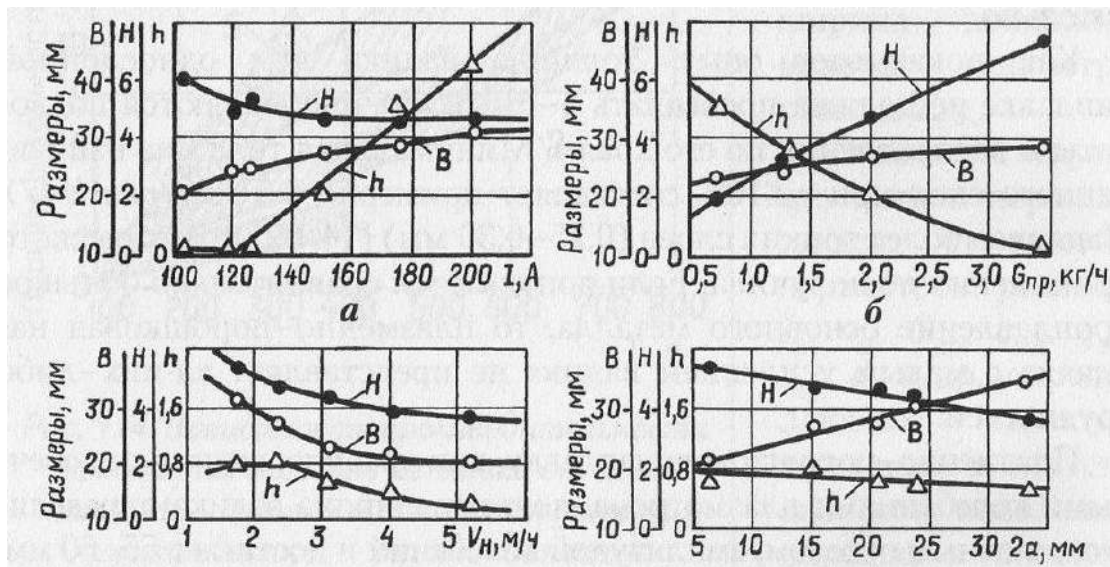


Рисунок 1.19 – Вплив сили струму наплавлення I (а), масової швидкості подачі порошку $G_{пр}$ (б), швидкості наплавлення V_n (в), та амплітуди коливань A (г) на ширину B та висоту H наплавленого валика та глибину проплавлення h

Завдяки малому проплавленню і незначному вигоранню легуючих елементів, хімічний склад наплавленого металу вже в першому шарі відповідає складу присадного порошку. Однорідність хімічного складу розпиленних порошків і висока стабільність режиму плазмового наплавлення забезпечують високу якість і однорідність хімічного складу наплавленого металу

1.8 Постановка завдання

Розглянути існуючі способи відновлення робочих лопаток турбін середнього тиску та обрати оптимальний. Розробити технологічний процес відновлення лопаток, обрати необхідне обладнання та призначити параметри процесу.

Отримати дослідні зразки відновлених робочих лопаток турбіни, перевірити готові вироби на предмет зовнішніх та внутрішніх дефектів, запропонувати заходи щодо їх попередження або усунення, призначити способи та обладнання для проведення контролю якості виробів.

Спроекувати виробничу ділянку відновлення лопаток та виконати техніко-економічні розрахунки, за якими можна зробити висновки щодо доцільності проведення робіт.

2 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИНИ СЕРЕДНЬОГО ТИСКУ МЕТОДОМ МПН

2.1 Режими наплавлення та структура наплавлених зразків до та після термообробки

Зразки були вирощені методом МПН на роботизованій установці YASKAWA-HP20D. Режими наплавлення наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технологічні параметри процесу наплавлення

Витр. порошк у, г/хв	Струм імпульс у, А	Час імпульс у, мс	Стру м паузи, А	Час паузи, мс	Витр. зах-го газу, л/хв	Витр. тансп. газу, л/хв	Витр. плазмоут в. газу, л/хв	Шв. напл , мм/с
≈3	27...28	200	2	160	3	3,5	1	1

Зразки після вирощування піддавалися термообробці – гомогенізації при $T = 1255^{\pm 10} \text{ }^{\circ}\text{C}$ з часом витримки від 1 год до 1 год 30 хв.

При огляді нетравлених мікрошліфів, виготовлених в поперечному перерізі зразків, виявлена мікропористість з наявністю мікропор розміром до ~70 мкм (рис. 2.1), зосереджена переважно в крайовій зоні.

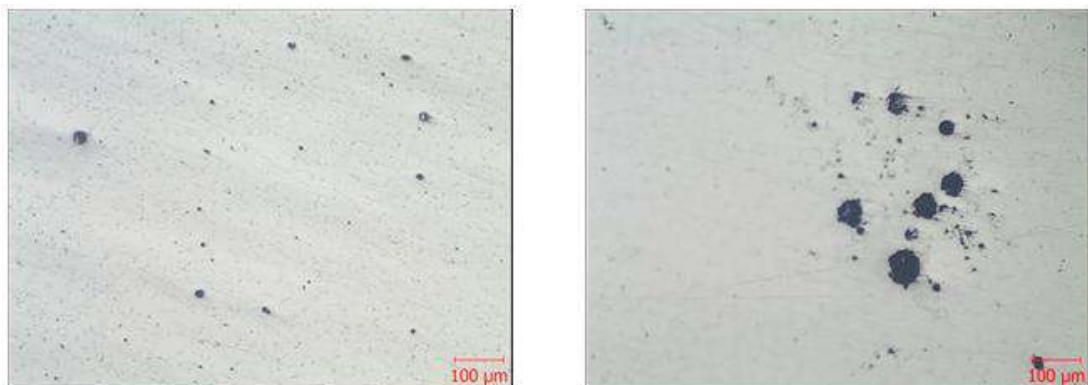


Рисунок 2.1 – Мікропори в матеріалі зразків зі сплаву ЖС32-ВИ,
збільшення x100

Наплавлений шар, зона сплавлення та зона навколо шва чітко розграничені (рис. 2.2).

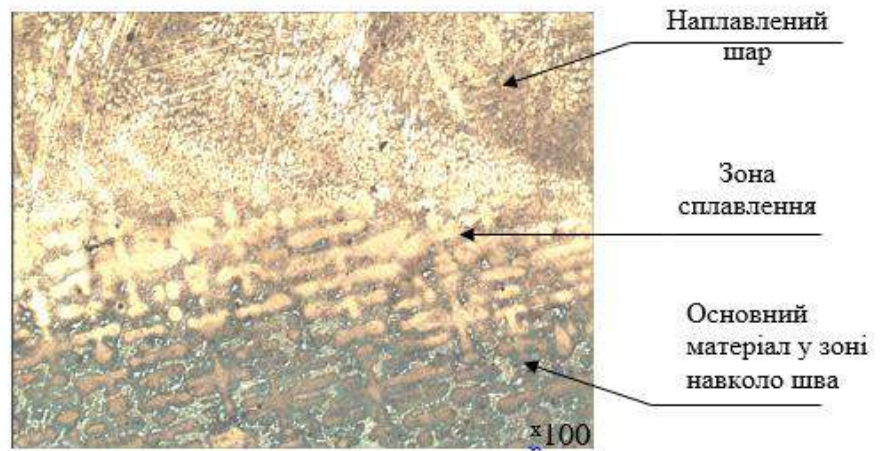


Рисунок 2.2 – Мікроструктура наплавленого шару і основного матеріалу в зоні навколо шва

Мікроструктура матеріалу зразків до термообробки являє собою γ -твердий розчин з наявністю інтерметалідної γ' -фази, карбідів, карбо-нітридів, а також евтектичної (γ - γ') – фази розміром ~ 5 мкм, характерних для литого стану сплаву ЖС32-ВИ (рис. 2.3).

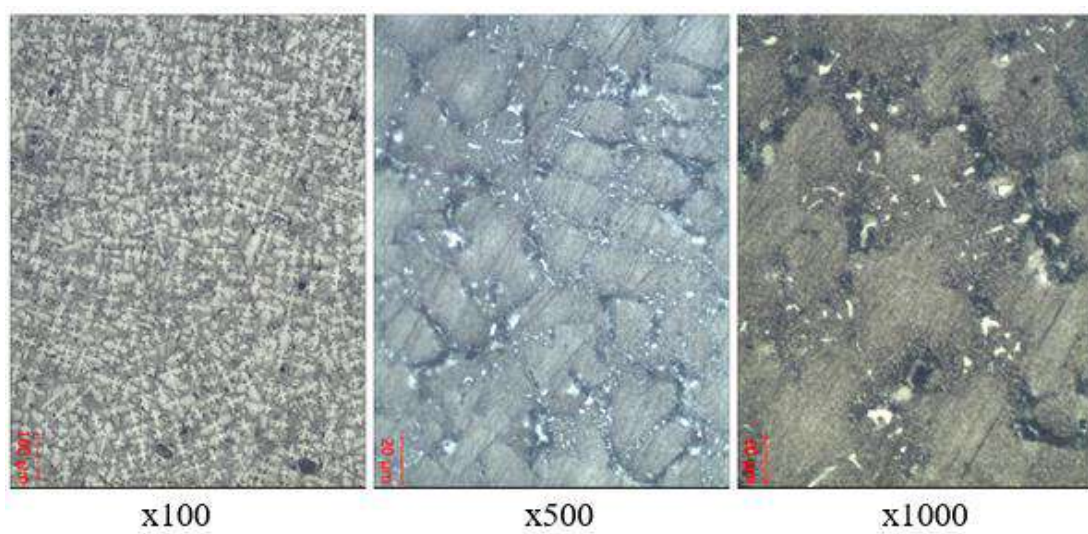


Рисунок 2.3 - Мікроструктура матеріалу зразків зі сплаву ЖС32-ВИ до термообробки при різних ступенях збільшення

Мікроструктура матеріалу зразків після термообробки при $T = 1255^{\pm 10} \text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідає нормально термообробленому стану сплаву ЖС32-ВИ, перегріву немає (рис. 2.4).

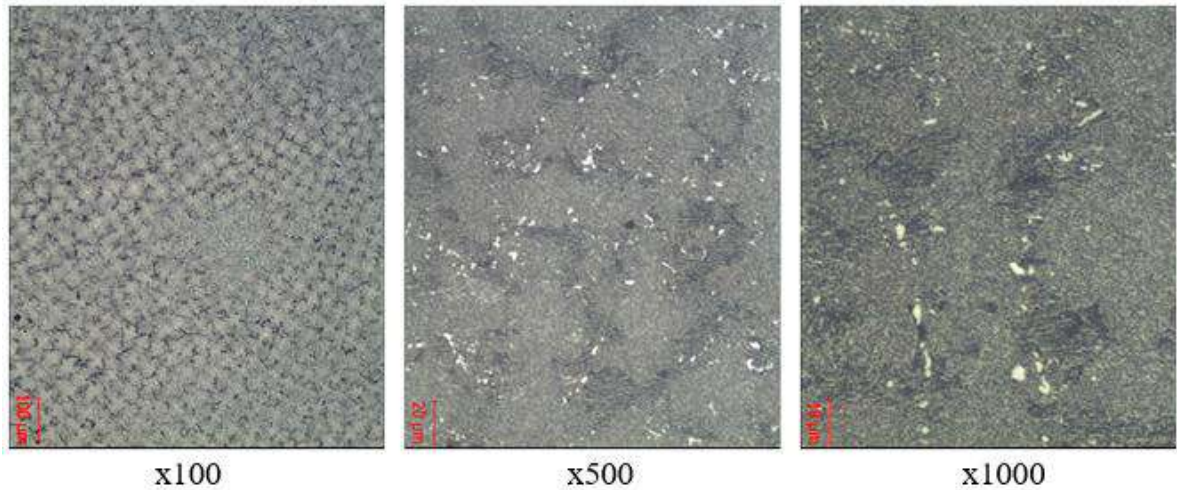


Рисунок 2.4 – Мікроструктура матеріалу зразків зі сплаву ЖС32-ВИ після термообробки при $T = 1255^{\pm 10} \text{ }^{\circ}\text{C}$ – варіант «2»

2.2 Механічні властивості дослідних зразків

Механічні властивості визначали на зразках після термообробки при $T = 1255^{\pm 10} \text{ }^{\circ}\text{C}$, вирізаних в напрямку згідно рис. 2.5, розміром 115 мм x 15 мм x 2 мм.



Рисунок 2.5 – Схема вирізання зразків

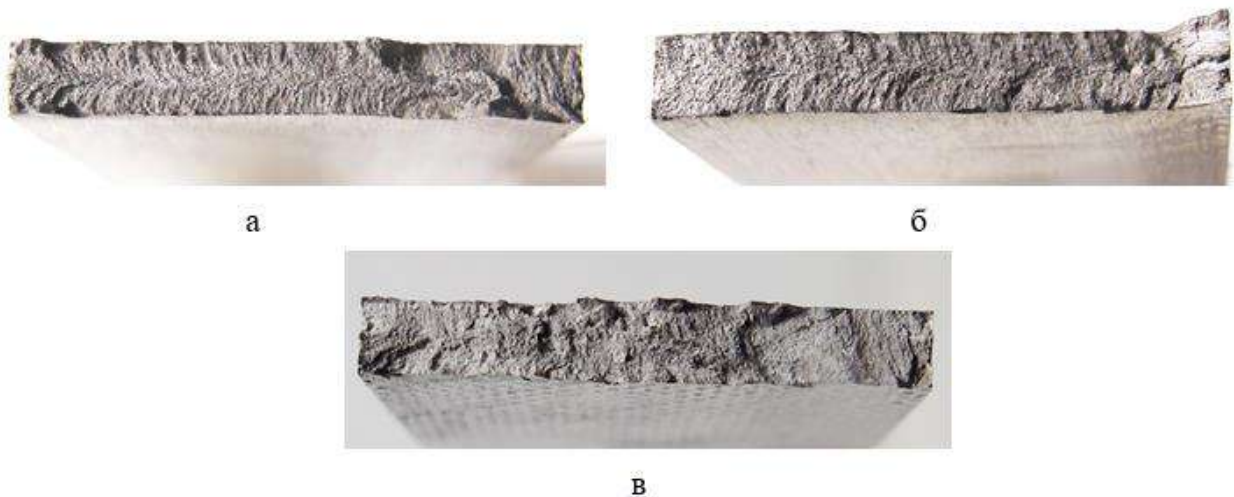
Результати механічних випробувань наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Механічні властивості зразків зі сплаву ЖС-32ВИ

Номер зразка для випробувань	Механічні властивості при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	σ_B , МПа	δ , %
№1	1125,8	10,0
№2	1056,2	7,1
№3	1290,6	11,4
Норми 500ТУМ-2	≥ 880	$\geq 6,0$

З даних, наведених у таблиці 2.1 видно, що механічні властивості досліджуваних зразків відповідають вимогам 500ТУМ-2.

Будова зламів на зразках після випробувань на розрив середньокристалічна. Дефекти на зламах не виявлені (рис. 2.6).



а – зразок №1;

б – зразок №2;

в – зразок №3

Рисунок 2.6 – Будова зламів зразків після випробувань на розрив

3 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НАПЛАВЛЕННЯ

Оскільки робочі лопатки ГТД є відповідальним деталями, в даному технологічному процесі передбачений як поточний, так і вихідний контроль лопаток ТСТ. Для контролю якості наплавлення лопаток ТСТ використовується візуальний контроль (за необхідності, з допомогою оптичних засобів), методи кольорової та ультразвукової дефектоскопії.

Кольорова дефектоскопія (капілярний контроль) дозволяє виявити дефекти, що виходять на поверхню: тріщини, пори, раковини, непровари, міжкристалітну корозію та інші несучільності.

Для кольорового контролю лопаток ТСТ використовується набір для кольорової дефектоскопії ЦМ-15В (рис. 3.1) [8].



Рисунок 3.1 - Набір для кольорової дефектоскопії ЦМ-15В

Контроль якості лопаток виконувати на всіх етапах технологічного процесу. Перевіряється кожна лопатка (100 % контроль) в комплекті до і після механічної обробки. Неприпустима наявність будь-якого з вище перерахованих дефектів. На наплавленій поверхні і поверхнях, прилеглих до неї, не допускаються точкові і штрихові світіння, що перевищують норми умов, зазначених в кресленні.

При необхідності використовувати оптичні засоби: при збільшенні від $\times 4$ до $\times 7$, біноклярний мікроскоп МБФ-1.

Слід враховувати, що дефекти наплавлення не завжди виходять на поверхню, тому для виявлення внутрішніх дефектів (газові пори та шлакові включення, непровари, внутрішні тріщини), використовуються методи ультразвукової дефектоскопії [9].

Для проведення УЗД використовується ультразвуковий дефектоскоп Krautkramer USM 36 (рис. 3.2), технічні характеристики дефектоскопу наведені у табл. 3.1.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд ультразвукового дефектоскопу USM 36

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики дефектоскопу для ультразвукового контролю Krautkramer USM 36

Діапазон частот, МГц	0,5...20
Фільтри	1...5 / 2; 2,25 / 4; 5 / 10 / 3; 15
Діапазон калібрування по відстані, мм	Від 4 до 14; 108 для поздовжніх хвиль
Швидкість звуку, м/с	Від 250 до 16,000
Активна зона, мм ²	152,4 x 91,4
Напруга живлення, В	Від 100 до 240 (змінний струм)
Габарити, мм	255 x 177 x 100
Маса, кг	2,2 (з акумуляторами)

Після наплавлення виконується відпал лопаток для зняття зварювальних напружень згідно ПП 1-82-177-91. Допускається поєднувати дану термообробку з іншими температурними нагрівами за погодженням з ОГМет.

Виправлення дефектів, що виявляються візуальним контролем і методами контролю з мінімальним розкриттям від 0,12 мкм до 0,5 мкм, виконується наплавленням матеріалу ЖС32-ВИ плазмово-порошковим методом після повного видалення дефекту. Кількість підварювань не більше двох на одному місці.

4 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ

4.1 Обладнання для плазмово-порошкового наплавлення

Для плазмово-порошкового наплавлення лопатки ТСТ використовується установка для плазмового наплавлення УПНС-304 (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 - Установка плазмового наплавлення УПНС-304

Технічні характеристики установки наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики установки плазмового наплавлення УПНС-304

Напруга живлення, В	3 x 380
Споживана потужність, кВА	25
Номінальний струм (ПВ), А (%)	315 (60 %); 250 (100 %)
Регулювання робочого струму, А	Від 20 до 160
Товщина шару, що наноситься за один прохід, мм	Від 1 до 4
Продуктивність наплавлення, кг/год	5
Матеріал електроду	вольфрам, мідь
Довжина шлангу, м	4,5
Плазмоутворювальний і захисний газ	аргон
Максимальна витрата газу, л/год	1250
Охолодження плазмотрона	водне
Витрата води на охолодження, л/год	200
Габарити (ДхШхВ), мм	
блоку живлення	800 x 700 x 900
блоку управління	600 x 380 x 600
Маса установки, кг	400

В комплект установки входить плазмотрон (рис.4.2)



Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд плазмоторона для ППН

4.2 Обладнання для інших технологічних операцій

Для термообробки лопаток в технологічному процесі використовується вакуумна піч. Зовнішній вигляд обраної печі представлений на рисунку 4.3, технічні характеристики печі наведені у табл. 4.2



Рисунок 4.3 – Вакуумна піч з екранною теплоізоляцією

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики вакуумної печі з екранною теплоізоляцією

Максимальна температура в робочому просторі, °C	2500
Середовище в робочому просторі	вакуум
Номінальна потужність електропечі, кВт	32
Потужність встановлена, кВт	35
Відхилення температури в робочому просторі, °C	± 10
Розміри робочого простору, мм	200 x 400 x 200
Максимальна маса садки, кг	12
Граничний залишковий тиск, Па (мм рт. ст)	$6,65 \cdot 10^{-3}$ ($5 \cdot 10^{-5}$)

Продовження табл. 4.2

Номінальна напруга мережі, В	380/220
Номінальна частота струму, Гц	50
Кількість фаз нагрівача	1
Витрата води на охолодження, м ³ /год	1,5
Габаритні розміри печі, (ДхШхВ)	1480 x 1750 x 1870
Маса печі, кг	1000

Для токарно-шліфувальної операції в технологічному процесі передбачено використання універсального токарного верстата Zenitech MD 250-550 (рис. 4.4), технічні характеристики наведені у табл. 4.3.



Рисунок 4.4 - Універсальний токарний верстат Zenitech MD 250-550

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики універсального токарного верстата Zenitech MD 250-550

Максимальний діаметр оброблюваної деталі, мм	250
Максимальна довжина оброблюваної деталі, мм	550
Частота обертання шпинделя, об/хв	50/2500
Діаметр наскрізного отвору у шпинделі, мм	26

Продовження табл. 4.3

Поздовжня подача, мм/об	0,07/0,4
Границі кроку метричних різьб, які нарізаються, мм	Від 0,2 до 3,5
Границі кроку дюймових різьб, які нарізаються, ниток/дюйм	8/56
Габаритні розміри, мм	1500 x 560 x 570
Електродвигун, кВт · год/В	0,75/220
Маса, кг	140

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ДІЛЬНИЦІ НАПЛАВЛЕННЯ

5.1 Аналіз ринку жароміцних матеріалів

Жароміцні і жаростійкі сплави застосовують при виготовленні багатьох деталей газових турбін реактивної авіації, в суднових газотурбінних установках, стаціонарних газових турбінах, при перекачуванні нафти і нафтопродуктів, при гідрогенізації палива, в нагрівальних металургійних печах і багатьох інших установках. Ряд сплавів активно застосовується в авіабудуванні та знайшов застосування і в інших галузях.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів
Використання адитивних технологій відновлення лопаток турбін середнього тиску	Відновлення бандажних полиць робочих лопаток ТСТ	Зниження вартості ремонту лопаток ТСТ

Підприємства авіабудування та авіа-ремонт в Україні:

- державне підприємство «Антонов» (авіабудівна) ;
- державне підприємство «Спеціалізована зовнішньоторговельна фірма «ПРОГРЕС» (ДП СЗТФ «ПРОГРЕС») (авіабудівна) ;
- АТ «МОТОР СІЧ» (авіабудівна);
- харківське державне авіаційне виробниче підприємство.

На даний час в загальному обсязі світового виробництва ГТД, в вартісному вираженні, авіаційні двигуни становлять близько 70 %, наземні і морські близько 30 %.

Обсяг виробництва наземних і морських ГТД розподіляється наступним чином:

- енергетичні ГТД ~ 91 %;
- ГТД для приводу промислового устаткування і наземних транспортних засобів ~ 5%;
- ГТД для приводу судових рушіїв ~ 4 %.

Основними світовими виробниками авіадвигунів є такі компанії як General Electric (GE), Pratt & Whitney (P & W); Rolls-Royce (RR), Siemens. Аналізуючи розробки і продукцію наведених вище підприємств, можна зробити висновок, що Україна, а саме ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» (м. Миколаїв) є одним з провідних підприємств у світі з розробки та виробництва ГТД для суднобудування, енергетики та газоперекачувальних агрегатів.



Рисунок 5.1 - Карта стейкхолдерів

Сучасні промислові ГТД енергетичного напрямку виготовляються з повним ресурсом до 100000 і 2500 годин до капітального ремонту. Однак такі зарубіжні двигуни як, наприклад, LM 1600, LM 2500, LM 6000 (компанія

виробник GE) має повний ресурс до 160000 і 40000 годин до капітального ремонту, FT8 (компанія виробник P & W) має повний ресурс до 240000 і 50000 годин до капітального ремонту . Що стосується технічних характеристик, то деякі двигуни українського виробництва відповідають своїм аналогам, виробленим за кордоном. Одним з напрямків вітчизняного виробництва двигунів є розробка нових сплавів для виготовлення лопаток турбін.

Сплави повинні працювати в агресивних середовищах і при високих температурах і навантаженнях.

Сьогодні нікель є незамінним компонентом багатьох жароміцних матеріалів (суперсплавів), які знаходять своє застосування при виготовленні деталей силових установок для цілей аерокосмічної промисловості. Нікелевий катод користується високим попитом на ринку кольорових металів.

За останні роки кольорові метали набули широкого застосування у металургії. Вироби з кольорових металів та їх сплавів активно використовуються у промисловості, медицині та інших галузях. Значна частина цих металів є хімічно активними, що робить практично неможливим отримання у атмосфері повітря якісних виробів шляхом дугового переплаву. Висока спорідненість даних металів до газів (кисню, азоту та водню) при підвищених температурах обумовлює використання у якості захисної атмосфери інертних газів, найбільш розповсюдженими з яких є гелій та аргон.

5.2 Організація ділянки порошково-плазмового наплавлення робочої лопатки ТСТ

Одним із найважливіших завдань організації виробництва є забезпечення найменшої тривалості виробничого процесу, тобто циклу виготовлення продукції.

При нормуванні заготівельних робіт та робіт зі зварювання необхідно брати до уваги серійний характер виробництва, який впливає на структуру норми часу. Норми часу на процес відновлення лопаток за новою технологією представлені в табл. 5.2 та за старою технологією у табл. 5.3.

Таблиця 5.2 - Технологічний процес наплавлення лопатки за новою технологією

№	Найменування операції	Норма часу, год.
1	Слюсарна	0,1
2	Контрольна	0,2
3	Токарно-шліфувальна	0,03
4	Слюсарна	0,1
5	Мийна	0,3
6	Термообробка	0,22
7	Кольорова дефектоскопія	0,1
8	Наплавлення гребінця	0,1
9	Термообробка	0,22
10	Слюсарна	0,1
11	Наплавлення	0,1
12	Термообробка	0,22
13	Слюсарна	0,1
14	Кольорова дефектоскопія	0,1
15	Ультразвукова дефектоскопія	0,1
	$t_{шт}$	2,00

Таблиця 5.3 - Технологічний процес наплавлення лопатки за старою технологією

№	Найменування операції	Норма часу, год.
1	Слюсарна	0,1
2	Контрольна	0,2
3	Токарно-шліфувальна	0,03
4	Слюсарна	0,1
5	Мийна	0,3
6	Термообробка	0,22
7	Кольорова дефектоскопія	0,1
8	Наплавлення гребінця	0,1
9	Термообробка	0,22
10	Слюсарна	0,1
11	Наплавлення	0,1
12	Термообробка	0,22
13	Слюсарна	0,1
14	Кольорова дефектоскопія	0,1
15	Ультразвукова дефектоскопія	0,1
16	Механічна обробка	0,3
	$t_{шт}$	2,3

5.3 Виробнича програма та її матеріальне забезпечення

Основою для розрахунку ділянки відновлення лопаток є виробнича програма в штуках.

У даному проекті приймаємо виробничу програму з відновлення лопаток ТСТ рівною 10000 зразків. (див. табл. 5.4). Вартість матеріалів для відновлення лопатки способом порошково-плазмового наплавлення на одиницю виробу і на програму приведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.4 – Виробнича програма зразків за рік

Найменування виробу	Норма часу на виріб , н/год	Виробнича програма	
		штук	н/год
Робоча лопатка ТСТ	2	10000	20000

Таблиця 5.5 - Розрахунок потреби в матеріалах, і їх вартість

Найменування матеріалу	Норма витрати		Ціна за 1 кг (л) матеріалу, грн	Вартість на програму, грн
	На виріб, кг (л)	На програму, кг (л)		
Порошок ЖС32-ВИ	0,036	360	200	72000
Газ Аг (вищого сорту)	50	500000	8	4000000
Разом				4072000

Транспортні витрати складають 10 % від вартості виробів – 407200 грн.

Балансова вартість матеріалів з урахуванням транспортних витрат:

$$4072000 + 407200 = 4479200 \text{ грн}$$

5.4 Розрахунок кількості обладнання та площі ділянки

На даній виробничій ділянці однозмінний режим роботи при п'ятиденному робочому тижні – 40 годин. Тривалість робочої зміни 8 годин.

Номінальний фонд часу роботи обладнання для однозмінного режиму роботи прийнятий 2000 годин.

Ефективний (дійсний) фонд часу роботи обладнання за рік визначається за формулою:

$$F_{\text{еф}}^{\text{об}} = F_{\text{ном}} \cdot (1 - K_{\text{в}}) = 2000 \times (1 - 0,07) = 1860 \text{ год}, \quad (5.1)$$

де $F_{\text{ном}}$ – номінальний фонд часу роботи устаткування;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт витрат часу на ремонт та обслуговування обладнання, $K_{\text{в}} = 0,07$.

До складу основних фондів ділянки входять устаткування, будівлі, цінний інструмент і пристосування.

Розрахунок кількості одиниць устаткування певного типу проводиться за формулою:

$$Cpi = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_{\text{эф}}^{\text{об}}}, \quad (5.2)$$

де m – кількість видів робіт;

t_i – норма часу i -ої операції, год;

N_i – річна програма i -го виробу, шт;

$F_{\text{эф}}^{\text{об}}$ - ефективний фонд роботи устаткування за рік, год.

Розрахунок кількості обладнання:

а) для механічної обробки:

$$C_p = \frac{0,1 \times 10000}{1860} = 0,54 \text{ од;}$$

Коефіцієнт завантаження устаткування $K_{зав} = 0,54 / 1 = 0,54$

б) для наплавлення:

$$C_p = \frac{0,15 \times 10000}{1860} = 0,8 \text{ од;}$$

Коефіцієнт завантаження устаткування $K_{зав} = 0,8 / 1 = 0,8$

Розрахунок кількості устаткування, його вартості і потужності наведено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок кількості устаткування, його вартості і потужності

Устаткування	Кільк. устаткув., шт	Коеф. завантаж., K_z	Ціна устаткування за прейскурантом, грн	Потужн. двигунів кВт · год
Токарний верстат Zenitech MD 250- 550	1	0,54	55700	0,75
Робот YASKAWA- HP20D	1	0,8	309900	3
Всього	2		365600	

Транспортні витрати складають 10 % від вартості устаткування – 36560 грн.

Балансова вартість устаткування з урахуванням транспортних витрат:

$$Q_{\text{обор}} = 365600 + 36560 = 402160 \text{ грн}$$

Балансова вартість цінного інструменту складає 3 % від балансової вартості устаткування:

$$Q_{\text{інстр}} = 402160 \times 0,03 = 12064,8 \text{ грн}$$

Балансову вартість виробничого інвентаря приймаємо 2 % від вартості устаткування, а господарського 110 грн на одного робітника і 165 грн на одного ІТР.

$$Q_{\text{інв}} = 402160 \times 0,02 + 660 = 8703,2 \text{ грн},$$

де 2200 - вартість господарського інвентаря, грн

Площа ділянки $12 \times 18 = 216 \text{ м}^2$ вартість будівлі 2160000 грн.

Розрахунок основних фондів і амортизаційні відрахування наведені у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Основні фонди ділянки, їх структура і амортизаційні відрахування

Групи основних фондів	Балансова вартість, грн	Структура, %	Термін експлуатації (роки)	Річні амортизаційні відрахування, грн
Будівлі	2160000	76,5	45	48000
Споруди	240000	8,5	30	8000
Устаткування	402160	14,3	15	26810,7

Продовження табл. 5.7

Інструмент	12064,8	0,4	5	2412,9
Інвентар	8703,2	0,3	3	2901,1
Загалом	2822928	100		88124,7

5.5 Розрахунок кількості персоналу дільниці

Чисельність основних працівників на нормованих роботах дільниці по кожній професії визначається по формулі:

$$Ro = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_{\partial}^p K_{BH}}, \quad (5.3)$$

де m – кількість видів робіт;

t_i – норма часу i -ої операції, год;

N_i – річна програма i -го виробу шт;

$K_{BH} = 1,05$ – коефіцієнт виконання норм вироблення;

F_{∂}^{ef} - ефективний фонд роботи робітника в рік визначається по формулі

$$F_{\partial}^p = F_{ном} (1 - h) \text{ ч}, \quad (5.4)$$

$$F_{\partial}^p = 1860 \text{ год}$$

Розрахунок кількості працівників:

- кількість робітників на слюсарну операцію:

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_d^p K_{BH}} = \frac{0,4 \times 10000}{1860 \times 1,05} = 2 \text{ чол}$$

- кількість робітників на операцію наплавлення:

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_d^p K_{BH}} = \frac{0,2 \times 10000}{1860 \times 1,05} = 1 \text{ чол}$$

- кількість робітників на якості:

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_d^p K_{BH}} = \frac{0,5 \times 10000}{1860 \times 1,05} = 2 \text{ чол}$$

Чисельність допоміжних робітників визначається по нормах обслуговування і по робочих місцях. Для ділянки необхідні: 1 зварник-оператор, 2 слюсара, 2 контролера, 1 наладчик та 1 електрик-ремонтник.

Визначення потреби в ІТР робиться на підставі структури управління : 1 інженер-технолог, 1 майстер. Загальна чисельність персоналу приведена в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Загальна чисельність персоналу

Професія	Форма оплати праці	Кількість працівників, чол	по розрядах		
			4	5	6
Основні:					
Зварник-оператор	Відрядно- преміальна	1	1		
Контролер		2		2	
Слюсар		2	2		

Продовження табл. 5.6

Допоміжні:					
Наладчик	Почасово-преміальна	1		1	
Електрик-ремонтник		1			1
ІТР:					
Технолог	Штатно-окладна	1			
Майстер		1			
Всього		9	3	3	1

5.6 Фонд оплати праці

Сума заробітної плати, яка виплачується працівникам підприємства, утворює фонд заробітної плати. Фонд заробітної плати розраховується згідно з прийнятими формами і системами оплати праці. Цей показник розраховується окремо по кожній групі працівників, і в цілому по ділянці.

Річний фонд зарплати складається з тарифного фонду доплат, і премій.

Тарифний фонд заробітної плати основних працівників-відрядників розраховується по формулі:

$$Z_{\text{відрядників}} = N_i \cdot \sum_{i=1}^n P_i, \quad (5.5)$$

де N_i - річна виробнича програма, шт;

n – кількість операцій технологічного процесу;

P_i – розцінка на операцію розраховується по формулі:

$$P_i = c_i \cdot t_i, \quad (5.6)$$

де c_i – годинна тарифна ставка відповідного розряду, грн;

t_i – норма часу на операцію, год;

Розрахунок розцінок зведений в таблиці 5.8

Таблиця 5.8 – Розрахунок розцінок за операціями

Операція	Норма часу, год	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Розцінка, грн.
Слюсар	0,4	4	50	20
Зварник	0,2	5	65	13
Контролер	0,5	4	50	25
Всього	1,1			58

Тарифний фонд заробітної плати основних працівників складає:

$$З_{\text{осн.}} = 58 \times 10000 = 580000 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна основних робітників, премії з фонду зарплати 60 %

$$З_{\text{дод}} = 580000 \times 0,6 = 348000 \text{ грн.}$$

Премії з прибутку 15 % від фонду зарплати

$$З_{\text{прем}} = 580000 \times 0,15 = 87000 \text{ грн}$$

Річний фонд заробітної плати основних робітників.

$$З_{\text{річн.}} = 580000 + 348000 + 87000 = 1015000 \text{ грн.}$$

Тарифний фонд заробітної плати допоміжних працівників–погодинників визначається по формулі:

$$З_{\text{доп}} = C_1 \cdot K_{\text{тар.сер.}} \cdot F_{\text{эф.}} \cdot R_{\text{доп}} \quad (5.7)$$

де C_1 – годинна тарифна ставка першого розряду, грн;

$R_{\text{доп}}$ – чисельність допоміжних працівників, чол;

$K_{\text{тар.сер.}}$ – середній тарифний коефіцієнт:

$$K_{\text{тар.сер.}} = \frac{\sum k_i R_i}{R_{\text{доп}}}, \quad (5.8)$$

де m – кількість розрядів допоміжних працівників, чол;

k_i – тарифний коефіцієнт i -ого розряду;

R_i – кількість допоміжних працівників i -ого розряду, чол;

$R_{\text{доп}}$ – кількість допоміжних робітників i -ого розряду, чол.

$$K_{\text{тар.сер.}} = \frac{1,7 \cdot 1 + 1,5 \cdot 1}{2} = 1,6$$

$$З_{\text{доп}} = 10,5 \times 1,6 \times 1860 \times 2 = 62496 \text{ грн.}$$

Заплановані доплати і премії – 50 % від тарифного фонду:

$$62496 \times 0,5 = 31248 \text{ грн}$$

Премії з прибутку:

$$62496 \times 0,15 = 9374,4 \text{ грн.}$$

Річний фонд заробітної плати допоміжних працівників складає:

$$62496 + 31248 + 9374,4 = 103118,4 \text{ грн.}$$

Розрахунок фондів заробітної плати керівників і фахівців приведений в табл. 5.9

Таблиця 5.9 - Розрахунок фондів заробітної плати ІТР

Посада	Чисельність, чол	Місячний оклад, грн	Сума міс. окладів, грн	Річний фонд, грн
Майстер	1	9600	9600	115200
Технолог	1	7600	7600	80400
Всього	2	-	17200	158400

Зведена відомість фонду заробітної плати усіх категорій працюючих, чисельність працівників і їх середня зарплата в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Зведена відомість оплати праці

Категорія персоналу	Чисел., чол.	Фонд зарплати, грн.			Сер. міс. з/п. грн.	Відрах. на соц. страх. 22 %, грн
		Основні тарифікації	Додаткові	Річний фонд		
Основні	5	580000	435000	1015000	14097,2	223300
Допом.	2	62496	40622,4	103118,4	4296,6	22686

Продовження табл. 5.10

Керівник ІТР	2			158400	8600	34848
Всього	9			1276518,4	8631,3	113404,8

5.7 Розрахунок собівартості робіт з відновлення

Собівартість продукції річного випуску визначається усіма витратами дільниці протягом року по наступних статтях прямих і непрямих витрат.

А. Прямі витрати:

Стаття 1 - Основні і допоміжні матеріали.

Стаття 2 - Тарифна заробітна плата основних працівників.

Стаття 3 - Доплати, допоміжна зарплата, премії.

Стаття 4 - Нарахування на соціальне страхування.

Стаття 5 - Паливо і енергія на технологічні цілі.

Усі витрати по статтях(1 - 5) приведені в таблиці 5.10

Б. Непрямі витрати:

- витрати на утримання і експлуатацію устаткування;

- загальновиробничі витрати.

Непрямі витрати визначаються складанням річних витрат, оскільки ці статті є комплексними. Розрахунок проводиться наступним чином:

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування розподіляють на собівартість одиниці продукції пропорційно основній заробітній платі виробничих робітників.

Розрахуємо розмір витрат на утримання та експлуатацію обладнання , що припадає на одиницю виробу:

$$ВУЕО = \frac{L}{100} \cdot З_{oi} = \frac{250}{100} \times 58 = 145 \text{ грн.},$$

де $З_{oi}$ – основна заробітна плата на одиницю продукції, грн.;

L – Відсоток витрат на утримання та експлуатацію ($L = 250 \%$),

В. Загальновиробничі витрати - це витрати на управління в межах цеху, дільниці. Стаття є комплексною і охоплює такі витрати:

Стаття 1 - Утримання цехового персоналу.

Стаття 2 - Утримання приміщень і інвентаря. У цій статті розраховуються витрати на електроенергію для освітлення, воду на побутові потреби, пару для опалювання, допоміжні матеріали.

Стаття 3 - Поточний ремонт приміщень і інвентаря.

Стаття 4 - Амортизація приміщень і інвентаря.

Стаття 5 - Витрати на досліді, дослідження, раціоналізацію, винаходи.

Стаття 6 - Витрати на охорону праці.

Загальновиробничі витрати (ЗВВ) визначаються за наступною формулою:

$$ЗВВ_i = \frac{\beta}{100} \cdot З_{oi} \frac{150}{100} \times 58 = 87 \text{ грн.},$$

де β – процент загальновиробничих витрат ($\beta = 150 \%$)

Витрати електроенергії на технологічні цілі:

$$E = 2,5 \text{ кВт/год} \times 0,265 \times 35000 = 23187,5 \text{ кВт};$$

$$E_{\text{тех}} = 23187,5 \times 2,68 = 62142,5 \text{ грн}$$

Г. Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати

складають в середньому 500 % від основної заробітної плати основних виробничих робітників:

$$AB = 5 \times 58 = 290 \text{ грн}$$

Калькуляція собівартості відновлювальних робіт приведена у таблиці 5.13.

Таблиця 5.13 – Калькуляція собівартості відновлювальних робіт

№	Найменування статей витрат	Витрати, грн		
		на програму	на одиницю, за новою технологією	на одиницю, за старою технологією
1	Допоміжні і основні матеріали	4479200	447,92	447,92
2	Тарифна заробітна плата основних працівників	580000	58	78
3	Доплати, додаткова заробітна плата, премії основних працівників	435000	43,5	58,8
4	Нарахування на соц. страхування	223300	22,33	29,9
5	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	1450000	145	195
6	Загальновиробничі витрати	870000	87	117

Продовження табл. 5.13

7	Електроенергія на технологічні цілі	62142,5	6,21	8,07
Всього загальноновиробнича собівартість		8099642,5	809,96	934,69

Відносні показники розраховуємо по наступним формулам:

Фондовіддача:

$$\Phi_{\text{від}} = \frac{C_{\text{п}} - C_{\text{м.п.}}}{\Phi_{\text{осн.}}} \quad (5.9)$$

де $C_{\text{п}}$ - повна собівартість продукції за рік;

$C_{\text{м.п.}}$ - вартість напівфабрикатів і матеріалів;

$\Phi_{\text{осн.}}$ - вартість основних фондів.

$$\Phi_{\text{від}} = \frac{8099642,5 - 4479200}{2822928} = 1,28$$

Продуктивність роботи одного працівника:

$$E = \frac{C_{\text{п}} - C_{\text{м.п.}}}{\sum K} \quad (5.10)$$

де $\sum K$ - кількість робітників.

$$E = \frac{8099642,5 - 4479200}{9} = 402271,39 \text{ грн/чол.}$$

Фондомісткість:

$$\Phi_{\text{міст}} = \frac{\Phi_{\text{осн.}}}{C_{\text{п}} - C_{\text{м.п.}}} \quad (5.11)$$

$$\Phi_{\text{міст}} = \frac{2822928}{8099642,5 - 4479200} = 0,78 \text{ грн.}$$

Визначення економічного ефекту від впровадження нової технології відновлення робочої лопатки ТСТ.

Критерієм економічної ефективності рішень, що приймаються, є приведені витрати. Економічно-ефективним виступає той варіант, за яким приведені витрати будуть найменшими.

Розрахунок економічного ефекту для устаткування довготривалого використання робиться по формулі:

$$З_1 = C_1 + E_H \cdot K_1 \text{ пнт} \quad (5.12)$$

де: C_1 – собівартість одиниці продукції по базовому варіанту, грн.;

$З_2$ – приведені витрати одиниці продукції по новому варіанту, грн.;

$$З_2 = C_2 + E_H \cdot K_2 \text{ пнт} \quad (5.13)$$

де: C_2 – собівартість одиниці продукції по новому варіанту, грн.;

$K_{1,2} \text{ пнт}$ – питомі капітальні вкладення, грн.;

$$З_2 = 809,96 + 0,15 \times \frac{2822928}{10000} = 852,3 \text{ грн}$$

$$З_1 = 934,69 + 0,15 \times \frac{2822928}{10000} = 977,03 \text{ грн}$$

$$E = [977,03 - 852,3] \times 10000 = 1247300 \text{ грн}$$

Показники техніко-економічної ефективності від впровадження нової технології ремонту бандажної полки робочої лопатки турбіни середнього тиску наведено у звітній таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 - Показники ефективності й результативності

Найменування показників	Значення показника
1. Річний випуск виробів:	
- у натуральному вираженні, одиниць	10000
- за трудомісткістю, н-год.	20000
- у грошовому еквіваленті, тис. грн..	8099,6
2. Виробнича площа ділянки, м ²	216
3. Амортизаційні відрахування, грн.	88124,7
4. Облікова чисельність, чол.	
- загальна	9
- основних робітників	5
- допоміжних робітників	2
- керівники й фахівці	2
5. Річний фонд оплати праці, грн	1015000
6. Середня заробітна плата на місяць, грн.	8631,3
7. Продуктивність праці одного працюючого, грн./чол.	402271,39
8. Фондовіддача	1,28
9. Коефіцієнт завантаження устаткування	0,8
10. Фондомісткість	0,78
11. Собівартість одиниці продукції, грн.	852,3
12. Економічний ефект за розрахунковий рік, грн.	1247300

Економічний ефект від впровадження нової технології відновлення робочої лопатки ТСТ склав 1247300 грн.

Беззбитковість виробництва вміщує розрахунок критичного обсягу виробництва продукції, Точка беззбитковості наводиться на графіку.

Математично точка беззбитковості ($N_{кр}$) може бути визначена за формулою:

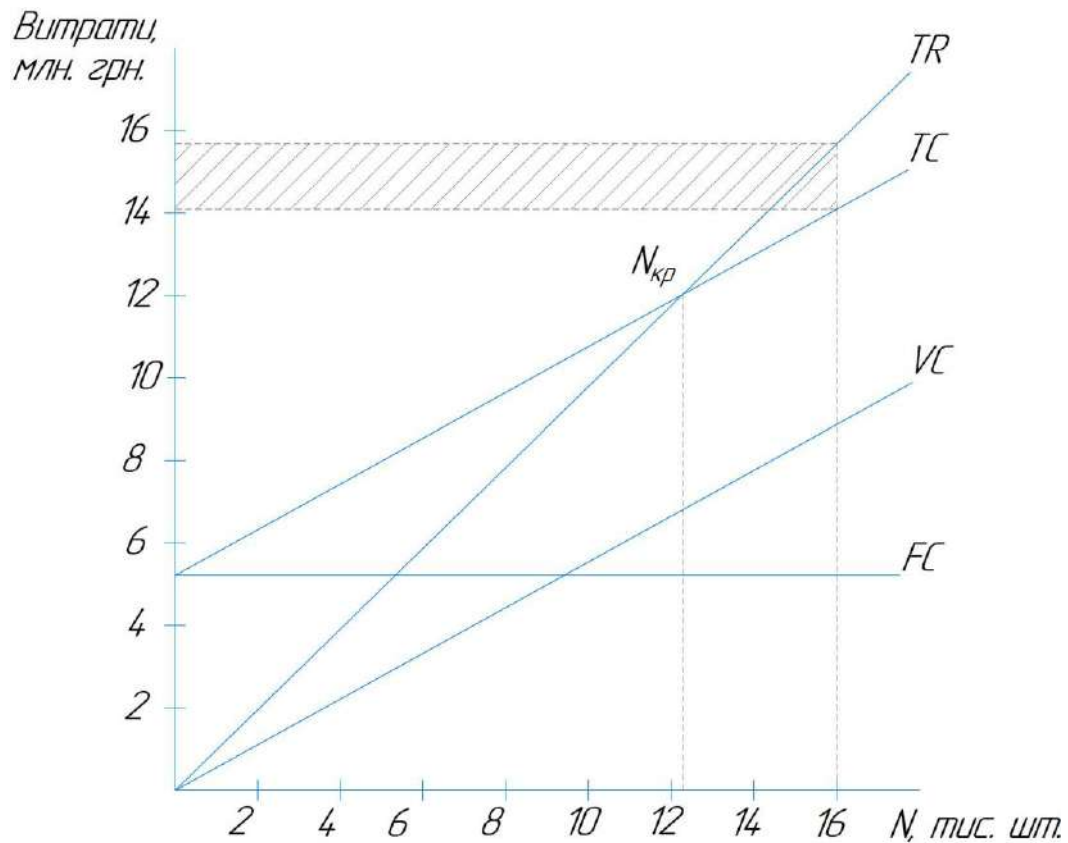
$$N_{кр} = \frac{FC}{P_i - VC_i} = \frac{5220000}{980,15 - 555,63} = 12296 \text{ шт.}$$

де FC – постійні витрати (ВУЕО, ЗВВ, АВ);

VC_i – змінні витрати на одиницю продукції (ФОП_{о.р.}, МВ, Е_{тех});

P_i – вартість одиниці продукції.

Графічно точка беззбитковості знаходиться наступним чином (рис. 5.2):



FC – постійні витрати (ВУЕО, ЗВВ, АВ);

VC – змінні витрати (ФОП_{о.р.}, МВ, Е_{тех});

TC – валові витрати ($TC = FC + VC$);

TR – дохід від реалізації готової продукції ($TR = P \cdot N$)

Рисунок 5.2 – Графічний спосіб визначення точки беззбитковості

Площа прямокутника відповідає обсягу прибутку для програми у 16 тис. виробів, і становить:

$$\text{Прибуток} = (P_i - CB_i) \cdot N = (980,15 - 852,3) \times 16000 = 2045600 \text{ грн}$$

В даному розділі провели розрахунки техніко-економічного ефекту, визначили інші показники ефективності й результативності впровадження нової технології відновлення лопаток ТСТ (табл. 5.11), розраховали критичний обсяг виробництва.

За розрахунковими даними, економічний ефект від впровадження нової технології відновлення робочої лопатки ТСТ склав 1247300 грн, критичний обсяг виробництва, після якого дільниця починає приносити прибуток – 12296 шт.

З урахуванням наведених вище даних, можна зробити висновок, що дана технологія є придатною до впровадження, але її використання є економічно доцільним лише при великому обсязі виробництва.

Для подальшого зниження собівартості продукції можна вжити наступний ряд заходів:

1) підвищувати технічний рівень виробництва: застосовуючи нову техніку і технології, механізацію і автоматизацію виробничих процесів, удосконалювати техніку і технології, які використовуються на виробництві;

2) покращувати організацію виробництва і праці: розвиваючи спеціалізацію виробництва, покращувати матеріально-технічне постачання і використання матеріальних ресурсів, скорочувати транспортні витрати;

3) змінювати об'єм і структуру продукції: відносно зменшення умовно-постійних затрат і амортизаційних відрахувань в результаті росту об'єму виробництва, зміна структури продукції, підвищення її якості.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при відновленні бандажної полки лопатки турбіни середнього тиску методом плазмово-порошкового наплавлення.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

а) небезпеки, пов'язані з порушенням роботодавцем вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників»

До ряду таких небезпек входять: відсутність наданої інформації зі сторони роботодавця про специфіку виробництва, непроведення всіх необхідних інструктажів з охорони праці, відсутність навчання та перевірки знань за фахом;

б) можливість ураження електричним струмом при виконанні виробничих або дослідницьких робіт. Основною причиною ураження може бути порушення правил з електробезпеки або несправність енергоспоживчого обладнання, що може призвести до електричної травми або летальних наслідків;

в) небезпеки, пов'язані з використанням судин для зберігання робочих або захисних газів під тиском, зокрема:

- порушення правил зберігання та переміщення судин під тиском;
- відсутність захисних пристроїв на судинах або на магістралях для подачі цих газів;
- порушення правил експлуатації, що може призвести до великомасштабних руйнувань або тяжких травм;

г) небезпеки, пов'язані з безпосереднім проведенням наплавлення дослідницьких виробів або зразків, зокрема:

- можливість ураження органів зору при інтенсивному у/ф випромінюванні від плазмової дуги внаслідок поєднання зони, де відбувається процес та робочого місця виконавця;

- підвищений рівень шуму при використанні плазмотронів, що може призвести до ураження органів слуху;

- д) небезпеки, пов'язані з дослідженням структури матеріалу методами оптичної та електронної мікроскопії (ураження органів зору та негативний вплив потужного електронного випромінювання);

- є) незадовільні параметри мікроклімату, які повинні відповідати фізіологічним потребам організму внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну;

- ж) небезпеки, пов'язані з можливим виникненням НС.

6.2 Засоби забезпечення безпеки

- а) згідно НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцем охорони праці працівників» [10], існують наступні заходи по забезпеченню безпеки а саме:

- роботодавець забезпечує повну і вичерпну інформацію працівників та їх уповноважених представників з питань охорони праці про можливі небезпечні ситуації, про вжиті заходи для їх запобігання або їх ліквідації та про дії працівників у аварійних ситуаціях.

- працівники мають бути проінформовані та проінструктовані згідно НПАОП 0.00–4.12–05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [11] щодо дій, необхідних у разі виникнення на підприємстві аварійних ситуацій, пов'язаних з безпосередньою загрозою для їх життя і здоров'я, та про вжиті або такі, що мають бути вжитими, запобіжні і захисні заходи.

Для забезпечення належного виконання цих заходів роботодавець призначає відповідальних осіб, забезпечує їх підготовку і спорядження відповідно до небезпечності виробництва, масштабів і специфіки підприємства.

У разі виникнення на підприємстві надзвичайних ситуацій і нещасних випадків роботодавець повинен вжити термінових заходів для евакуації працівників, надання першої медичної допомоги потерпілим, локалізації і ліквідації аварії або пожежі, усунення їх наслідків, за необхідності залучити зовнішні служби невідкладної медичної допомоги, професійні аварійно-рятувальні служби, підрозділи пожежної охорони.

Навчання і перевірка знань з питань охорони праці працівників, а також учнів, курсантів, слухачів та студентів навчальних закладів під час трудового і професійного навчання здійснюються відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за № 231/10511.

б) для виключення ураження електричним струмом, згідно ПУЕ-2017 «Експлуатація електроустаткування і електроустановок» [12], електробезпека повинна забезпечуватися:

- технічними заходами;
- організаційними заходами.

Організаційні заходи: проведення навчання з правил електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на другу або третю групу з електробезпеки, згідно ДНАОП 1.1.10–1.01–2000 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» [13].

Технічні заходи: використання захисного заземлення та занулення згідно ПУЕ-20013 «Правила улаштування електроустановок», устрій захисного відключення електроустановок при аварійній ситуації згідно ГОСТ 12.4.155-85 ССБТ «Устройство защитного отключения. Классификация. Общие технические требования». Для виключення поразки електричним струмом електроустаткування повинне відповідати ГОСТ 12.1.019-79 «Система

стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» згідно ПУЕ-2017.

в) відповідно до НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском» [14] балони повинні зберігатися в спеціальних приміщеннях, на відкритому повітрі під спеціальним навісом від дії прямих сонячних променів, і осадів. Зберігання в одному приміщенні кисневих і ацетиленових балонів не допускається. Наповнені балони повинні зберігатися в вертикальному положенні. Їх укріплюють спеціальними хомутами. В приміщенні для зберігання підлога повинна бути рівними, неслизькими, виконані з матеріалів, які виключають іскроутворення.

Переміщення балонів допускається тільки за допомогою спеціальних візків, транспортування вручну суворо забороняється, через можливість падіння, механічних ушкоджень. Транспортування балонів повинно здійснюватись тільки при наявності запобіжного клапану на горловині балонів. Ці міри безпеки посилюються в період холодів, коли знижується пластичність матеріалів, з яких балон виготовляється.

Особливу увагу слід приділити маркуванню балонів: на верхній сферичній частині горловини маркується номер балону, ємність, завод-виробник, дата виготовлення, вага балону, робочий та випробувальний тиск, строк наступного випробування. Експлуатувати балони с простроченим строком випробування категорично забороняється.

Експлуатація балонів в зимовий час потребує витримки в теплому приміщенні. Для виключення руйнування слід слідкувати за нагрівом балонів (до 40°C).

На горловині балону встановлюється редуктор.

При експлуатації редуктора можуть виникати наступні несправності, які можуть привести до випадкового травматизму:

- Самоплин – при відвернутому регулювальному гвинті газ поступає в робочу камеру. Це може привести до надмірного підвищення тиску в робочій камері і розірвання мембрани, і потужному викиду газу до системи.

Причина – потрапляння під клапани забруднень (стружка, окалина, неметалеві частки).

- Замерзання редуктора – робота на відкритому повітрі в холодний період року призводить до зменшення тиску газу. Відігрівати редуктор за допомогою відкритого вогню категорично забороняється, щоб уникнути займання газу і вибуху. Необхідно використовувати гарячу воду.

- Зрив редуктора – призводить до моментального викиду великого об'єму газу, що приводить до механічного травмування, опіків.

Причина – спрацьованість різьби на штуцері або накидній гайці. Використовувати такі редуктори забороняється.

г) згідно до НПАОП 28.52-1.31-13 «Правила охорони праці при зварюванні металів» [15], безпечність проведення наплавлення забезпечується за допомогою наступних заходів:

- для виключення ураження органів зору при інтенсивному у/ф випромінюванні від плазмової дуги передбачено застосування захисних екранів (світлофільтрів), які відділяють зону роботи плазмотрона від робочої зони оператора;

- для попередження ураження органів слуху через підвищений рівень шуму при використанні плазмотронів передбачене використання засобів індивідуального захисту (берушів) усіма робітниками, які знаходяться в області підвищеного шуму.

д) згідно НПАОП 85.20-1.03-99 «Правила охорони праці в лабораторіях» [16], для уникнення негативних наслідків, пов'язаних з дослідженням структури матеріалу методами оптичної та електронної мікроскопії, дослідження повинні проводитись тільки на справному обладнанні, до роботи з мікроскопами допускаються лише робітники, які пройшли необхідні інструктажі з правил безпеки при експлуатації оптичних (електронних) мікроскопів та мають необхідну для цього кваліфікацію.

6.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Вибір системи кондиціонування та її продуктивності здійснюється на основі розрахунків необхідного повітрообміну для теплого періоду року.

Методика розрахунку надходження теплоти в приміщення:

1. Надходження теплоти через заповнення світлових прорізів;

Розрахунок кількості теплоти, яка надходить за рахунок сонячної радіації та внаслідок теплопередачі при різниці температур зовнішнього та внутрішнього повітря:

$$Q_{\text{с.пр.}} = (q_0 F_n + q_1 F_p) K_{\text{відн}}, \text{ ккал/год} \quad (6.1)$$

де q_0 та q_1 – кількість теплоти, яка надходить до приміщення через світлові прорізи, які опромінюються та не опромінюються прямою сонячною радіацією відповідно: значення q_0 та q_1 визначають за формулами (6.2, 6.3), ккал/(год·м²);

F_n та F_p – площа заповнення світлового прорізу, яка опромінюється прямою та розсіяною сонячною радіацією відповідно, м²;

$K_{\text{відн}}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового прорізу.

При одинарному склінні $K_{\text{відн}}$ становить від 0,9 до 1,0; при подвійному – від 0,8 до 0,9.

Кількість теплоти, яка передається сонячною радіацією, залежить від географічної широти розміщення будівель, орієнтації світлових прорізів та часу доби. Зокрема м. Запоріжжя знаходиться на 47°49' півн. ш. Для світлового прорізу, який частково або повністю опромінюється прямою сонячною радіацією, кількість теплоти розраховується за формулою:

$$q_0 = (q_{\text{в.п}} + q_{\text{в.р.}}) K_1 K_2, \text{ ккал/(год} \cdot \text{м}^2) \quad (6.2)$$

де $q_{в.п.}$, $q_{в.р.}$ – кількість теплоти прямої та розсіяної сонячної радіації, ккал/(год·м²), (табл. 6.1);

K_1 – коефіцієнт, який враховує затінення скелення світлових прорізів перепльотами та забруднення атмосфери (табл. 6.3);

K_2 – коефіцієнт, який враховує забруднення скла (табл. 6.2).

Для світлового прорізу, який знаходиться в тіні або при затіненні світлового прорізу зовнішніми сонцезахисними конструкціями (відкосами пройому) кількість теплоти розраховується за формулою:

$$q_1 = q_{в.р.} K_1 K_2, \text{ ккал/}(\text{год} \cdot \text{м}^2) \quad (6.3)$$

2. Виділення тепла від штучного освітлення;

Загально прийнято, що частина енергії, яка витрачається на освітлення, переходить в теплоту, що нагріває повітря приміщення. Виділення теплоти від освітлення, ккал/год:

$$Q_{осв} = 860 \cdot n \cdot N_{осв}, \text{ ккал/год} \quad (6.4)$$

де n – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову; для люмінісцентних ламп $n = 0,5$;

$N_{осв}$ – сумарна потужність джерел освітлення, кВт.

При розрахунках слід пам'ятати правила переведення енергетичних одиниць: 1 кВт=860 ккал/год; 1 ккал/год=1,163 Вт; 1 Вт=Дж/с.

3. Виділення теплоти людьми;

Таблиця 6.1 – Максимальні значення кількості теплоти прямої $q_{в.п}$ та розсіяної $q_{в.р}$ сонячної радіації, що надходить до приміщення, розташованого в м. Запоріжжі (47°49' пн. шир.)

Показник	Кількість теплоти при заповненні світлових прорізів в залежності від часу доби та орієнтування світлових прорізів, ккал/(год·м ²)							
	до полудня							
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх
	після полудня							
	Пн	ПнЗх	З	ПдЗх	Пд	ПдСх	Сх	ПнСх
$q_{в.п}$	80	426	423	344	257	96	—	—
$q_{в.р}$	64	93	112	95	75	66	56	54

Примітка: у випадку відсутності значень надходжень теплоти за рахунок прямої сонячної радіації $q_{в.п}$, розраховуються надходження теплоти за рахунок розсіяної сонячної радіації $q_{в.р}$.

Таблиця 6.2 – Коефіцієнт K_2 , який враховує забруднення скла

Забруднення скла	Значення коефіцієнту
Значне	0,85
Помірне	0,9
Незначне	0,95
Чисте скло	1

Таблиця 6.3 – Коефіцієнт K_1 , який враховує затінення скління світлових прорізів перепльотами та забруднення атмосфери

Скління (без переплетів)	Значення коефіцієнту для світлових прорізів K_1 , за атмосфери		
	Незабрудненої (незалежно від опромінення)	Забрудненої в промислових районах, які в розрахункову годину	
		опромінюються сонцем	перебувають в тіні
Одинарне	1	0,75	1,75
Подвійне	0,9	0,68	1,58

Виділення теплоти та вологи людьми залежить від кількості енергії, яку вони витрачають при роботі, та температури повітря в приміщенні. В табл. 6.4 наведено середні дані для чоловіків. Жінки виділяють в середньому 85 %, а діти – 75 % від тепла, яке виділяють чоловіки.

4. Розрахунок загальної кількості теплоти в приміщенні;

Загальна кількість теплоти в розрахункову годину, яку необхідно відвести за допомогою кондиціонування, визначається сумою теплоти джерел.

Таблиця 6.4 – Кількість теплоти, яка виділяється дорослими людьми

Кількість теплоти, ккал/год, яка виділяється однією людиною при температурі повітря в приміщенні, °C						
°C	10	15	20	25	30	35
ккал/год	130	105	85	55	35	5

Теплонадходження визначається за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{с.пр.}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{л}}, \text{ ккал/год} \quad (6.5)$$

5. Вибір кондиціонера та розрахунок часу охолодження приміщення шляхом кондиціонування

Вибір кондиціонера здійснюється в першу чергу за його розрахунковою потужністю та розмірами приміщення. Рекомендований діапазон потужності кондиціонера має максимально наближатися до розрахованого значення загального теплонадходження в приміщення (за можливості прагнуть до виконання співвідношення $Q_{\text{конд}} = (\text{від } -5 \text{ до } +15) \% Q_{\text{заг}}$). Якщо приміщення має великі розміри, а загальна кількість теплоти перевищує можливості існуючих кондиціонерів, то встановлюють декілька кондиціонерів.

Розрахунок часу, необхідного для охолодження приміщення до заданої температури, здійснюється за наступною залежністю:

$$\tau = C \cdot \gamma \cdot V \cdot (t_{\text{вид}} - t_{\text{норм}}) / 3600 \cdot 1,163 \cdot Q_{\text{конд}}, \text{ год} \quad (6.6)$$

де C – масова теплоємність припливного повітря (дорівнює $1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$);

γ – густина припливного повітря (дорівнює $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$);

V – об'єм приміщення, м^3 ;

$t_{\text{вид}}$ – температура повітря, що видаляється з приміщення, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{норм}}$ – нормована (оптимальна) температура в приміщенні, яку необхідно досягти шляхом кондиціонування (прийняти рівною $22 \text{ }^\circ\text{C}$).

З урахуванням розрахованих показників обирається найбільш оптимальний тип кондиціонера.

6.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

6.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно дотримуватись правил безпеки та вимог, які зазначенні у ДБН В.1.2-7-2008 «Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека» [18] та ДБН В.1.1.7–2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [18].

Своєчасне виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Для адміністративних приміщень рекомендується використовувати сповіщувачі пожежі, в залежності від факторів, що супроводжують пожежу – теплові, димові, світлові. Найшвидшим та найнадійнішим засобом сповіщення про виникнення пожежі вважаються установки електричної пожежної сигналізації (ЕПС).

Залежно від схеми з'єднання розрізняють променеві (радіальні) та кільцеві установки ЕПС. В установках ЕПС можуть обладнуватися адресовані та неадресовані пожежні сповіщувачі [19].

Розрізняють сповіщувачі ручної та автоматичної дії. Ручні пожежні сповіщувачі приводяться в дію натисканням на кнопку. Вони, як правило, використовуються для подачі сигналу про пожежу з території підприємства.

Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я. Вони підрозділяються на:

- теплові автоматичні пожежні сповіщувачі ДТЛ, ІТМ, ПОСТ–1;2, МДП–028, ІП 105–2/1;
- димові автоматичні пожежні сповіщувачі ІДФ–М, ДП–1, ІДП–2;
- світлові автоматичні пожежні сповіщувачі СІ–1, ДПД, АП.

Все ширшого застосування набувають комбіновані сповіщувачі (КІ), які контролюють відразу кілька показників, наприклад, температуру та дим, а також

ультразвукові сповіщувачі (ДУЗ–4), які реагують на зміну характеристик ультразвукового поля в приміщенні, що захищається. Завдяки високій чутливості ультразвукові сповіщувачі (датчики) можуть поєднувати пожежні та охоронні функції.

Вид автоматичного пожежного сповіщувача вибирають з урахуванням призначення приміщень, що захищаються, пожежної характеристики матеріалів, які в них розташовуються, первинних ознак пожежі та умов експлуатації.

Для ліквідації загорянь адміністративні, побутові і громадські приміщення та споруди на кожному поверсі повинні мати не менше двох переносних (порошкових, водопінних або водяних) вогнегасників з масою заряду вогнегасної речовини 5 кг і більше. Крім того, слід передбачати по одному вуглекислотному вогнегаснику з величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг і більше:

- на 20 м² площі підлоги в таких приміщеннях: офісні приміщення з ПЕОМ, комори, електрощитові, вентиляційні камери та інші технічні приміщення;
- на 50 м² площі підлоги приміщень архівів, машзалів, бібліотек, музеїв.

У місцях зосередження коштовної апаратури й устаткування за висновками інспекції з пожежної охорони кількість засобів пожежогасіння може бути збільшена.

Крім зазначених первинних засобів пожежогасіння в адміністративних приміщеннях можуть застосовуватися спринклерні та дренчерні установки, модульні установки, у яких використовуються вогнегасні порошки (САМ 3 та інші), а також стаціонарні блоки вуглекислотного пожежогасіння (ПО–73).

6.4.2 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях

Незважаючи на велику кількість заходів, які здійснюються для забезпечення надійного функціонування промислових об'єктів, неможливо

повністю виключити ризик виникнення аварійних ситуацій техногенного характеру. У Кодексі Цивільного захисту України наголошено, що «Керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального і колективного захисту, організовує здійснення евакуаційних заходів, створює сили для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та забезпечує їх готовність до практичних дій, виконує інші заходи з ЦЗ і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати».

Сутність рятувальних та інших невідкладних робіт (РІНР) — це усунення безпосередньої загрози життю та здоров'ю людей, відновлення життєзабезпечення населення, запобігання або значне зменшення матеріальних збитків. Рятувальні та інші невідкладні роботи включають також усунення пошкоджень, які заважають проведенню рятувальних робіт, створення умов для наступного проведення відновлювальних робіт. РІНР поділяють на рятувальні роботи і невідкладні роботи.

До рятувальних робіт відносяться:

- розвідка маршруту руху сил, визначення обсягу та ступеня руйнувань, розмірів зон зараження, швидкості і напрямку розповсюдження зараженої хмари чи пожежі;
- локалізація та гасіння пожеж на маршруті руху сил та ділянках робіт;
- визначення об'єктів і населених пунктів, яким безпосередньо загрожує небезпека;
- визначення потрібного угруповання сил і засобів запобігання і локалізації небезпеки;
- пошук уражених та звільнення їх з-під завалів, пошкоджених та палаючих будинків, із загазованих та задимлених приміщень;
- розкриття завалених захисних споруд та рятування з них людей;
- надання потерпілим першої допомоги та евакуація їх (при необхідності) у лікувальні заклади;
- вивіз або вивід населення із небезпечних місць у безпечні райони;

- організація комендантської служби, охорона матеріальних цінностей і громадського порядку;
- відновлення життєздатності населених пунктів і об'єктів;
- пошук, розпізнавання і поховання загиблих;
- санітарна обробка уражених;
- знезараження одягу, взуття, засобів індивідуального захисту, територій, споруд, а також техніки;
- соціально-психологічна реабілітація населення.

До невідкладних робіт відносяться:

- прокладання колонних шляхів та улаштування проїздів (проходів) у завалах та на зараженій території;
- локалізація аварій на водопровідних, енергетичних, газових і технологічних мережах;
- ремонт та тимчасове відновлення роботи комунально-енергетичних систем і мереж зв'язку для забезпечення рятувальних робіт;
- зміцнення або руйнування конструкцій, які загрожують обвалом і безпечному веденню робіт;

Відновлювальні роботи ЦЗ не виконує, їх здійснюють спеціально створені підрозділи (бригади). Залежно від рівня надзвичайної ситуації (загальнодержавного, регіонального, місцевого чи об'єктового) для проведення РІНР залучаються сили і засоби ЦО центрального, регіонального або об'єктового підпорядкування.

При радіаційних аваріях викинуті із реактора радіонукліди піднімаються в атмосферу і переносяться у вигляді аерозолей на значну відстань, утворюючи обширні зони радіоактивного забруднення, які є небезпечними для людей і навколишнього середовища. Ступінь радіаційної небезпеки для населення визначається кількістю і складом радіонуклідів, викинутих у зовнішнє середовище, відстанню від місця аварії до населеного пункту, метеоумов і пори року в час аварії. Організація і проведення РІНР при аварії на АЕС полягає у виконанні заходів, до яких відносяться:

- оповіщення населення про аварію і постійне його інформування про наявну обстановку та порядок дій в даних умовах;
- використання засобів колективного та індивідуального захисту;
- організація дозиметричного контролю;
- проведення йодної профілактики населення, що опинилося в зоні радіоактивного зараження;
- введення обмеженого перебування населення на відкритій місцевості (режими радіаційного захисту);
- здійснення евакуації населення (за розпорядженням Уряду) та інші заходи.

Після евакуації населення приступають до дезактивації території і техніки [20].

ВИСНОВКИ

Аналіз літературних даних та робіт вітчизняних вчених показав, що використання методу плазмово-порошкового наплавлення є одним з найбільш прийнятних методів відновлення деталей, виготовлених з жароміцних авіаційних сплавів зі збереженням тенденції до підвищення технологічності виконання робіт шляхом роботизації процесу.

В рамках даного проекту провели роботу з відновлення бандажної полиці лопатки турбіни середнього тиску з використанням адитивних технологій. Аналіз отриманих даних показав, що використання адитивних технологій відновлення деталей машин дозволяє зменшити кількість операцій при ремонті бандажної полиці лопатки шляхом виключення операцій механічної обробки після наплавлення.

Встановили закономірності впливу технологічних параметрів режиму наплавлення на геометричні характеристики наплавленого шару.

Практичне використання отриманих результатів дозволить підвищити технологічність процесу відновлення деталей з жароміцних сплавів, що в свою чергу позитивно позначиться на якості робіт з ремонту деталей авіаційного призначення, а зменшення частки участі людини у виробничому процесі дозволить знизити рівень виробничого травматизму.

Розрахований економічний ефект від використання нової технології. Проведено аналіз потенційних небезпек при дослідженні процесу плавлення катодів методом зварювання у захисній атмосфері. Надані основні заходи з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Масленков, С.Б.** Справочник жаропрочных сталей и сплавов [Текст] / С.Б. Масленков – М. : Металлургия, 1983. – 192 с.
2. **Ночовная Н.А.** Интерметаллидные сплавы на основе титана и никеля [Текст] / Н.А. Ночовная, О.А. Базылева, Д.Е. Каблов, П.В. Панин – М. : ВИАМ, 2018. – 308 с.
3. **Белов Н.А.** Фазовый состав многокомпонентных гамма-сплавов на основе алюминидов титана: учебное пособие [Текст] / Н.А. Белов, В.Д. Белов, Н.И. Дашкевич – М. : ВИАМ, 2018. – 348 с.
4. **Мысик, Р.К.** Литейные сплавы на основе тяжелых цветных металлов [Текст] / Р.К. Мысик, А.В. Сулицин, С.В. Брусницын – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2016. – 140 с.
5. **Бушуев М.Н.** Технология производства турбин [Текст] / М.Н. Бушуев – М.: Машиностроение, 1966. – 246 с.
6. **Фрумин И.И.** Наплавка износостойких и жаропрочных сталей и сплавов. Наплавочные материалы [Текст] / И.И. Фрумин – К. : ИЭС им. Е.О. Патона. 1983. – 117 с.
7. **Давыдов М.Н.** Установки для комбинированных испытаний элементов ГТД на коррозию и механическое нагружение [Текст] / М.Н. Давыдов // Вестник УГАТУ : сб. науч. тр. / Уфимский государственный авиационный технический университет. – Уфа, 2009. – с. 18-24.
8. **ДСТУ EN ISO 12706 : 2016** Неруйнівний контроль. Капілярний контроль [Текст]. – На заміну ДСТУ EN ISO 12706 : 2008 : введ. 21-06-2016. – Київ: ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2016. – 8 с.
9. **ДСТУ EN ISO 17640 : 2018** Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Методи, рівні контролювання та оцінювання [Текст].

– На заміну ДСТУ EN ISO 17640 : 2014 : введ. 17-10-2018. – Київ: ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2018. – 30 с.

10. Наказ МНС України № 67 від 25.01.2012: Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14 лютого 2012 р. за № 226/20539. – Київ, 2012. – 31 с.

11. Наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці № 15 від 26.01.2005: Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці та Переліку робіт з підвищеною небезпекою [Текст]. - Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15 лютого 2005 р. за № 231/10511. Київ, 2005 р. – 34 с.

12. Наказ Міненерговугілля України № 476 від 21.07.2017: Про затвердження правил улаштування енергоустановок [Текст]. – Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 31 січня 2017 р. за № 132/30000. Київ, 2017 р. – 760 с.

13. Наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці № 257 від 06.10.1997: Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок [Текст]. – Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 13 січня 1998 р. за № 11/2451. Київ, 1998 р. – 99 с.

14. Наказ Міністерства соціальної політики України № 333 від 05.03.2018: Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 квітня 2018 р. за № 433/31885. Київ, 2018 р. – 44 с.

15. Наказ МНС України № 1425: Про затвердження правил охорони праці під час зварювання металів [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 04 січня 2013 р. за № 63/22595. – Київ, 2013. – 32 с.

16. Наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці № 67 від 20.04.1999: Про затвердження правил охорони праці в лабораторіях [Текст].

– зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 695/3988. – Київ, 1999. – 64 с.

17. Наказ Мінрегіонбуду України № 39 від 26.01.2008: Про затвердження ДБН В.1.2-7-2008 Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека [Текст]. – Київ, 2008. – 30 с.

18. Наказ Мінрегіонбуду України № 287 від 31.10.2016: Про затвердження ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Текст]. – Київ, 2017. – 44 с.

19. Наказ МНС України № 1192 від 11.09.2012: Про затвердження Правил охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 вересня 2012 р. за № 1648/21960. – Київ, 2012. – 28 с.

20. **Депутат, О.П.** Цивільна оборона [Текст]: навчальний посібник / І.В. Коваленко, І.С. Мужик; за редакцією В.С. Франчука. – Львів: Афіша, 2000 р. – 336 с.

21. Методичні вказівки до практичної роботи «Дослідження вогнегасних властивостей первинних засобів пожежогасіння, визначення їх типів та розрахунок кількості» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та усіх форм навчання [Текст] / Укл.: А. С. Петрищев, С. М. Журавель – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 26 с.

22. Методичні вказівки до економічного обґрунтування дипломного проекту для студентів спеціальності 8.092301 «Технологія та устаткування зварювання», 8.092303 «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» [Текст] / Укл.: Е.О. Леженко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. – 24 с.

[illegible]

дуол.			
Взам.			
Подл.			

Розроб.	Юхно В.А.	
Перевір.	Савонов Ю.М.	
Н. контр.	Шумикін С.О.	
Листів 4		Лист 1

	ГКІЮ 245320.011	
	ДП	

МАРШРУТНА КАРТА
технологічного процесу
відновлення бандажної полиці лопатки
турбіни середнього тиску

Подл.																									
										Листів 4										Лист 2					
Розроб.				Юхно В.А.		37																			
Перевір.				Савонов Ю.М.		[Signature]																			
Н. контр.				Шумикін С.О.		[Signature]																			
А		Цех		Уч.		РМ		Опер.		Код, найменування операції				Позначення документа											
Б		Код, найменування обладнання				СМ		Проф.		Р		УП		КОВД		ОН		ОП		Кшт		Тпз		Тшт	
К/М		Найменування деталі, скл. одиниці або матеріалу				Позначення, код				ППП		ОВ		ОН		КД		Н. расх							
А		010				Слюсарна																			
Б		Полірувально-зачисний верстат				Підсобний 3 р.																			
К/М		Очистити лопатку від нагару,																							
		видалити оксиди з зовнішньої поверхні																							
А		015				Контрольна (візуальний)																			
Б		Збільшувальне скло, штангенциркуль				Контролер 5 р.																			
К/М		Перевірити лопатку на придатність до																							
		наплавлення, перевірити відсутність оксидних																							
		плівок, зафіксувати розміри зношеної ділянки																							
А		020				Зачисна																			
Б		Токарний верстат				Підсобний 3 р.																			
		Zenitech 250-550																							
К/М		Зачистити нерівності та зовнішні																							
		дефекти на бандажній полиці																							

Додат.															
Взам.															
Подл.															
											Листів 4	Лист 3			
Розроб.			Юхно В.А.								ГКІЮ 245320.011				
Перевір.			Савонов Ю.М.												
Н. контр.			Шумикін С.О.												
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.		Код, найменування операції					Позначення документа				
Б	Код, найменування обладнання					СМ	Проф.	Р	УП	КОВД	ОН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт
К/М	Найменування деталі, скл. одиниці або матеріалу					Позначення, код					ППП	ОВ	ОН	КД	Н. расх
А	025					Мийна									
Б	Ємність, нефрас С-50/70					Підсобний 3 р.									
К/М	Знежирити лопатки у чистому нефрасі														
А	030					Термічна									
Б	Піч вакуумна					Терміст 4 р.									
К/М	Виконати термообробку лопаток														
	перед наплавленням					T = 1255 °C ± 10 °C, 1,5 год.									
А	035					Наплавлення бандажної полки									
Б	Установка УПНС-304, газ – Аг (вищого сорту),					Зварник-оператор 4 р.									
	Маніпулятор - робот YASKAWA-HP20D,					Режим:									
	Оснастка - пневматичний затискач					I _{зв} = 10...20 А; U _д = 34...38 В;									
К/М	Зафіксувати лопатку у оснастці,					Q _{Аг} = 7...9 л/хв; Q _{пор} = 6 г/хв.									
	виконати наплавлення, параметри														
	режимів наплавлення згідно до														
	дійсного технологічного процесу.														

[illegible]