

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)
Обладнання та технології зварювального виробництва
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему «Розробка технологічного процесу плазмового напилення
теплозахисного покриття ТЗП-3 на кільце внутрішнє камери згоряння ГТД»

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФ-411м

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма _____
Відновлення та підвищення зносостійкості
деталей та конструкцій

Мозгова І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Попов С. М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Клімов О.В.
(прізвище та ініціали)

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

факультет Інженерно-фізичний

Кафедра Обладнання та технології зварювального виробництва

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка

(код і найменування)

Освітня програма Відновлення та підвищення зносостійкості деталей та конструкцій

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Нетребко

Валерій Валерійович

Валерій Валерійович

«_____» _____ 202_ року

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

Мозгова Ірина Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Розробка технологічного процесу плазмового напилення теплозахисного покриття ТЗП-3 на кільце внутрішньої камери згоряння ГТД

керівник проєкту Попов Сергій Миколайович,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «05» грудня 2022 р. №414

2. Строк подання студентом проєкту 1.12.22

3. Вихідні дані до проєкту базовий технологічний процес, напилення деталі, показники ефективності.

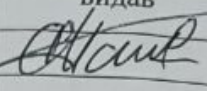
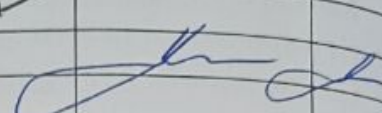
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Призначення, конструкція і матеріал внутрішнього кільця камери згоряння газотурбінного двигуна; Дослідження впливу режимів напилення на міцність зчеплення покриття з основою; Технічні умови на виготовлення і прийомку виробу; Технологія напилення внутрішнього кільця газотурбінного двигуна; Проектно-конструкторські розробки; Техніко-економічні розрахунки; Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

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

Кільце внутрішнє, схема плазмового напилення; параметри режиму; установка для напилення; захисне пристосування; схема технологічного процесу напилення; план ділянки; показники ефективності та результативності.

6. Консультанти розділів проєкту

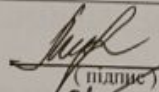
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
1-4	Попов Сергій Миколайович		
5	Круглікова Валентина Володимирівна		
6	Нестеров Олександр Васильович		

7. Дата видачі завдання « 12 » жовтня 2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

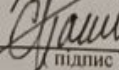
№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Пр
1	Вступ	27.09.2022	
2	Призначення, конструкція і матеріал внутрішнього кільця камери згоряння газотурбінного двигуна	29.09-06.10.22	
3	Технічні умови на виготовлення і прийомку виробу	07.10-16.10.22	
4	Технологія наплення внутрішнього кільця газотурбінного двигуна	17.10-24.10.22	
5	Проектно-конструкторські розробки	27.10-31.10.22	
6	Техніко-економічні розрахунки	01.11-15.11.22	
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	16.11-20.11.22	
8	Формування висновків	21.11.22	
9	Перелік джерел посилання	23.11.22	
10	Додатки	25.11.22	
11	Оформлення роботи. Нормоконтроль	27.11-17.12.22	
12	Розробка доповіді до захисту		
13	Подання роботи до захисту		

Студент(ка)


(підпис)

Мозгова І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту


(підпис)

Попов С.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 98 с., 27 табл., 20 рис., 2 дод., 15 джерел.

КІЛЬЦЕ ВНУТРИШНЄ, КАМЕРА ЗГОРЯННЯ, ПЛАЗМОВЕ НАПИЛЕННЯ.

Об'єкт дослідження – технологічний процес плазмового напилення теплозахисного покриття (ТЗП-3) на кільце внутрішнє камери згорання ГТД.

Мета дипломного проекту – розробити технологію плазмового напилення на роботизованій установці теплозахисного покриття ТЗП-3 на кільце внутрішнє камери згорання ГТД; спроектувати ділянку плазмового напилення.

Методи дослідження – аналіз літературних даних та серійних технологій плазмового напилення, їх застосування та удосконалення.

Для роботизованого плазмового напилення була спроектована установка до складу якої входить: робота FANUC M-16iB, система для плазмового напилення AP-25i, універсальний маніпулятор.

Розроблена маршрутна карта технологічного процесу. Спроектована ділянка плазмового напилення кільця внутрішнього.

Проведено техніко – економічне обґрунтування розробленої технології. Розроблені загальні заходи з техніки безпеки і охорони навколишнього середовища.

ABSTRACT

Explanatory note: 98 p., 27 tab., 20 fig., 2 additional, 15 sources.

INTERNAL RING, COMBUSTION CHAMBER, PLASMA SPRAYING.

The object of research is the technological process of Plasma Spraying of a heat – protective coating (TZP-3) on the Inner Ring of the gas turbine engine combustion chamber.

The purpose of the diploma project is to develop a technology for Plasma Spraying on a robotic installation of a thermal protection coating of the TZP-3 on the Inner Ring of the gas turbine engine combustion chamber ; to design a Plasma Spraying site.

Research methods-analysis of literature data and serial Plasma Spraying technologies, their application and improvement.

For robotic Plasma Spraying, an installation was designed that includes: the FANUC M-16iB robot, the AP-25i Plasma Spraying system, and a universal manipulator.

A route map of the technological process has been developed. The area of Plasma Spraying of the inner ring is designed.

A feasibility study of the developed technology was carried out. General measures on safety and Environmental Protection have been developed.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Призначення, конструкція і матеріал внутрішнього кільця камери згоряння газотурбінного двигуна.....	10
1.1 Умови експлуатації внутрішнього кільця	10
1.2 Сутність плазмового напилення	12
1.3 Матеріал кільця внутрішнього	15
1.4 Аналіз технології напилення внутрішнього кільця на базовому підприємстві та пропозиції щодо її поліпшення	16
2 Дослідження впливу режимів напилення на міцність зчеплення покриття з основою	18
2.1 Випробування на міцність зчеплення	18
2.2 Вплив відстані від плазмотрона до поверхні яку напиляють на міцність зчеплення покриття	21
2.3 Вплив сили струму на міцність зчеплення покриття	23
2.4 Вплив витрати плазмоутворюючого газу на міцність зчеплення покриття	24
3 Технічні умови на виготовлення і прийомку виробу	27
3.1 Вимоги до напилюваних деталей	27
3.2 Вимога до оснащення.....	27
3.3 Вимоги до присадних матеріалів.....	28
4 Технологія напилення внутрішнього кільця газотурбінного двигуна	32
4.1 Підготовка поверхні	34
4.2 Плазмове напилення.....	37
4.3 Контроль якості напилюваного виробу і методи усунення дефектів	39
5 Проектно-конструкторські розробки	44
5.1 Технічна характеристика прийнятого стандартного обладнання та оснащення.....	44

5.2 Компонування установки з уніфікованих вузлів	50
6 Техніко-економічні розрахунки	52
6.1 Опис ідеї проекту	52
6.2 Технічне нормування операцій.....	54
6.2.1 Розрахунок кількості обладнання, площі ділянки.....	55
6.2.2 Розрахунок чисельності персоналу ділянки	57
6.3 Планування витрат на виробництво	60
6.3.1 Матеріальні витрати	60
6.3.2 Вартість основних засобів.....	62
6.3.3 Розрахунок фонду оплати праці	63
6.3.4 Собівартість виробу.....	68
6.3.4.1 Прямі витрати	68
6.3.4.2 Непрямі витрати	69
6.4 Економічне обґрунтування запропонованих розробок	72
6.4.1 Розрахунок економічного ефекту	72
6.4.2 Ефективність та результативність	73
7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	76
7.1 Аналіз потенційних небезпек	76
7.2 Заходи забезпечення безпеки.....	78
7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	84
7.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	86
7.4.1 Заходи по забезпеченню пожежної безпеки	86
7.4.2 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	87
Висновки.....	93
Перелік джерел посилання	94
Додаток А Маршрутна карта.....	96
Додаток Б Специфікація «Захисне пристосування».....	98

ВСТУП

Вихід на принципово нові технічні рішення в області машинобудування без застосування різного роду покриттів неможливий.

Деталі гарячого тракту газотурбінного двигуна (ГТД) такі, як лопатки турбін, секції соплових апаратів, жарові труби камер згоряння, працюють в складних експлуатаційних умовах при температурах вище 1373 К (1100°C). При цьому, втрата працездатності сучасних жароміцних і жаростійких матеріалів на основі нікелю відбувається в основному через високотемпературну газову корозію поверхні. Проблема підвищення ресурсу цих деталей вирішується технологічними або конструкційними методами. Однак можливості металургії в створенні нових матеріалів в даний час в основному вичерпані, обмежені також можливості конструктивних рішень в зниженні нагріву цих матеріалів за рахунок спеціальних систем охолодження [1].

У зв'язку з цим найбільш ефективним і економічним рішенням даної проблеми є використання на робочих поверхнях деталей гарячого тракту спеціальних теплозахисних покриттів (ТЗП).

Теплозахисні покриття використовуються в даний час практично на всіх двигунах цивільної авіації і більшій частини військової. Вони дозволяють поліпшити якісні характеристики двигунів, зменшити витрату повітря на охолодження, заощадити паливо, збільшити температуру газового потоку. Одночасно підвищується ресурс і надійність деталей, що працюють при високих температурах, знижується викид шкідливих речовин, що обумовлено більш повним згорянням палива.

Деталі ГТД з теплозахисним покриттям функціонують в складних експлуатаційних умовах. Вони піддаються хімічним і фізико-механічним пошкодженням продуктами згорання палива, що мають температуру вище 1373-1473 К і тиск 2,8 МПа, що рухаються зі швидкістю до 600 м/с. Теплозахисні

покриття повинні забезпечувати теплову стійкість, витримувати термоудари, зберігати адгезію з основою і забезпечувати заданий ресурс роботи деталі.

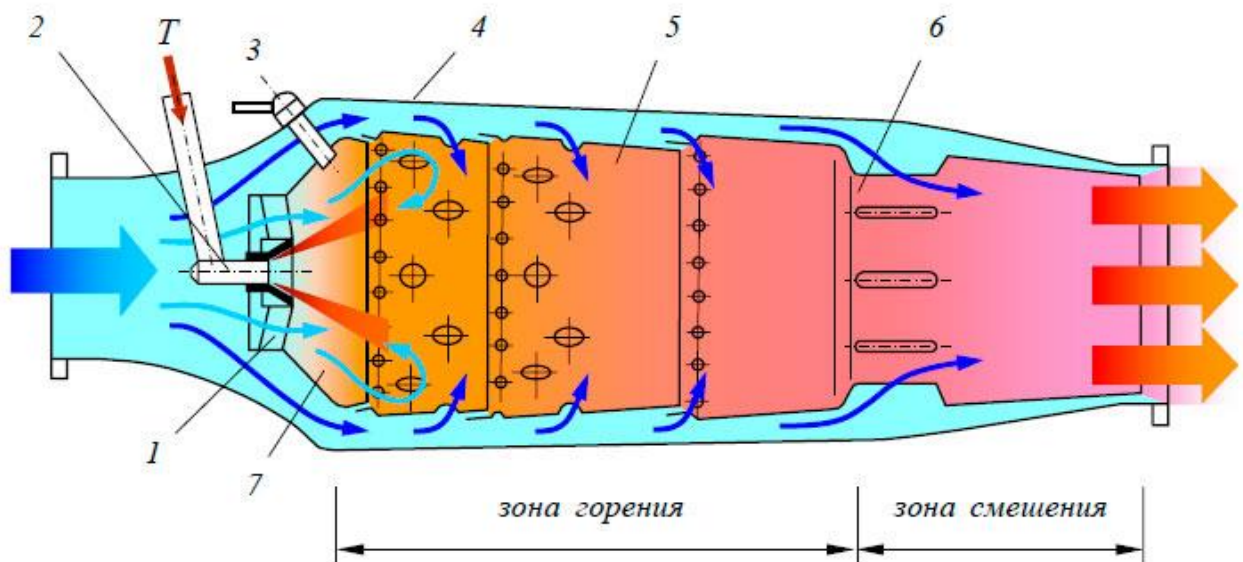
ТЗП є невід'ємним конструкційним елементом деталей гарячого тракту сучасних авіаційних і енергетичних газотурбінних двигунів. ТЗП – це багатошарова система, що захищає жароміцний сплав виробу в ході експлуатації від згубного впливу робочого тіла. У класичному виконанні виділяють два основних шари: жаростійкий металевий підслон і вогнетривкий керамічний шар (КШ). Найбільш затребуваним матеріалом КШ є оксид цирконію, стабілізований оксидом ітрію через його унікальні властивості [2].

При нанесенні теплозахисних покриттів необхідно збільшувати продуктивність праці для збільшення обсягу виробництва і скорочення часу на виготовлення виробів. Поліпшення якості продукції веде до тривалої і безпечної експлуатації виробів гарячого тракту газотурбінних двигунів.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ, КОНСТРУКЦІЯ І МАТЕРІАЛ ВНУТРІШНЬОГО КІЛЬЦЯ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

1.1 Умови експлуатації внутрішнього кільця

Камера згоряння призначена для створення газового потоку заданої температури за рахунок спалювання органічного палива в середовищі стисненого повітря і є одним з основних елементів ГТД. Схематично камера згоряння (рис. 1.1) являє собою ємність, куди безперервно надходять паливо і повітря, і з якої безперервно відводяться продукти згоряння.



Умовні позначки:

- 1 – лопатковий завихрювач;
- 2 – форсунка;
- 3 – запальний пристрій;
- 4 – корпус;
- 5 – жарова труба;
- 6 – сопловий змішувач;
- 7 – дифузор

Рисунок 1.1 – Пристрій і схема роботи камери згоряння ГТД

Повітря, що надходить в камеру згоряння, ділиться на первинне, що направляється через лопатковий завихрювач безпосередньо в зону горіння (20 – 25%), і вторинне, яке обтікає жарову трубу зовні і підмішується до продуктів згоряння (75 – 80%). Вторинне повітря, обтікаючи зовні жарову трубу, охолоджує її стінки. Частина вторинного повітря через дрібні отвори або кільцеві щілини надходить на внутрішню поверхню жарової труби і створює загороджувальну плівку, інша частина вторинного повітря через великі отвори або сопла підмішується до продуктів згоряння в зоні змішування і охолоджує гази до температури, прийнятної для роботи матеріалів проточної частини газової турбіни. Розпилювання палива здійснюється через форсунки таким чином, щоб конус розпилу палива примикав до зони зворотних струмів газів, підпалювався, і частинки палива не потрапляли на стінки жарової труби.

Внутрішньо кільце (рис. 1.2) являє собою кільцеву деталь і є частиною жарової труби, яка служить для обмеження полум'яного простору КЗ і сприйняття теплових навантажень.

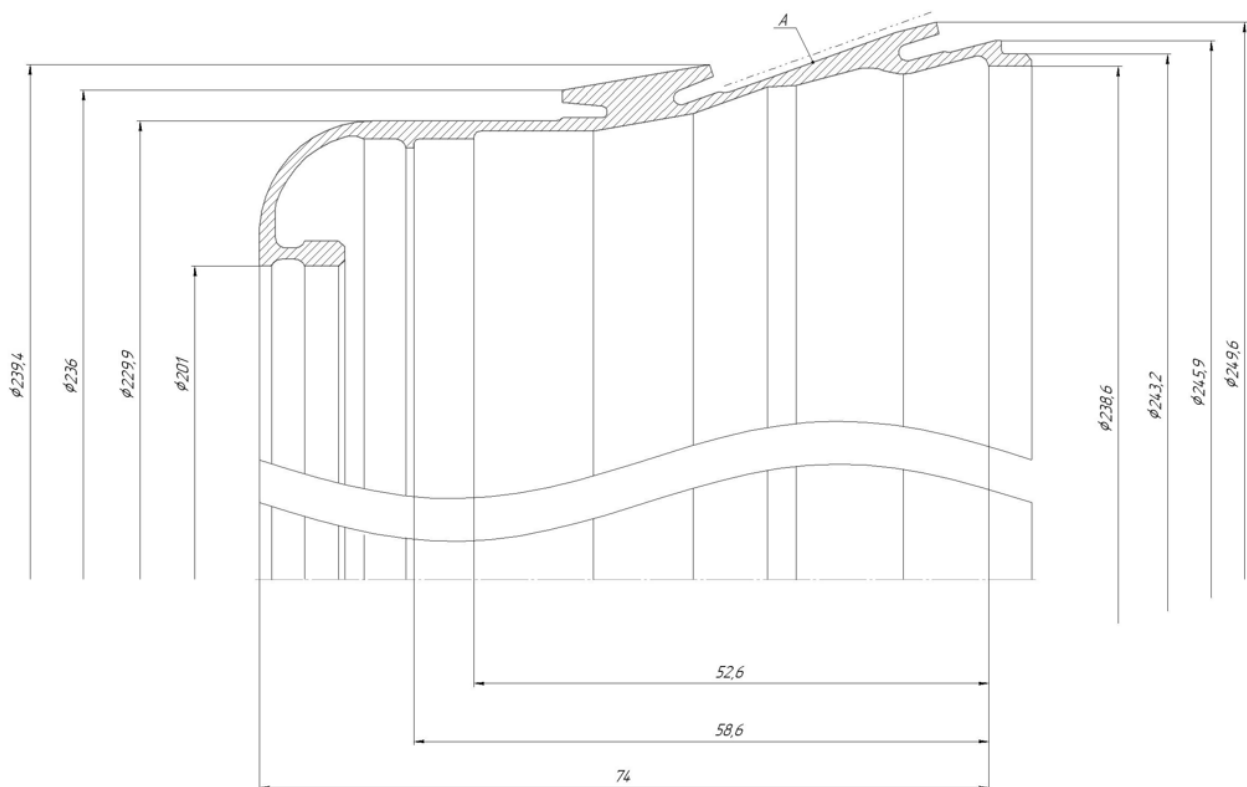


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд кільця внутрішнього

Жарові труби працюють в дуже важких умовах, так як процес згоряння відбувається при високих температурах (до 1275°K) в окислювальному середовищі. Наявність великих температурних градієнтів, різкі теплові удари при запуску, зупинці і зміні режиму роботи двигуна призводять до виникнення великих температурних напружень в деталях жарової труби, а наявність вільного кисню при високій температурі – до газової корозії і прогару стінок. Саме ресурс жарових труб визначає ресурс всієї КЗ [3]. Для захисту кільця внутрішнього від газової корозії та прогарів на поверхню А (див. рис. 1.2) наносять теплозахисне покриття ТЗП-3 плазмовим методом.

1.2 Сутність плазмового напилення

Серед провідних вітчизняних і зарубіжних компаній основними методами нанесення теплозахисних покриттів є: метод електронно-променевого осадження; метод іонно-плазмового напилення у вакуумі і метод газотермічного плазмового напилення.

Аналіз методів, що використовуються провідними фірмами при нанесенні теплозахисних покриттів, показав, що в даний час переважно використовується плазмовий метод нанесення ТЗП [4].

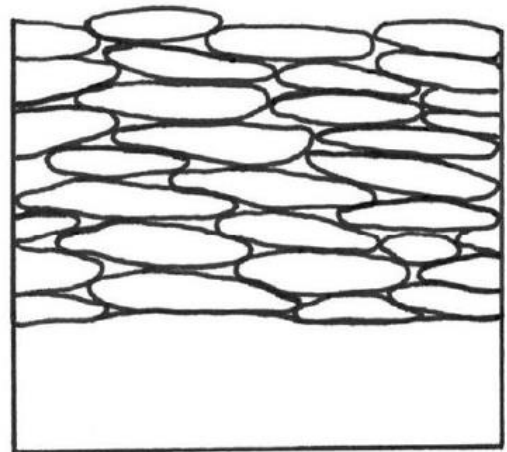
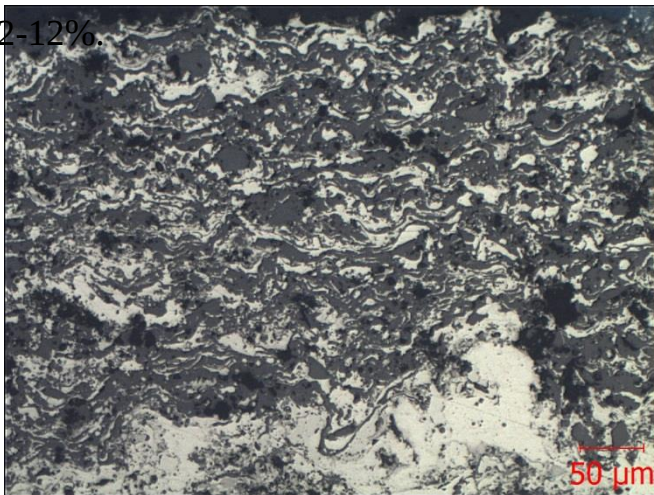
Плазмове напилення є найбільш сучасною і широко застосовуваною технологією. Дана технологія дозволяє отримати рівномірне покриття на конструкціях великих розмірів, виробках складної форми.

Сутність плазмового напилення полягає в тому, що в плазмовий струмінь безперервно з рівномірною швидкістю подається дрібнодисперсний порошок (напилюваний матеріал). При цьому частинки порошку захоплюються струменем, нагріваються, плавляться і прискорюються в напрямку напилюваної деталі. При зіткненні з поверхнею, що напилюється частинки порошку, що знаходяться в пластичному стані, деформуються і впроваджуються в

мікронерівності підкладки, забезпечуючи фізичний контакт з деталлю. Взаємодія частинок порошку з матеріалом підкладки, подальша кристалізація частинок визначає зчеплення покриття з підкладкою. Наступні шари формуються вже за рахунок зчеплення частинок один з одним, мають лускату будову. Покриття в цілому являє собою шаруватий матеріал, що складається з сильно деформованих напилюваних частинок, з'єднаних між собою.

Характерна структура плазмового газотермічного покриття має шаруватий характер і складається з дископодібних кристалітів, розташованих уздовж поверхні конструкційного матеріалу, горизонтальних і вертикальних границь між кристалітами і закритих пор, розташованих в області вертикальних границь кристалітів (рис. 1.3) [5].

Товщина кожного дископодібного кристаліту становить від 2 до 10 мкм і в 5-20 разів менше його характерного горизонтального розміру. Вертикальні межі кристалітів обмежені з двох сторін монолітним матеріалом інших дископодібних кристалітів. У зв'язку з цим покриття не має наскрізних пор, а процентний вміст закритої пористості варіюється режимами напilenня в межах 2-12%.



а – структура плазмового покриття

б – схема розміщення кристалітів

Рисунок 1.3 – Характерна структура плазмового покриття

Найбільш широке поширення в якості ТЗП отримали шаруваті системи типу метал-кераміка, що складаються з зовнішнього керамічного шару і

внутрішнього металевго шару (рис. 1.4). Дані покриття здатні забезпечити, завдяки градієнтній зміні властивостей, оптимальне поєднання адгезійної, механічної міцності, корозійної стійкості і термостійкості покриття [3, 6].

Також двошарове металокерамічне покриття володіє від 1,5 до 2 разів більш високою жаростійкістю в порівнянні з одношаровими металевими покриттями. Це пояснюється тим, що зовнішній керамічний шар є механічним бар'єром на шляху проникнення середовища до поверхні металевго покриття.

Як матеріал керамічного шару, найбільш успішно, застосовується діоксид цирконію [7]. Його достоїнствами є відносно високий температурний коефіцієнт термічного розширення (ТКЛР), низька теплопровідність, підвищена хімічна стійкість і структурна стабільність. Для захисту лопаток турбін, камер згоряння та інших деталей гарячого тракту ГТД від високотемпературного газового потоку широко використовують ZrO_2 стабілізований 8% Y_2O_3 .

Нанесення керамічного шару $ZrO_2 - 8\% Y_2O_3$ безпосередньо на виріб (жароміцний сплав) недоцільно, так як, в наслідок впливу високих температур, на границі контакту кераміка-основа формується досить товста плівка оксиду нікелю, ТКЛР оксиду нікелю майже в два рази перевищує аналогічну характеристику діоксиду цирконію, напруження що виникають на межі розділу двох оксидів призводять до швидкого руйнування захисного шару $ZrO_2 - Y_2O_3$. Тому, як було показано вище, керамічні шари наносять на підшари, що представляють собою жаростійкі нікелеві сплави. Найбільш поширеними є сплави системи $Me-Cr-Al-Y$ (під Me мається на увазі нікель, кобальт або їх поєднання).

Формування теплозахисного покриття на деталі камери згоряння ГТД проводиться послідовним нанесенням декількох шарів покриттів, різних за функціональним призначенням (див. рис 1.4):

1. Покриття ТЗП-2:

- перший шар ПВ-Н70Ю30 – жаростійкий, товщиною 0,15 ... 0,20 мм;
- другий шар ПЦПК63-Н30 – термобар'єрний, товщиною 0,20 ... 0,25 мм.

2. Покриття ТЗП-3:

- перший шар ПВ-Н70Ю30 – жаростійкий, товщиною 0,15 ... 0,20 мм;
- другий шар ПГ-Ю10Н + ПЦПК63-Н30 у співвідношенні 1:1 – проміжний, товщиною 0,15 ... 0,20 мм;

- третій шар ПЦПК63-Н30 – термобар'єрний, товщиною 0,15 ... 0,20 мм.

3. Покриття ТЗП-1400:

- перший шар ПВ-Н70Ю30 – жаростійкий, товщиною 0,15 ... 0,20 мм;
- другий шар ПЦПК63-Н10 – термобар'єрний, товщиною 0,20 ... 0,25 мм.

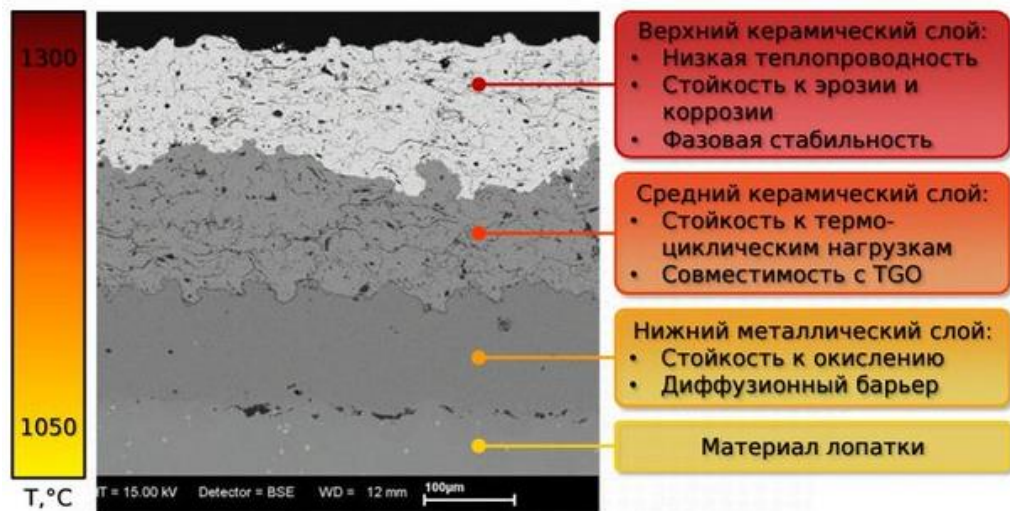


Рисунок 1.4 – Призначення кожного шару покриття ТЗП

При нанесенні покриття ТЗП температура нагріву деталі не повинна перевищувати 100°C.

1.3 Матеріал кільця внутрішнього

Кільце внутрішнє виготовляють зі сплаву EI868 (ХН60ВТ) – жароміцний, корозійностійкий сплав нікель – хром – заліза з мінімальним вмістом алюмінію і титану.

Даний сплав при температурі вище 550°C проявляє відмінну високу міцність проти впливу гарячих газів і продуктів згоряння, а також сольових

розплавів і при цьому, має хороші механічні властивості при короткій або тривалому навантаженні. Навіть при важких умовах, таких як, циклічне навантаження розігрівом і охолодженням, сплав EI868 (XH60BT) зберігає міцний окисний шар, який дуже стійкий проти розтріскування.

Хімічний склад і механічні властивості сплаву EI868 наведені в табл. 1.1 і табл. 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву EI868 згідно DIN EN 10095, % [8]

C	Cr	W	Ti	Ni	Al	Fe	Mn	Si	S	P
≤0,1	23,5 – 26,5	13 – 16	0,3 – 0,7	Осн.	≤0,5	≤4	≤0,5	≤0,8	≤0,013	≤0,013

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву EI868 при кімнатній температурі згідно DIN EN 10095 [8]

Межа плинності σ_T , МПа	Межа міцності σ_B , МПа	Відносне подовження δ , %	Твердість HB
205	550	30	≤220

1.4 Аналіз технології напилення внутрішнього кільця на базовому підприємстві та пропозиції щодо її поліпшення

Для нанесення теплозахисного покриття на кільце внутрішнє на підприємстві АТ «Мотор Січ» застосовується універсальна установка плазмового напилення типу УПУ-8М.

Для збільшення продуктивності і якості напилюваних деталей пропонується дану установку замінити на роботизований комплекс на базі робота FANUC.

Застосування промислового робота дозволяє виконувати напилення деталей складної геометрії. Програмне забезпечення контролює всі параметри процесу напилення і стан периферійного обладнання і має можливість зберігання і запису параметрів нанесення покриття.

Комплекси для напилення з інтегруванням роботів дозволяють вийти на новий рівень виробництва, домогтися істотного поліпшення властивостей поверхонь деталей і вузлів шляхом утворення на робочих поверхнях покриттів з особливими властивостями. Роботизація процесів напилення дозволяє істотно збільшити продуктивність праці, оптимізувати технології обробки і скоротити виробничий цикл, підвищити якість продукції, усунути шкідливі фактори, що впливають на здоров'я людини. Роботи для термічного напилення і програмне забезпечення дозволяють наносити функціональні покриття з точністю до декількох мікрометрів, що дозволяє істотно скоротити витрату дуже дорогих матеріалів, дозволяє здійснювати маніпуляції, відображати технологічні параметри і управляти ними в процесі напилення. Роботизований комплекс для напилення дозволяє забезпечити цикл обробки з високою продуктивністю і точністю, дозволяє уникнути перерв і виробничих помилок, властивих людині.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ НАПИЛЕННЯ НА МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ ПОКРИТТЯ З ОСНОВОЮ

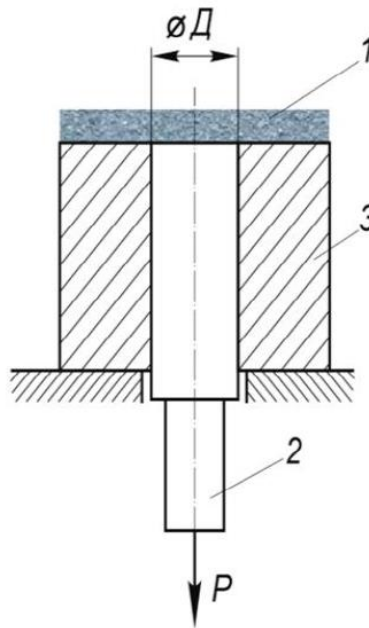
Міцність зчеплення покриття з основою – один з основних показників будь-якого виду покриттів. Залежно від функцій покриття і умов його експлуатації визначаються вимоги за мінімальними значеннями міцності зчеплення покриття з основою [9, 10].

Покриття, що наносяться методом плазмового напилення, утримуються на поверхні за рахунок декількох сил: адгезійні/когезійні сили, які в свою чергу визначаються Ван-дер-Вальсовими силами (переважно полярними), дифузією і анкерним ефектом. Прийнято вважати, що останній має найбільший вплив і залежить від розвиненості поверхні перед нанесенням покриття. Що стосується дифузії, то її значення спірно, тому що. нанесення покриттів відбувається на відносно холодні поверхні ($50 - 200^{\circ}\text{C}$), а при таких температурах її швидкість зневажливо мала, проте є дослідження, які вказують на те, що при зіткненні напилюваних частинок з основою відбувається ефект мікрозварювання, супроводжуваний дифузією [9, 10].

2.1 Випробування на міцність зчеплення

При визначенні міцності зчеплення напилених покриттів необхідно оцінити ступінь достовірності обраних лабораторних методик випробувань, оскільки результати випробувань різними методами значно розрізняються [11].

Випробування на міцність зчеплення витягуванням штифта (штифтова проба). На рис. 2.1 показана схема випробування на міцність зчеплення методом витягування штифта.



Умовні позначки:

1 – нанесене покриття;

2 – штифт;

3 – циліндрична матриця;

P – сила відриву,

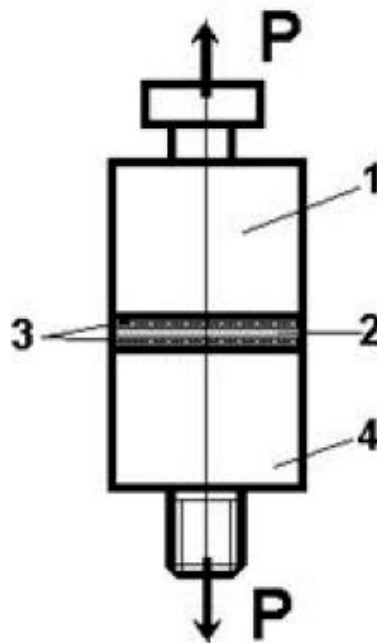
D – діаметр штифта.

Рисунок 2.1 – Схема випробування методом «штифтової проби»

В циліндричний або конічний центральний отвір у матриці 3, вставляють штифт 2 таким чином, щоб торцева поверхня штифта і поверхня основи знаходилися в одній площині. На верхню поверхню напилюють покриття 1. При випробуванні основу 3 встановлюють на упори, а штифт 2 витягують вниз. Відношення величини навантаження, при якому відбувається відрив штифта від покриття, до площі запиленого торця характеризує міцність зчеплення з основою. Основним недоліком цього методу випробувань є те, що навіть при високій точності посадки між поверхнею штифта і основою утворюється вільна ділянка покриття, на якій відбувається концентрація напружень, що приводить до руйнування, при нижчих значеннях навантаження. По цьому такий метод визначення міцності зчеплення дає занижене значення.

Випробування на міцність зчеплення на відрив з використанням клею (клейова проба). Торцеву поверхню циліндричного зразка 1 (основного матеріалу) піддають попередній обробці для додання шорсткості, а потім напилюють на неї необхідне покриття 3. До поверхні покриття приклеюють 2 циліндричний зразок 4, діаметр якого дорівнює діаметру зразка з покриттям і проводять випробування на відрив (рис. 2.2). Після полімеризації клею два склеєні зразки поміщають в розривну машину і визначають величину міцності зчеплення покриття з основою.

Товщина напиленого покриття при цьому виді випробування має бути не менше 0,25 мм і мати рівномірну товщину по всій поверхні. Міцність зчеплення у такому разі визначається як часткове від ділення руйнуючого навантаження на площу торцевої поверхні.



Умовні позначки:

- 1 – циліндричний зразок з основного матеріалу;
- 2 – клей;
- 3 – нанесене покриття;
- 4 – другий циліндричний зразок.

Рисунок 2.2 – Схема випробування методом «клейової проби»

В якості клею використовують епоксидну смолу. Діаметр зразка в більшості випадків не перевищує 10 – 40 мм.

На зразку 4 на відстані 10 мм нарізується різьблення М8, на зразку 1 робиться шийка для виключення перекосу зразка при випробуванні. Дані зразки можна використовувати багато разів для проведення випробувань. Лише для кожного випробування необхідно повторно обробляти поверхню.

Цей метод випробувань застосовний лише для покриттів міцність зчеплення, яких з основою не перевищує міцності клеїв. При визначенні міцності зчеплення цим способом отримують дані, що перевищують результати випробувань зчеплення витягуванням штифта.

Для випробувань на міцність зчеплення покриття з основою (напилення порошку ПН70Ю30) будемо користуватися штифтовою пробою, для перевірки міцності зчеплення з покриттям (напилення порошку ПГ-Ю10Н+ ПЦПК63Н30, ПЦПК63Н30) будемо користуватися клейовою пробою.

Міцність зчеплення покриття з основою повинна бути:

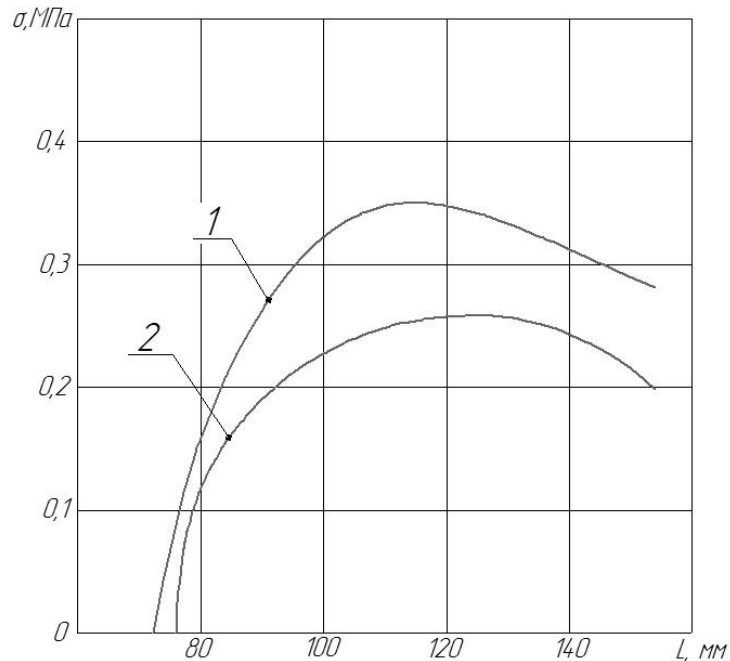
- для покриття ПВ-Н70Ю30 з основним металом не менше ніж 0,3 МПа;
- для покриття ПГ-Ю10Н+ПЦПК63-Н30, ПЦПК63-Н30 не менше 0,25 МПа.

Для отримання достовірних значень необхідно виконати випробування на 6 штифтових і 6 клейових пробах.

2.2 Вплив відстані від плазмотрона до поверхні яку напиляють на міцність зчеплення покриття

В процесі дослідження дистанцію напилення змінювали від 50 до 220 мм. Сила струму, витрата плазмо утворюючого газу, витрати порошку залишалися постійними і становили відповідно: $I_d=550\text{А}$, $Q_{ar}=35\text{ л/хв}$, $3,5\text{ г/хв}$. Залежність міцності зчеплення від дистанції напилення представлена на рис.2.3. Низька

міцність зчеплення (0,2 - 0,3 МПа) на відстані <100 мм пояснюється тим, що внаслідок великого тепловкладення від плазмового струменя в покритті накопичуються значні температурні напруження, що викликають зниження адгезійної міцності, деформацію і відшарування покриття [12].



Умовні позначки:

1 – ПВ-Н70Ю30

2 – ПГ-Ю10Н+ПЦПК63-Н30, ПЦПК63-Н30

Рисунок 2.3 – Залежність міцності зчеплення покриття від дистанції напильника[16]

При збільшенні відстані від 100 мм до 140 мм частинки встигають розігнатися до більш високої швидкості, при цьому їх температура знижується незначно (40 – 60° С), окислення основи та її перегрів плазмовим струменем зменшується, що сприяє зростанню (до 0,36 МПа) міцності зчеплення (див. рис.2.3). При досягненні раціонального співвідношення між швидкістю і температурою напильованих частинок (для нашого випадку це спостерігається при дистанціях напильника близько 120 мм) міцність зчеплення напильованого

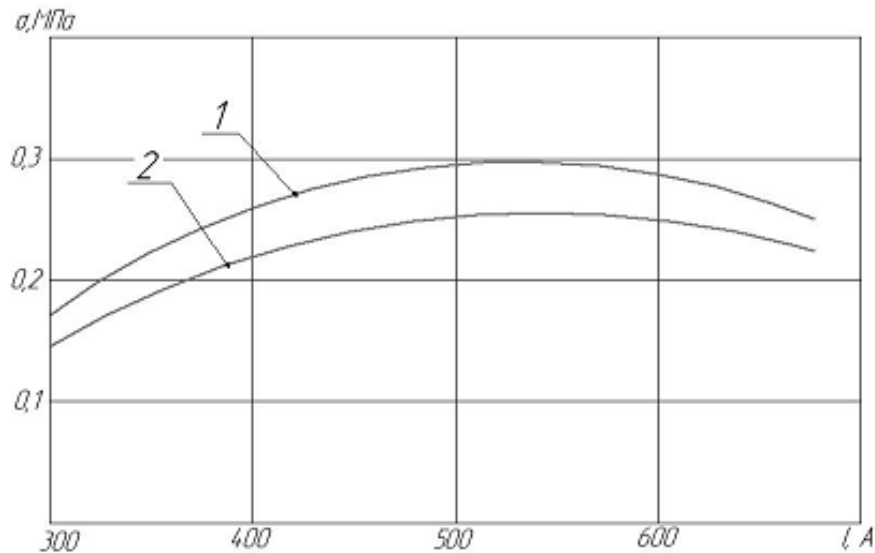
матеріалу з основою є максимальною, відбувається щільне і компактне формування покриття.

При подальшому збільшенні дистанції напилення ($L > 140$ мм) адгезія покриття з основою зменшується до 0,28 МПа і нижче. Це пояснюється збільшенням часу польоту і зміною середньомасової кінетичної і теплової енергії частинок. Уповільнені частинки досягають напилюваної поверхні в застиглому стані, а покриття формується, в основному, за рахунок механічного зачеплення їх між собою і в мікронерівностях основи. Це призводить до зниження адгезійної міцності напилюваного матеріалу і підвищенню кількості пор і оксидів в покритті.

Таким чином, напилення покриттів при дистанціях напилення $L < 100$ мм і $L > 140$ мм недоцільно.

2.3 Вплив сили струму на міцність зчеплення покриття

Сила струму, а відповідно і потужність плазмового струменя, істотно впливають на якість покриттів і коефіцієнт використання матеріалу [13]. Так, при збільшенні сили струму міцність зчеплення зростає, що можна пояснити поліпшенням термодинамічних характеристик плазмового струменя і підвищенням середньомасової температури і пластичних властивостей напилюваних частинок. При цьому збільшується деформація напилюваних частинок в момент удару їх об основу і, як наслідок, зростає міцність зчеплення. Разом з цим дещо знижується коефіцієнт використання матеріалу за рахунок збільшення розбризкування.



Умовні позначки:

1 – ПВ-Н70Ю30

2 – ПГ-Ю10Н+ПЦПК63-Н30, ПЦПК63-Н30

Рисунок 2.4 – Залежність міцності зчеплення від сили струму[16]

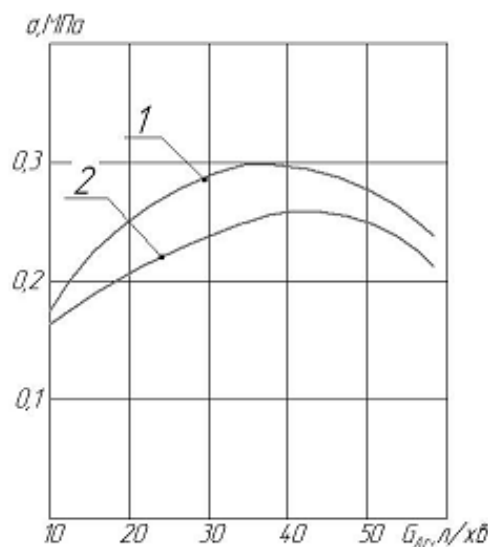
Підвищення сили струму до 600 А і вище сприяє інтенсивному розпорошуванню порошку і зменшення коефіцієнта використання матеріалу, що призводить до зниження продуктивності процесу. Покриття при цьому формується з частинок більш великої фракції і має «рихлу» будову з підвищеним вмістом оксидів. Дослідження показали, що оптимальна сила струму для наплення порошку ПН-70Ю30 буде складати 490 А, для порошку ПГ-Ю10Н+ПЦПК63-Н30, ПЦПК63-Н30 – 500 А.

2.4 Вплив витрати плазмоутворюючого газу на міцність зчеплення покриття

Збільшення витрати плазмоутворюючого газу від 35 л/хв до 40 л/хв призводить до підвищення міцності зчеплення наплюваного матеріалу (рис.

2.5). Очевидно, це пояснюється збільшенням швидкості витікання і ентальпії плазмового струменя. Крім цього, зі збільшенням витрати плазмоутворюючого газу зростає обсяг плазми і, в деякій мірі, її енергетичні характеристики. Це сприяє нагріванню розпилюваних частинок до більш високої температури і підвищенню їх середньомасової кінетичної і теплової енергії, що відповідно підвищує міцність зчеплення.

При подальшому збільшенні витрати плазмоутворюючого газу відбувається зниження міцності зчеплення. Це пов'язано з тим, що збільшення енергетичних характеристик плазмового струменя призводить до ефекту, який спостерігається при збільшенні сили струму, підвищеному розбризкуванню і зменшенню коефіцієнта використання матеріалу. При цьому збільшується пористість покриттів і вміст в ньому окислів, що негативно позначається на адгезійній і когезійній міцності. Оптимальною витратою плазмоутворюючого газу слід вважати, при напиленні порошку ПН-70Ю30 - 35 л/хв., при напиленні ПГ-Ю10Н+ ПЦПК63-Н30 та ПЦПК63-Н30 – 40 л/хв.



Умовні позначки:

1 – ПВ-Н70Ю30

2 – ПГ-Ю10Н+ПЦПК63-Н30, ПЦПК63-Н30

Рисунок 2.5 – Залежність міцності зчеплення від витрати плазмоутворюючого газу[16]

Таким чином, для напилення порошком ПН-70Ю30 за умови отримання задовільного (0,3 МПа міцності зчеплення і щільності $P < 6\%$) формування напилюваного покриття з мінімальною витратою плазмоутворюючого газу та порошку були запровадженні наступні режими напилення:

- Сила струму плазмової дуги – 490 А;
- Відстань до напилюваної поверхні – 100 – 120 мм;
- Витрата плазмоутворюючого газу – 35 л/хв.

Для напилення підслою ПГ-Ю10Н+ПЦПК63-Н30 за умови отримання задовільного (0,25 МПа міцності зчеплення і щільності $P < 6\%$) формування напилюваного покриття з мінімальною витратою плазмоутворюючого газу та порошку були запровадженні наступні режими напилення:

- Сила струму плазмової дуги – 500 А;
- Відстань до напилюваної поверхні – 100 – 120 мм;
- Витрата плазмоутворюючого газу – 40 л/хв.

Для напилення покриття ПЦПК63-Н30 за умови отримання задовільного (0,25 МПа міцності зчеплення і щільності $P < 6\%$) формування напилюваного покриття з мінімальною витратою плазмоутворюючого газу та порошку були запровадженні наступні режими напилення:

- Сила струму плазмової дуги – 500 А;
- Відстань до напилюваної поверхні – 100 – 120 мм;
- Витрата плазмоутворюючого газу – 40 л/хв.

3 ТЕХНІЧНІ УМОВИ НА ВИГОТОВЛЕННЯ І ПРИЙОМКУ ВИРОБУ

3.1 Вимоги до напилюваних деталей

На поверхнях, що підлягають напиленню, не допускаються раковини, тріщини, сліди припою, зварювальні бризки, залишки старих покриттів. На поверхні не повинно бути гострих кромek і інших концентраторів напружень. Радіуси заокруглень - не менше 0,2 мм.

Конфігурація деталі повинна забезпечувати нанесення покриття переважно під кутом 90°.

Твердість поверхні деталей, що підлягають плазмовому напиленню, повинна бути ≤ 50 HRC, оскільки в іншому випадку обдужання електрокорундом не зможе забезпечити необхідну шорсткість поверхні для напилення.

3.2 Вимога до оснащення

Оснащення повинне забезпечувати доступ плазмового потоку до напилюваної поверхні під кутом 70°...90°. Оснащення повинне захищати деталі, що не підлягають напиленню від впливу потоку напилюваних частинок, а також від абразивних частинок при обдужанні електрокорундом перед напиленням. Допускається застосування антипригарної суспензії типу "Anti Bond" і спеціальних захисних стрічок.

Оснащення повинна вільно демонтуватися без пошкодження напиленого шару.

Конструкція оснащення по можливості повинна забезпечити видалення покриття з неї механізованими і (або) хімічними способами.

Для внутрішнього кільця камери згоряння використовується оснащення у вигляді двох кілець (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Оснащення для наплення внутрішнього кільця камери згоряння

3.3 Вимоги до присадних матеріалів

Теплозахисні покриття завжди наносяться з підшаром (сполучним шаром). Підслой, що зв'язує основний теплозахисний шар покриття з металом деталі, мають меншу товщину, щодо основного шару покриття. Підшар необхідний в наступних випадках:

- для підвищення міцності зчеплення покриття з деталлю;
- як проміжний шар між деталлю і покриттям для зменшення різниці їх коефіцієнтів термічного розширення;
- як захист основного металу від високотемпературного окислення.

Для підвищення ефективності підшару можуть застосовуватися системи порошків з декількох проміжних шарів різного хімічного складу.

При нанесенні ТЗП покриття застосовуються такі матеріали:

- порошок ПВ-Н70Ю30;
- порошок ПГ-Ю10Н;
- порошок ПЦПК63-Н30 і ПЦПК63-Н10;
- аргон газоподібний;
- електрокорунд марки 14А зернистістю F20, по ТУ У 26.8-00222226-016:2006;
- клейові зразки для визначення адгезії в кількості від 6 до 12 шт. діаметром 25 мм (в робочій частині) з матеріалу EI868.

Хімічний склад і властивості застосовуваних порошків наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад і властивості застосовуваних порошків

Марка порошку	Хімічний склад, %	Фракція, мкм	Твердість покриття	Міцність зчеплення, МПа	Робоча температура, °C	Область застосування, характеристика покриття
ПВ-Н70Ю30	Ni – основа; Al – 28,89; Fe – 0,05; Ca – 0,05; C – 0,02.	-100...+40	40...42 HRC	30...40	1000	Жаростійке покриття в повітряному середовищі, корозійностійке – в атмосфері, воді, лугах
ПГ-Ю10Н	Ni – основа; Al – 9,0.	-100...+40	160...195 HB	53...57	-	Може використовуватися в якості компонента проміжного шару для ТЗП
M427.25	Co – основа; Ni – 32,0; Cr – 21,0; Al – 8,0; Y – 1,0.	-45...+22	330 HV	до 90	1040	Антикорозійна і антиокислювальна властивість. Використовується в якості підшару
ПЩПК63-Н10	ZrO ₂ – основа; CaO – 7,0; Ni – 10,0.	-63...+40	-	до 69	1250	Термобар'єрне, корозійностійке зносостійке покриття
ПЩПК63-Н30	ZrO ₂ – основа; CaO – 7,0; Ni – 30,0.	-63...+40	-	до 69	1400	Термобар'єрне, корозійностійке зносостійке покриття

Зберігають порошки в сухому приміщенні яке не містить парів кислот, інших окислювачів, лугів в щільно закритій тарі з добре видимим маркуванням порошку. Допускається зберігання порошоків в сушильній шафі протягом зміни при збереженні температури сушки.

В якості плазмоутворюючого та захисного газів використовують аргон першого сорту який поставляється по ДСТУ ISO 14175-2010, і до нього пред'являються наступні вимоги [14]:

- чистота і точка роси аргону повинна відповідати нормам, представленим в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Норми по чистоті аргону [14]

Мінімальна чистота, %	Точка роси при тиску 0,101 МПа, °С	Об'ємна частка водяної пари, ppm, не більше
99,9	-50	40

4 ТЕХНОЛОГІЯ НАПИЛЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО КІЛЬЦЯ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУННА

Сутність процесів газотермічного нанесення покриттів полягає в утворенні спрямованого потоку дисперсних частинок напилюваного матеріалу, що забезпечує перенесення їх на поверхність оброблюваного виробу і формування шару покриття.

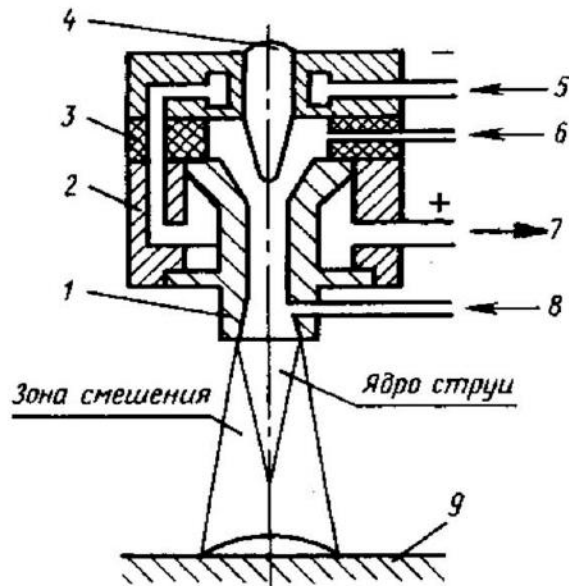
Покриття створюється за рахунок адгезії, що виникає при зіткненні частинок на поверхні основи. Напилювані частинки можуть являти собою порошок або можуть бути отримані розплавленням і газовим дробленням вихідного матеріалу-дроту, стрижнів, пластифікованої маси і т. д. для розгону частинок застосовують різні високотемпературні газові середовища.

Плазмовий спосіб є найбільш універсальним і технологічним процесом газотермічного напилення. Нанесення покриття полягає у формуванні на поверхні деталі (вироби, конструкції) шару з частинок, що володіють певним запасом теплової та кінетичної енергії, отриманої в результаті взаємодії з плазмовим струменем. Температура плазмового струменя досягає 5000 – 5500 °С, а швидкість 1000 – 1500 м/с.

У плазмовому струмені частинки набувають швидкість 50 – 200 м/с. Швидкість польоту частинок залежить від їх розміру, щільності матеріалу, сили струму дуги, природи і витрати плазмоутворюючого газу.

Плазмові струмені отримують в спеціальних пристроях, плазмотронах (рис. 3.1). Плазмотрон складається з водоохолоджуваного катода, анода і розділяє їх ізолятора. Плазмоутворюючий газ (аргон, азот високої чистоти, гелій, водень та ін.) подається в електричну дугу, збуджувану між стрижневим катодом і кільцевим анодом (соплом), нагрівається і у вигляді плазмового струменя впливає з сопло. Розпилюваний матеріал вводиться в плазмовий струмінь у вигляді порошку за анодним плямою; можливе введення в дугу з плазмоутворюючим газом [11].

При плазмовому напиленні порошок вдувається транспортним газом в плазмовий струмінь безпосередньо через спеціальні отвори плазмотрона (див. рис. 4.1).



Умовні позначки:

- 1 – водоохолоджуване сопло (анод);
- 2 – корпус;
- 3 – ізолятор;
- 4 – електрод (катод);
- 5, 7 – підведення і відведення води;
- 6 – підведення плазмоутворюючого газу;
- 8 – підведення розпилюваного матеріалу;
- 9 – основа.

Рисунок 4.1 – Схема плазмового напилення порошкових матеріалів

Технологічна схема процесу отримання газотермічних покриттів залежно від конкретних завдань і технологій може містити різну кількість операцій. Загалом, весь цикл нанесення газотермічних покриттів можна розбити на наступні етап: вхідний контроль; підготовка поверхні до напилення; напилення основного покриття; обробка виробів з газотермічними покриттями (механічна, термічна та ін.); вихідний контроль.

4.1 Підготовка поверхні

Для формування газотермічного покриття з високим рівнем властивостей необхідне проведення попередньої обробки поверхні виробу. Попереднє очищення поверхні від забруднення підвищує ймовірність утворення хімічних зв'язків між напилюваним матеріалом і основою. Створення шорсткої поверхні збільшує протяжність границь і кількість місць "приварювання" між напиленим шаром і основою, а також може сприяти механічному зчепленню покриття з основою. Все це призводить до підвищення міцності зчеплення напиленого матеріалу з виробом.

Від чистоти поверхні виробу значною мірою залежить якість покриття. Наявність на поверхні бруду, окисних і масляних плівок знижує міцність зчеплення напиленого матеріалу з основою.

Забруднені деталі і заготовки перед напиленням піддають ретельного очищення. Для очищення кільця внутрішнього використовують метод дробоструминної обробки. В якості матеріалів для обдування використовують електрокорунд марки 14А зернистості F20, по ТУ У 26.8-00222226-016:2006.

Кільце внутрішнє збирають в захисні пристосування згідно карті ескізів і відомості деталей. У процесі складання деформації, удари, механічні пошкодження не допускаються. Операцію виконувати в чистих х/б рукавичках.

Кільце внутрішнє зібране в пристосуванні завантажують у камеру для обдування. Перевіряють стиснене повітря на відсутність масла, вологи. Для перевірки стисненого повітря на відсутність масла і вологи обдути поверхню дзеркала протягом трьох хвилин тиском 0,4 ... 0,5 МПа на відстані від сопла 50...100 мм, на поверхні дзеркала не допускається матовий наліт, сліди масла і вологи. При необхідності продути повітропровід протягом однієї хвилини до повного видалення вологи з повторною перевіркою на наявність масла і вологи.

Дробоструминну обробку виконують у ручній кабіні BNP-601 яка дозволяє виконувати дробоструминну очистку малих та середніх деталей. Обробку здійснювати згідно з режимом, зазначеним в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Режими дробоструминної обробки

Параметр	Значення
Тиск стисненого повітря Р, МПа	0,4...0,5
Марка і розмір дробу d, мм	14А, F20
Відстань від сопла до оброблюваної поверхні, мм	90...100
Кут обробки, град °	70...90
Діаметр сопла, мм	20

Час між закінченням обдування і початком напилання не більше 30 хв. у разі перевищення цього часу або попадань забруднень на деталь, операцію повторити.

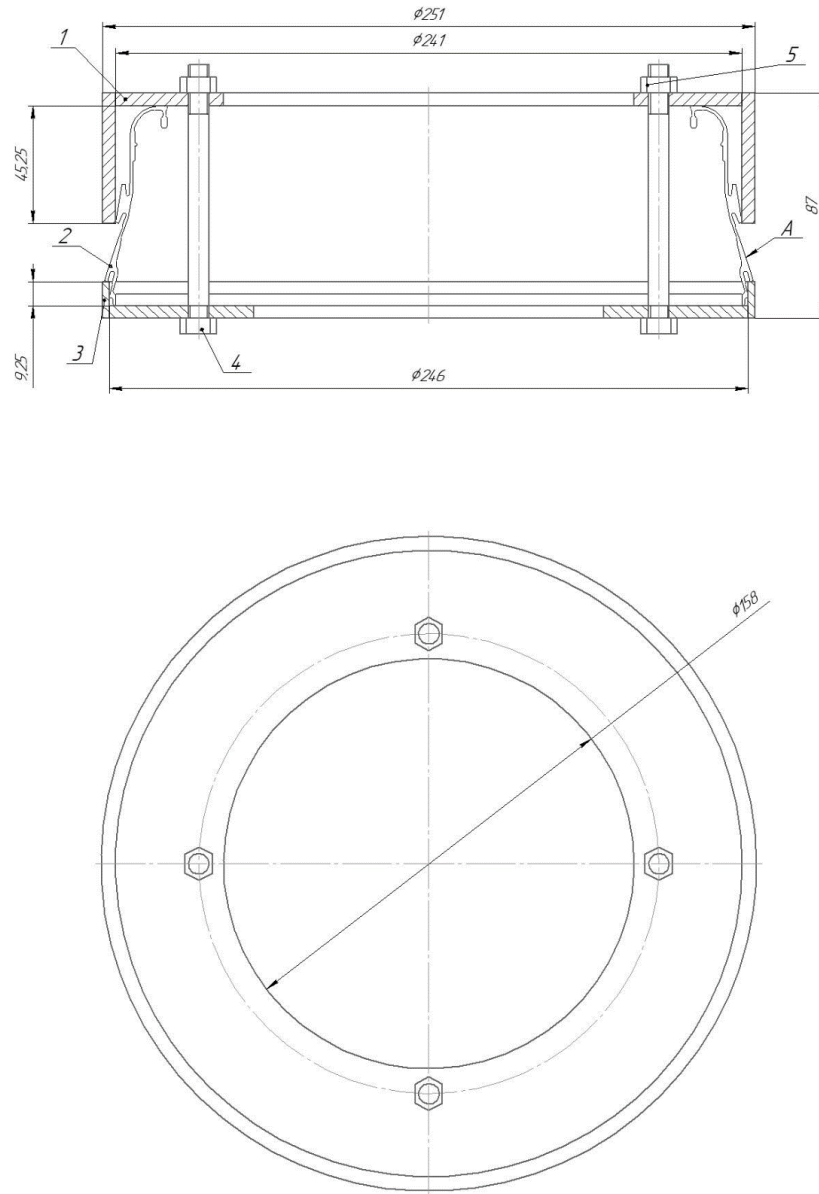
По завершенню обдути деталь з пристосуванням сухим стисненим повітрям.

Проводити заміну електрокорунду в кількості не менше 6 кг після обдування кожного комплекту.

Після обдування перевіряють якість обдувки деталей візуальним контролем. Поверхня після обдування повинна мати рівномірно матовий колір. У разі отримання негативного результату контролю виконують повторну дробоструминну обробку.

Після контролю якості зібрати деталь в захисне пристосування (рис. 4.2). У процесі складання деформації, удари, механічні пошкодження не допускаються. Застосовувати несправну оснастку, а так само оснащення з залишкам покриття на поверхнях, прилеглих до місць напилання деталі, не допускається. Поставити заглушки в отвори які не підлягають напиланню.

Нанести двічі тонким шаром антиадгезив в місцях, що не підлягають напиленню, і мають зазори між захисними пристосуваннями і складальною одиницею, $t_{\text{сушки}} = 15$ хв (кожного шару).



Умовні позначки:

- 1 – кришка;
- 2 – напилювана деталь;
- 3 – основа;
- 4 – гвинт;
- 5 – гайка.

Рисунок 4.2 – Захисне пристосування для напилення

4.2 Плазмове напилення

Після дробоструминної обробки деталі поступають на ділянку плазмового напилення покриттів, де її встановлюють в установку плазмового напилення.

Потім використовуючи значення параметрів режиму представлених в табл. 4.2, виконують налаштування установки для напилення.

Таблиця 4.2 – Режими напилення кільця внутрішнього

Найменування параметрів	Значення для шарів		
	ПВ-Н70Ю30	ПГ-Ю10Н+ +ПЦПК63- Н30	ПЦПК63-Н30 або ПЦПК63-Н10
Сила струму, А	490±5	500±5	500±5
Напруга, В	50±2	60±2	60±2
Витрата плазмоутворюючих газів, л/хв:			
-аргон	35±2	40±2	40±2
-азот	5...5,5	6...7	6...7
Дистанція напилення, мм	100...120	100...120	100...120
Витрата порошку, г/хв	25...30	30...35	30...35
Витрата транспортуючого газу, л/хв	4,5...5,5	4,5...5,5	4,5...5,5
Кут нахилу плазмотрона, град	90±120	90±120	90±120
Витрата води, л/хв	8±1	8±1	8±1

Напилення виконують у наступній послідовності:

1. Встановити захисне пристосування з деталлю на маніпулятор, і виставити радіальне биття деталі не більше ± 5 мм; торцеве биття – не більше ± 3 мм;

2. Відрегулювати витрату стисненого повітря для охолодження деталі. Температура напилюваної деталі не більше 100°C , забезпечується витратою тиску охолоджуючого повітря;

3. Перевірити відповідність режиму на установці і таблиці з підписом оператора і контролера в журналі, інтервал часу між обдуванням, сушінням і початком напилення деталі. Час між закінченням обдування, сушіння і початком нанесення покриття не більше 30 хв. Записати час початку нанесення покриття в журнал;

4. Нанести підслой ПВ-Н70Ю30 на поверхню А деталі товщиною 0,15...0,20 мм з пред'явленням контролеру. В процесі напилення факел плазмотрона повинен виходити за напилювану поверхню. Товщину покриття перевіряти через кожні 1...2 проходи. Записати товщину покриття в журнал;

5. Зняти деталь із захисним пристосування, обдути напилену поверхню електрокорундом 14а зернистістю F20 до видалення сажистих відкладень у вигляді чорноти. Режим обдувки: $P=0,2$ МПа; $L=90\ldots100$ мм; кут атаки $70\ldots90^{\circ}$;

6. Встановити деталь із захисним пристосуванням на маніпулятор, виконуючи умови пункту 1.

7. Нанести проміжний шар ПГ-Ю10Н (50%) + ПЦПК63-Н30 (50 %) на поверхню А деталі товщиною 0,15...0,20 мм з пред'явленням контролеру. В процесі напилення факел плазмотрона повинен виходити за напилювану поверхню. Товщину покриття перевіряти через кожні 1...2 проходи. Записати товщину покриття в журнал;

8. Зняти деталь із захисним пристосуванням, обдути напилену поверхню мікропорошком до видалення сажистих відкладень у вигляді чорноти. Режим обдувки: $P=0,2$ МПа; $L=90\ldots100$ мм; кут атаки $70\ldots90^{\circ}$;

9. Встановити деталь із захисним пристосуванням в планшайбу, виконуючи умови пункту 1;

10. Нанести покриття ПЦПК63-Н30 на поверхню А деталі товщиною 0,15...0,20 мм з пред'явленням контролеру. В процесі напилення факел плазмотрона повинен виходити за напилювану поверхню. Товщину покриття перевіряти через кожні 1...2 проходи. Після нанесення третього шару (ПЦПК63-Н30) перевірити загальну товщину шару 0,45...0,60 мм;

11. Зняти захисне пристосування з деталлю з маніпулятора. Підрізати покриття на границі з'єднання захисного пристосування з деталлю. Розібрати захисне пристосування та зняти деталь;

12. Промити деталь в холодній воді, протираючи волосяною щіткою, до повного видалення антиадгезива. Обдути деталь сухим стисненим повітрям до повного видалення вологи.

4.3 Контроль якості напилюваного виробу і методи усунення дефектів

Контроль якості продукції після напилення є необхідною операцією технології, що забезпечує надійність роботи виробу. Багатофакторність процесу газотермічного напилення обумовлює його чутливість до відхилень в режимі і підвищує значимість елемента контролю якості покриттів.

Існуючі методи контролю якості газотермічних покриття діляться на неруйнівні і руйнують. До числа неруйнівних відносяться контроль зовнішнього вигляду, вимірювання товщини і шорсткості поверхні покриття, визначення зносостійкості методом дряпання, наскрізної пористості покриттів, нанесених на основи з залізних, мідних або нікелевих сплавів, а також деякі способи оцінки міцності зчеплення.

Контролю покриття за зовнішнім виглядом піддають 100% деталей. Не допускається дефекти: тріщини, несплошності, відшарування, здуття.

Допускаються дрібні дефекти у вигляді відколів, дрібна пористість діаметром до 0,3 мм обумовлені за технологією. Остаточний контроль якості покриття на відсутність тріщин, здуття несплошностей виробляють після механічної обробки, якщо така виконувалася. Види дефектів і причини їх утворення представлені в таблиці 4.3 [15].

Огляд здійснюють за допомогою 10-кратної лупи ЛІ-3 або ЛІ-4 при коефіцієнті природної освітленості на поверхні вироби не менше 1,5. При освітленні лампами освітленість на рівні робочого місця контролера повинна бути не менше 150 лк, при освітленні люмінесцентними лампами не менше 300 лк.

Геометричні розміри деталі з покриттям заміряють звичайним вимірювальним інструментом (лінійкою, штангенциркулем, мікрометр).

Ультразвуковий контроль є обов'язковою процедурою при виготовленні та експлуатації відповідальних виробів, таких як частини авіаційних двигунів.

Методи ультразвукового контролю:

- метод проходження виявляє глибинні дефекти типу порушення суцільності, розшарування;
- метод відображення виявляє дефекти типу порушення суцільності, визначає їх координати, розміри, орієнтацію шляхом прозвучування вироби і прийому відбитого від дефекту луна-сигналу;
- метод вільних коливань застосовуються для виявлення глибинних дефектів.
- метод вимушених коливань (резонансний) застосовується в основному для вимірювання товщини виробу і для виявлення зони корозійного ураження, розшарувань в тонких місцях з металів;
- акустико-емісійний метод виявляє і реєструє тільки розвиваються тріщини або здатні до розвитку під дією механічного навантаження (кваліфікує дефекти за ступенем їх небезпеки під час експлуатації);

Для контролю якості внутрішнього кільця камери згоряння використовуємо імпульсний метод ультразвукової дефектоскопії (методи проходження і відображення).

Таблиця 4.3 – Види дефектів і причини їх утворення

Найменування дефекту	Причина виникнення дефекту
Відшарування напиленого шару	1. Неправильна конфігурація напилюваної ділянки. 2. Незадовільна якість підготовки поверхні (недостатня шорсткість, наявність вологи, запиленості, забруднень та ін.). 3. Окислення підкладки внаслідок перегріву, високі внутрішні напруження.
Розтріскування покриття	Високі внутрішні напруження в покритті.
Різнотовщинність покриття вище допустимого	Нерівномірна подача напилюваного матеріалу. Нерівномірне переміщення потоку напилюваних частинок щодо поверхні напилення.
Поява на поверхні покриття великих крапель напилюваного матеріалу	Нарощування матеріалу покриття на внутрішній стінка сопла-анода
Поява крапель міді на покритті	Підвищена ерозія сопла-анода в результаті його зносу або погіршення водяного охолодження.

Руйнуючі методи контролю плазмових покриттів реалізується головним чином при випробуванні зразків-свідків, що напилюються одночасно з партією деталей і при обробці оптимального технологічного режиму і на деталях.

До основних показників якості плазмових покриттів, що визначаються при цьому, відносяться:

- величина міцності зчеплення (на відрив, вигин, зріз);
- металографічний контроль;
- пористість (загальна, відкрита або наскрізна);
- зносостійкість (стосовно реальних умов роботи виробу).

Для визначення міцності зчеплення на зразках-свідках в більшості випадків застосовують методику випробування на відрив покриття штифтовим і клейовим методами.

Мінімально допустима міцність зчеплення визначається при відпрацюванні режиму напилення і перевіряється:

- перед напиленням партії деталей обумовленої технологією;
- після ремонту плазмової установки: пульта управління, джерела струму;
- перед використанням нової партії порошку.

Міцність зчеплення з основою визначають штифтовим методом. Діаметр штифта – 3 мм, швидкість навантаження - не більше 5 мм/хв і оцінюється за результатами випробування 12 зразків, як середнє арифметичне значення без урахування одного найменшого і одного найбільшого результатів.

Зразки закріплюються в пристосуванні, що імітує умови напилення деталі (плоска поверхня, кільцева поверхня).

Підготовку і напилення робочої поверхні штифтових зразків виконують за технологічним процесом, затвердженим для відповідної деталі.

Після обдування електрокорундом робочої поверхні штифтового зразка, розібрати і зібрати багаторазово, забезпечивши вільної хід штифта. Торкатися обдутої поверхні руками не допускається. Допускається багаторазове використання штифтового зразка за умови повного видалення попереднього покриття.

Клейовий метод випробувань покриттів застосовується при використанні в покритті двох і більше шарів порошку.

Міцність зчеплення шарів клейовим способом перевіряють на п'яти зразках: підготовка поверхні під напилення зразків і контроль зразків проводиться аналогічним вимогам, що і штифтові зразки.

Нанесення шарів виконується з дотриманням всіх параметрів режимів напилення згідно з технологічним процесом. Напилені зразки склеюють клеєм ВК-9 з попередньо обдудим електрокорундом другою половиною зразка.

Випробування проводяться на розривній машині яка забезпечує необхідні зусилля розриву.

При необхідності на багатошарових покриттях міцність зчеплення підшару визначається штифтовим методом, а шару клейовим.

У разі отримання міцності зчеплення на клейових зразках більшої ніж обумовлено технологією, допускається визначення міцності зчеплення на штифтових зразках не виконувати.

Для випробувань застосовуються зразки, виготовлені з наступних матеріалів:

- для титанових сплавів-матеріал ВТЗ-1;
- для сталей, сплавів на основі нікелю і кобальту – матеріал EI961.

Металографічне дослідження проводять на оптичних мікроскопах де визначають товщину покриття, наявність оксидів та інших включень по межі розділу між покриттям і основою, мікротвердість. Нанесення покриттів для металографічного дослідження виконують на бракові деталі або зразки з геометрією поверхні, ідентичною досліджуваної деталі, з того ж матеріалу і на режимах, зазначених в технології на деталь.

5 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРОБКИ

5.1 Технічна характеристика прийнятого стандартного обладнання та оснащення

Для дробоструминевої обробки використовують кабінку ручну BNP-601 (рис. 5.1), яка дозволяє виконувати дробоструминну очистку малих та середніх деталей. Технічні характеристики кабінки представлені в табл. 5.1



Рисунок 5.1 – Кабіна BNP-601 для дробоструминневої обробки

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики кабінки BNP-601

Параметр	Значення
Абразив	для всіх типових абразивів
Ємність резервуара, л	100
Габарити камери: ШхВхД, мм	1490х1530х1500
Маса, кг	795
Габарити: ШхВхД, мм	1505х2310х1505

Для напилення теплостійкого покриття на кільце внутрішнієї камери згорання ГТД використовують робота FANUC M-16iB (рис. 5.2). FANUC M-16iB – шестиосьовий робот модульної структури з електричним сервоприводом, широко застосовується в промисловості. Завдяки своїй простій та надійній конструкції, контролер FANUC M-16iB R30iA забезпечує технологічне управління рухами робота, а також його безперервну високоефективну роботу.

Роботи для термічного напилення і програмне забезпечення дозволяють наносити функціональні покриття з точністю до декількох мікрометрів, що дозволяє істотно скорочувати витрату часом дуже дорогих матеріалів, дозволяє здійснювати маніпуляції, відображати технологічні параметри і управляти ними в процесі напилення. Роботизовані комплекси для напилення дозволяють забезпечити цикл обробки з високою продуктивністю і точністю, дозволяють уникнути перерв і виробничих помилок, властивих людині. Технічні характеристики робота представлені в табл. 5.2.



Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд робота FANUC M-16iB

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики робота FANUC M-16iB

Параметр	Значення
Максимальне навантаження на кисть, кг	20
Максимальний горизонтальний винос руки, мм	1667
Кількість осей, шт.	6
Повторюваність, мм	$\pm 0,08$
Середнє споживання енергії, кВт	2,5
Маса, кг	540

Для напилення використовують плазмотрон 9MB (рис. 5.3) конструктивні особливості якого дозволяють домогтися оптимального відведення тепла за допомогою демінералізованої охолоджуючої води, що надходить зі спеціального теплообмінника з охолодженням, що дозволяє отримати високу потужність плазмової дуги. Напилення здійснюється із зовнішньою подачею напилюваного порошку. Технічні характеристики плазмотрона представлені в табл. 5.3.



Рисунок 5.3 – Зовнішній вигляд плазмотрона 9MB

Таблиця 5.3 – Технічні характеристики плазмотрона 9MB

Параметр	Значення
Подача порошку	Зовнішня
Максимальна потужність, кВт	55
Тип напильованого матеріалу	порошок
Витрата води, л/хв	10...14
Плазмоутворюючі гази	Ar/H ₂ , Ar/He, Ar/N ₂

Напилення кільця внутрішнього виконується в спеціальній оснастці встановленій на маніпуляторі HD-50 (рис. 5.4). Технічні характеристики маніпулятора HD-50 приведені в табл. 5.4.

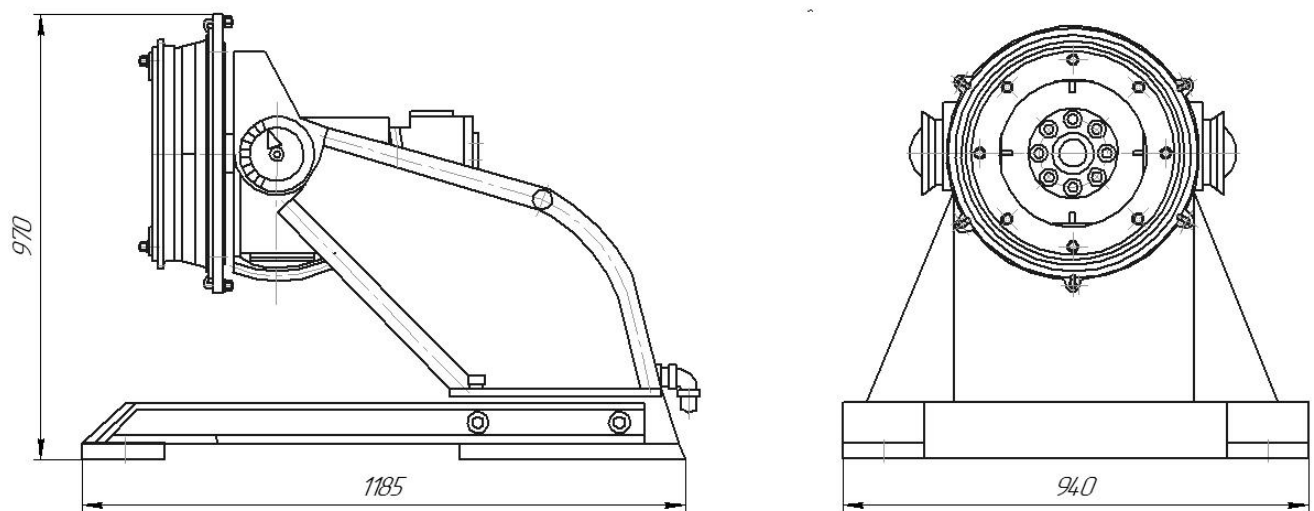


Рисунок 5.4 – Маніпулятор HD-50

Таблиця 5.4 – Технічні характеристики маніпулятора HD-50

Параметр	Значення
Максимальна вага виробу, кг	50
Швидкість обертання планшайби, об/хв	0,2 – 2,5
Максимальний кут нахилу планшайби, град	90
Максимальний момент відносно осі нахилу, кГс·м	30
Максимальний момент відносно осі обертання, кГс·м	45
Габаритні розміри, мм	1185x940x970
Вага, кг	90

В якості системи для плазмового напилення використовується AP-25i (рис. 5.5) яка задовольняє як сьогодишнім, так і майбутнім вимогам до обладнання для газотермічного напилення. До складу системи входить: контролер AP-25; джерело струму iPS80; блок водяного охолодження з системою водопідготовки; блок з'єднання та моніторингу (Jam Box); плазматрон з комплектом кабелів і шлангів; живильник порошку.

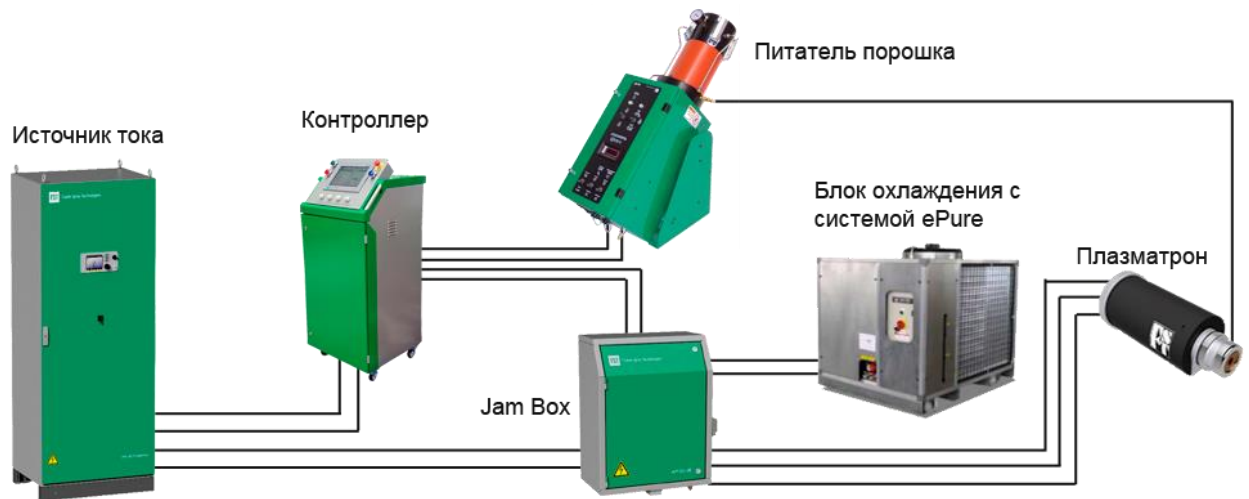


Рисунок 5.5 – Схема системи плазмового напилення

Основні особливості системи AP-25i:

- проста у використанні із застосуванням сучасних технологій і візуалізацією процесу;

- віддалений доступ через систему eWon (опціонально) для віддаленої діагностики та обслуговування обладнання та програмного забезпечення;
- можливість підключення зовнішньої кнопки аварійної зупинки;
- метрична і британська системи одиниць;
- інтеграція з живильниками порошку;
- автоматичний підпал плазматрона;
- система попереджень і помилок.

Напилення виконують у шумопоглинаючій камері (рис.5.6) розміром: довжина 4,500 мм; ширина 4,000 мм; висота 3 000 мм.



Рисунок 5.6 – Шумопоглинаюча камера для напилення

Конструкція камери має модульний панельний дизайн. Кожна панель виготовляється з конструкції типу «сандвіч» звукопоглинальним матеріалом різної щільності, прокладених між зовнішнім листом з оцинкованої м'якої сталі і перфорованим сталевим внутрішнім листком.

Камера оснащена вхідними і вихідними глушниками повітря із загальною потужністю повітряного потоку $12000 \text{ м}^3 / \text{год}$. Камера має дві двері для легкого завантаження деталей. Двері ущільнюються спеціальним порогом, прилеглим до полу.

У дверях є вікно з тонованим безпечним склом. Камера також оснащена всіма необхідними з'єднаннями для витяжного трубопроводу, електричних кабелів та ін.

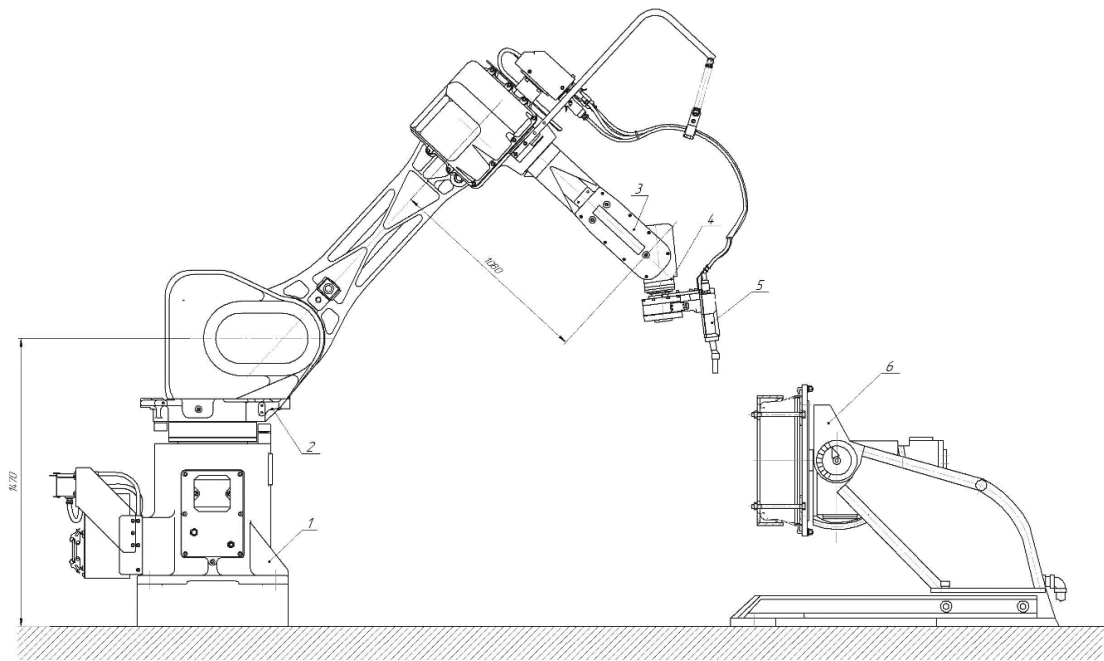
У камері вбудовані вимикачі дверей, які активують функцію аварійної зупинки і відключають систему, якщо в процесі напилення відкриті двері. Також дані перемикачі не дозволяють запуск системи при відкритих дверях. Ці заходи безпеки можуть регулюватися вручну через клавіатуру.

Всередині камери встановлюється кнопка аварійної зупинки, яка підключається до циклу управління аварійним відключенням системи AP-25i.

5.2 Компонування установки з уніфікованих вузлів

Плазмове напилення теплостійкого покриття ТЗП на кільце внутрішнє камери згоряння виконують на роботизованій установці, що складається з шестиосевого робота FANUC M-16iB і універсального маніпулятора (рис. 5.7).

Робот закріплений на підставці 1 і може обертатися навколо своєї осі на каруселі 2, плазмотрон 5 кріпитися на кисті робота 4 яка знаходиться на кінці руки 3. Завдяки шести незалежним сервоприводам встановлених на кожній із шести осей, кисть робота в процесі напилення переміщується з високою точністю $\pm 0,08 \text{ мм}$ що дозволяє виконувати напилення складних поверхонь. Кожна вісь при русі займає необхідне положення для забезпечення точного руху по заданій траєкторії.



Умовні позначки:

- 1 – підставка;
- 2 – карусель;
- 3 – рука;
- 4 – кість;
- 5 – плазмотрон 9МВ;
- 6 – маніпулятор HD-50.

Рисунок 5.7 – Роботизована установка для плазмового наплення ТЗП

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

6.1 Опис ідеї проекту

Теплостійкі покриття все більше набувають популярності в авіації так як дають змогу для підвищення експлуатаційних температур, вони покликані захищати конструкційні елементи від зовнішнього і внутрішнього теплового впливу в процесі експлуатації літального апарату, одночасно забезпечуючи додатковий захист від факторів окислення.

У розвинених країнах (США, Німеччина, Франція, Японія) темп зростання складає 5-7 %, в Індії 15-17 %, в Китаї - 20 %.

Ідея полягає в зменшенні собівартості нанесення теплостійких покриттів на деталі ГТД та підвищення їх якості за рахунок використання роботизованного плазмового напилення. У таблиці 6.1 представлено опис ідеї роботизованного плазмового нанесення теплостійких покриттів для деталей ГТД.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Роботизоване плазмове нанесення теплостійких покриттів на кільце внутрішнє камери згоряння ГТД	Авіабудування, ракетобудування.	Використання нової технології призводить до зниження собівартості покриття

В межах завдання було проаналізовано характеристику потенційного ринку, яку відображено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	Завод ім. Климова
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Швидко зростає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Недостатня якість продукції
4	Специфічні вимоги до стандартизації та специфікації	Відповідність ISO 9001 на виробництво багатофункціональних покриттів методами газо-термічного напилення

Після аналізу характеристики потенційного ринку можна побачити головних конкурентів, дати якісну оцінку розвитку динаміки ринку, а також виявити які можуть бути обмеження чи вимоги до стандартизації.

Було побудовано карту стейкхолдерів, яка дає змогу візуалізувати картину взаємозв'язків стейкхолдерів. На рисунку 6.1 зображена карта стейкхолдерів.



Рисунок 6.1 – Карта стейкхолдерів

На карті стейкхолдерів відображено взаємодія стейкхолдерів. Залежні зацікавлені сторони формально ініціатору проекту не підлеглі, проте тісні ділові стосунки потребують на пошук взаємовигідних рішень та компромісів. На периферії ж знаходяться зовнішні зацікавлені сторони. Це область стейкхолдерів опосередкованого впливу на успішність реалізації інноваційного проекту.

6.2 Технічне нормування операцій

Для проектування ділянки напилення для даного технологічного процесу необхідно:

- пронормувати операції технологічного процесу;
- встановити готову виробничу програму виробів;
- розрахувати кількість обладнання та виробничу площу ділянки;
- розрахувати чисельність персоналу.

Норми часу на процес напилення кільця внутрішнього представлені в табл. 6.3

Таблиця 6.3 – Технічне нормування операцій

№ Операції	Найменування операції	Норма штучного часу за базовою технологією, н/год	Норма штучного часу за новою технологією, н/год
5	Дробоструминна обробка	0,50	0,50
10	Плазмове напилення	2,50	1,30
15	Контроль якості	0,60	0,60
Всього		3,60	2,40

На основі розрахованих норм часу по виготовленню виробів встановлюємо річну виробничу програму виробів у штуках (табл. 6.4).

Таблиця 6.4 – Виробнича програма виробу за рік

Найменування виробу	Норма часу одиницю виробу, н/год	Виробнича програма	
		Одиниць	н/год
За базовою технологією	3,60	1000	3600
За новою технологією	2,40	1000	2400

6.2.1 Розрахунок кількості обладнання, площі ділянки

Розрахунок необхідної кількості обладнання по кожному типу ведеться за формулою:

$$G_0 = \sum_{i=1}^m \frac{t_i \cdot N_i}{F_{\text{до}}}, \text{ одиниць} \quad (6.1)$$

де G_0 – кількість обладнання за розрахунком, одиниць;

m – кількість видів робіт;

t_i – норма часу i -тої операції, нормо-годин;

N_i – річна виробнича програма i -того виробу, одиниць;

$F_{\text{до}}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, годин;

Прийнята кількість обладнання встановлюється шляхом округлення до цілої величини $G_{\text{пр}}$. Коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{G_o}{G_{\text{пр}}} \quad (6.2)$$

де $G_{\text{пр}}$ – прийнята кількість обладнання, одиниць.

На машинобудівних заводах найбільш поширеним є однозмінний режим роботи при п'ятиденному робочому тижні – 40 годин.

Тривалість робочої зміни – 8 годин.

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання при однозмінному режимі – 2080 годин.

Дійсний річний фонд часу роботи устаткування визначається за формулою:

$$F_{\text{до}} = F_{\text{ном}}(1 - K_{\text{в}}), \text{ годин} \quad (6.3)$$

де $F_{\text{ном}}$ – номінальний фонд часу роботи обладнання, годин;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт витрат часу на ремонт та обслуговування обладнання,
 $K_{\text{в}} = 0,1$.

$$F_{\text{до}} = 2080(1 - 0,1) = 1872 \text{ годин}$$

Для виконання технологічного процесу плазмового напилення кільця внутрішнього необхідно наступне обладнання: установка дробоструминної обробки, робот FANUC M-16iB, маніпулятор, джерело живлення для плазмового напилення. Усі розрахунки по обладнанню наведені в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Розрахунок кількості обладнання та його потужності

Найменування обладнання та модель	Кількість обладнання		Коефіцієнт завантаження	Потужність кВт/год.	
	за розрахунком	прийнята		одиниці	усього
Установка дробоструминної обробки	0,27	1	0,27	40	40
Джерело живлення для плазмового напилення	0,69	1	0,69	47	47
Робот FANUC M- 16iB	0,69	1	0,69	2,5	2,5
Маніпулятор	0,69	1	0,69	1,5	1,5
Всього	2,34	4	-	-	91

Низький коефіцієнт завантаження обладнання пояснюється тим що на даній ділянці окрім кільця внутрішнього виконують напилення інших деталей ГТД. Виробнича площа ділянці розраховується виходячи з кількості обладнання, робочих місць та питомої площі з додавання 20% (проходи, проїзди та інше). Площа ділянці $9 \times 12 = 108 \text{ м}^2$.

6.2.2 Розрахунок чисельності персоналу ділянці

Чисельність основних виробничих робітників ділянці на нормованих роботах розраховується по операціям згідно з розрядами і професіями за формулою:

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^m t_i \cdot N_i}{F_{др} \cdot K_{в.н}}, \text{ осіб} \quad (6.4)$$

де R_o – чисельність основних виробничих робітників;

m – кількість видів робіт;

t_i – норма часу і-тої операції, нормо-годин;

N_i – річна виробнича програма і-го виробу, одиниці;

$F_{др}$ – дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, годин;

$K_{в.н}$ – коефіцієнт виконання норм виробітку ($K_{в.н}=1,05$).

Дійсний річний фонд часу роботи робітника визначається за формулою:

$$F_{др} = F_{ном}(1 - h), \text{ год.} \quad (6.5)$$

$F_{ном}$ – береться для однозмінного режиму 2080 год.

h - плановий коефіцієнт невиходів робітників на роботу (0,12...0,15)

$$F_{др} = 2080(1 - 0,12) = 1830,4 \text{ год.}$$

Чисельність допоміжних робітників по професіям розраховується за нормами обслуговування обладнання.

Чисельність керівників і фахівців ділянки (майстер, технолог) розраховують за штатним розкладом.

Розраховуємо чисельність операторів установки плазмового напилення:

$$G_0 = \frac{1,3 \cdot 1000}{1830,4} = 0,71 \sim 1 \text{ чол.}$$

Розраховуємо чисельність операторів установки дробоструминної обробки:

$$G_0 = \frac{0,5 \cdot 1000}{1830,4} = 0,27 \sim 1 \text{ чол.}$$

Загальна чисельність персоналу дільниці наведена в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Загальна чисельність персоналу

Персонал	Чисельність персоналу, чол.	У т.ч за розрядами						У т.ч. за змінами	
		I	II	III	IV	V	VI	I	II
1. Основні робітники:									
оператор установки плазмового напилення	1					1		1	
оператор установки дробоструминної обробки	1				1			1	
Всього	2				1	1		2	
2. Допоміжні робітники:									
контролер	1				1			1	
наладчик	1				1			1	
Всього	2				2			2	
3. Керівники та спеціалісти:									
майстер	1							1	
технолог	1							1	
Всього	2							2	
Разом	6							6	

6.3 Планування витрат на виробництво

У даному підрозділі розраховано заплановані матеріальні витрати на основні засоби, фонд оплати праці персоналу, складено калькуляція собівартості продукції.

6.3.1 Матеріальні витрати

Вартість основних і додаткових матеріалів розраховується на основі норм використання та цін. Крім того, необхідно враховувати транспортно-заготівельні витрати (5-7% від вартості матеріалів), та вартість оборотних відходів.

До додаткових матеріалів слід віднести ті матеріали, які споживаються для здійснення технологічного процесу плазмового напилення.

Розрахунок вартості додаткових матеріалів наведений в таблиці 6.7. Розрахунок вартості комплектуючих матеріалів наведений в таблиці 6.8.

Таблиця 6.7 – Розрахунок вартості додаткових матеріалів для наплення

Найменування матеріалу, марка, ГОСТ, розмір	Норма витрат		Ціна за 1 кг матеріалу, грн.	Вартість на програму, грн.
	На одиницю	На програму		
Порошок ПВ-Н70Ю30	0,09 кг	90 кг	890	80100
Порошок ПГ-Ю10Н	0,09 кг	90 кг	1100	99000
Порошок ПЦПК63-Н30	0,09 кг	90 кг	750	67500
Захисний газ, Ar, ДСТУ ISO 14175-2010	500 л	500000 л	0,1	50000
Всього	-	-	-	296600

Таблиця 6.8 – Розрахунок вартості купівельних комплектуючих виробів та напівфабрикатів

Найменування купівельних комплектуючих виробів та напівфабрикатів	Кількість у виробі, одиниць	Вартість за один., грн.	Річна кількість комплектуючих виробів та напівфабрикатів	Річна вартість комплектуючих х з урахуванням транспортно-заготівельних витрат, грн.
Струмоведучий наконечник	0,05	100	375	39500
Змінне сопло	0,009	300	68	21500
Всього	-	-	-	61000

6.3.2 Вартість основних засобів

Вартість основних виробничих фондів передбачає такі розрахунки:

- вартість будівель визначається на основі розрахункової загальної площі (план ділянки) та вартості 1 м² будівель, 500 – 4000 грн. за 1 м²;

$$B_{\text{буд}} = 108 \cdot 4000 = 432000 \text{ грн.} \quad (6.6)$$

- вартість споруд складає 5% вартості будівель;

$$B_{\text{буд}} = 432000 \cdot 0,05 = 21600 \text{ грн.} \quad (6.7)$$

- вартість обладнання (приведена в табл. 6.9) з урахуванням транспортно-заготівельних витрат і монтажу (10-15%);

- вартість цінних інструментів, приладів, інвентарів (3-5% балансової вартості обладнання);

- вартість транспортних засобів (3% балансової вартості обладнання).

Таблиця 6.9 – Розрахункова вартість обладнання

Найменування обладнання	Ціна за одиницю, грн.	Кількість одиниць	Балансова вартість, грн.
Установка дробоструминної обробки	250000	1	275000
Джерело живлення для плазмового напилення	400000	1	440000
Робот FANUC M-16iB	540000	1	594000
Маніпулятор	320000	1	352000
Всього	1510000	4	1661000

Розрахунок вартості основних засобів, амортизаційних відрахувань, структури основних засобів наведено в табл. 6.10.

Таблиця 6.10 – Вартість основних засобів

Найменування основних засобів	Балансова вартість, тис. грн.	Структура, %	Термін експлуатації, років	Амортизаційні відрахування, грн.
Виробничі будівлі	432	12,6	45	9600
Споруди	21,6	0,6	30	720
Обладнання	1661	80,3	20	83050
Транспортні засоби	49,83	2,4	15	3322
Цінні інструменти, прилади, інвентар	83,05	4,1	5	16610
Всього	2247,48	100	-	113302

6.3.3 Розрахунок фонду оплати праці

Сума заробітної плати, яка виплачується працівникам підприємства, формує фонд оплати праці. Фонд заробітної плати розраховується за прийнятими формами і системами оплати праці. Оплата праці основних робітників здійснюється за відрядно-преміальною формою оплати праці; допоміжних робітників – за почасово-преміальною формою оплати праці; керівників та спеціалістів – по штатно-окладною формою оплати праці.

Плановані доплати і премії для робітників приймаємо в розмірі 50% від тарифної заробітної плати. Премії з прибутку складають для робітників – 15% до тарифної заробітної плати, для керівників і фахівців – 40%.

Розраховуємо тарифний фонд заробітної плати основних робітників за формулою:

$$З_{\text{тар}} = N \sum_{i=1}^m P_i \quad (6.8)$$

де m – кількість операцій технологічного процесу;

P_i – розцінка на i -ту операцію, грн.;

N – річна виробнича програма виробів, одиниць.

Розцінка на операцію розраховується за формулою:

$$P_i = C_i t_i \quad (6.9)$$

де C_i – часова тарифна ставка i -того розряду, грн.;

t_i – норма часу на i -ту операцію, н-годин.

Розрахунок за операціями наведено в табл. 6.9 та табл. 6.10

Таблиця 6.11 – Розрахунок розцінки за операціями за базовою технологією

Найменування операції	Норма часу, н-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Розцінка, грн.
Дробоструминна обробка	0,50	V	60	30
Плазмове напилення	2,5	VI	75	187,5
Всього	0,51	-	-	217,5

Таблиця 6.12 – Розрахунок розцінки за операціями за новою технологією

Найменування операції	Норма часу, н- годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Розцінка, грн.
Дробоструминна обробка	0,50	V	60	30
Плазмове напилення	1,30	VI	75	97,5
Всього	0,46	-	-	127,5

Тарифний фонд заробітної плати основних виробничих робітників за базовою технологією ($З_{\text{осн.б}}^{\text{тар.}}$) і новою технологією ($З_{\text{осн.н}}^{\text{тар.}}$) розраховується за формулою:

$$З_{\text{осн.б}}^{\text{тар.}} = З_{\text{тар}} = N \sum_{i=1}^m P_i \quad (6.10)$$

$$З_{\text{осн.н}}^{\text{тар.}} = З_{\text{тар}} = N \sum_{i=1}^m P_i \quad (6.11)$$

Основний фонд заробітної плати допоміжних робітників, які знаходяться на погодинній оплаті праці, розраховується по формулі:

$$З_{\text{погод.}} = C_1 \cdot K_{\text{тар.сер.}} \cdot F_{\text{др}} \cdot R_{\text{доп}} \quad (6.12)$$

де C_1 – часова тарифна ставка 1-го розряду;

$R_{\text{доп}}$ – чисельність допоміжних робітників, осіб;

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

$$K_{\text{тар.сер.}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_i \cdot R_{\text{доп.}i}}{R_{\text{доп}}} \quad (6.13)$$

де m – кількість розрядів допоміжних робітників;

K_i – тарифний коефіцієнт i -того розряду;

$R_{\text{доп.}i}$ – кількість допоміжних робітників i -го розряду.

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

$$З_{\text{погод.}} = 30 \cdot 1,5 \cdot 1830,4 \cdot 2 = 164736 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальне страхування розраховується відповідно до чинного законодавства – 22 % від фонду оплати праці.

Річний фонд заробітної плати ІТР приведений в табл. 6.13.

Таблиця 6.13 – Розрахунок фондів заробітної плати ІТР

Посада	Чисельність, чол.	Місячний оклад, грн.	Річний фонд, грн.
1. Майстер	1	8000	96000
2. Технолог	1	6500	78000
Всього	2	-	174000

Фонд оплати праці наведено в табл. 6.14.

Таблиця 6.14 – Фонд оплати праці

Категорія персоналу	Чисельність персоналу, осіб	Фонд заробітної плати, грн.			Премія з прибутку, грн.	Фонд оплати праці, грн.	Середня заробітна плата на місяць, грн.	Відрахування до єдиного соц. внеску, грн.
		Основна заробітна плата	Додаткова заробітна плата	Усього				
Основні виробничі робітники	2	127500	63750	191250	19125	210375	8766	46283
Допоміжні робітники	2	164736	82368	247104	37065	284169	11840	62517
Майстер	1	96000	48000	144000	38400	182400	15200	40128
Технолог	1	78000	39000	117000	31200	148200	12350	32604
Усього	6	466236	233118	699354	125790	825144	12039	181532

6.3.4 Собівартість виробу

Собівартість виробу визначається усіма витратами дільниці за такими статтями прямих і непрямих витрат.

6.3.4.1 Прямі витрати

1. Основні та допоміжні матеріали – 296600 грн. (табл. 6.7);
2. Купівельні комплектуючі вироби та напівфабрикати – 61000 грн. (табл. 6.8);
3. Основна заробітна плата основних робітників – 127500 грн. (табл. 6.14);
4. Додаткова заробітна плата основних робітників – 63750 грн. (табл. 6.14);
5. Відрахування до єдиного соціального внеску – 46283 грн. (табл. 6.14);
6. Паливо та енергія на технологічні цілі – 365236 грн.

В статтю 6 має бути включено розрахунок вартості палива та енергії на здійснення технологічного процесу, виходячи із норм витрат та витрат за одиницю енергоносіїв.

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$З = Sk \cdot W \quad (6.14)$$

де $Sk = 2,68$ грн. – вартість 1 кВт електроенергії;

W - річні витрати електроенергії яка споживається обладнанням

$$W = \sum P_d \cdot F_{до} \cdot \eta_s \quad (6.15)$$

де $\sum P_d = 91$ кВт - сумарна потужність двигунів;

$F_{до}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання;

$\eta_s = 0,8$ - коефіцієнт завантаження обладнання по потужності.

$$W = 91 \cdot 1872 \cdot 0,8 = 136282 \text{ кВт} \cdot \text{годин}$$

$$З = 2,68 \cdot 136282 = 365236 \text{ грн.}$$

6.3.4.2 Непрямі витрати

Непрямі витрати є комплексними і містять декілька статей витрат, кожна з яких в свою чергу розраховується за відповідними статтями.

Непрямі витрати вміщують наступні статті:

- загальновиробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- витрати на збут.

Загальновиробничі витрати розраховуються за наступними статтями витрат.

Стаття «Утримання та експлуатація машин і обладнання» (300% від фонду заробітної плати основних робітників).

Розмір витрат на утримання та експлуатацію обладнання, що припадає на одиницю виробу розраховуються за формулою 5.16.

$$ВУ_i = \frac{L}{100} \cdot \text{ФОП}_{\text{оср}} = \frac{300}{100} \cdot 210375 = 631125 \text{ грн} \quad (6.16)$$

де $\text{ФОП}_{\text{оср}}$ – фонд оплати плаці основних робітників, грн

Стаття «Загальновиробничі витрати» – це витрати на управління в межах цеху (400% від фонду заробітної плати основних робітників).

Загальновиробничі витрати розподіляють на собівартість одиниці продукції пропорційно основній заробітній платі виробничих робітників.

$$ЗВ_i = \frac{L}{100} \cdot З_{oi} = \frac{400}{100} \cdot 210375 = 841500 \text{ грн} \quad (6.17)$$

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 250% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$АВ_i = \frac{L}{100} \cdot З_{oi} = \frac{250}{100} \cdot 210375 = 525938 \text{ грн.} \quad (6.18)$$

$$L = 250 \%$$

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості.

Таблиця 6.15 – Калькуляція собівартості наплення

Стаття витрат	Нова технологія		Базова технологія	
	всього витрат, грн.	на одиницю, грн.	всього витрат, грн.	на одиницю, грн.
1	2	3	4	5
1. Основні та допоміжні матеріали	296600	296,6	296600	296,6
2. Основна заробітна плата основних робітників	127500	127,5	217500	217,5
3. Додаткова заробітна плата основних робітників	63750	63,75	108750	108,75
4. Відрахування на соціальні заходи	46283	46,28	78953	78,95
5. Паливо і енергія на технологічні цілі	365236	365,24	365236	365,24
6. Утримання та експлуатація машин і обладнання	631125	631,13	1076725	1076,73
7. Загальновиробничі витрати	841500	841,50	1435500	1435,5
8. Виробнича собівартість	2371994	2371,99	3579264	3579,26
9. Адміністративні витрати	525938	525,94	897187	897,19
10. Витрати на збут	47440	47,44	71585	71,59
11. Повна собівартість	2945372	2945,37	4548036	4548,04

6.4 Економічне обґрунтування запропонованих розробок

В даному розділі необхідно розрахувати річний економічний ефект, який можливо отримати при виробництві виробів на спеціалізованій дільниці по запропонованому технологічному процесу в порівнянні з виробництвом цих же виробів на діючому підприємстві. Крім цього необхідно оцінити ефективність і результативність діяльності виробничої дільниці або потокової лінії; розрахувати беззбитковість виробництва, побудувати графік беззбитковості.

6.4.1 Розрахунок економічного ефекту

Порівняльна економічна ефективність полягає у визначенні найбільш економічного варіанта рішення господарської задачі. Показниками порівняльної економічної ефективності є: сума приведених витрат, сума ефекту за розрахунковий рік.

Показник приведених витрат:

$$Z = Ci + E_n \cdot Ki \quad (6.19)$$

Показник приведених витрат за проектною технологією:

$$Z_2 = 2945372 + 0,15 \cdot 631125 = 3040041 \text{ грн.}$$

Показник приведених витрат за базовою технологією:

$$Z_1 = 4548036 + 0,15 \cdot 1076725 = 4709545 \text{ грн.}$$

де C_i – поточні витрати (повна собівартість) за i -тим проектом, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень;

K_i – капітальні вкладення за i -тим проектом, грн.

Економічний ефект за розрахунковий рік:

$$E = Z_1 - Z_2 \quad (6.20)$$

$$E = 4709545 - 3040041 = 1669504 \text{ грн.}$$

6.4.2 Ефективність та результативність

Оцінку ефективності та результативності діяльності можна здійснити за показниками:

1. Річний випуск виробів

- в натуральному вимірі, одиниць;
- за трудомісткістю, нормо-годин;
- в грошовому виміру, грн.;

2. Виробнича площа ділянки, m^2 ;

3. Вартість основних засобів, грн.;

4. Спискова чисельність персоналу усього, осіб

в тому числі:

- основні робітники
- допоміжні робітники
- керівники і спеціалісти

5. Фонд оплати праці, грн.;

6. Середня заробітна плата на місяць, грн.;

7. Продуктивність праці одного працівника, грн./осіб

$$ПП = \frac{C_n}{R} = \frac{2945372}{6} = 490895 \text{ грн./осіб} \quad (6.21)$$

де C_n – повна собівартість виробів за рік, грн.;

R – чисельність персоналу, осіб;

8. Фондовіддача, грн./грн.

$$f = \frac{C_n}{\Phi_{\text{осн}}} = \frac{2945372}{2247480} = 1,31 \text{ грн./грн.} \quad (6.22)$$

де $\Phi_{\text{осн}}$ – основний капітал, грн.;

9. Коефіцієнт завантаження обладнання ділянки;

10. Фондомісткість, грн./грн.

$$f' = \frac{\Phi_{\text{осн}}}{C_n} = \frac{2247480}{2945372} = 0,76 \text{ грн./грн.} \quad (6.23)$$

11. Собівартість одиниці продукції, грн.;

12. Економічний ефект за розрахунковий рік, грн.;

Розрахунок показників ефективності та результативності наведений в табл. 6.16.

Таблиця 6.16 – Показники ефективності та результативності

Найменування показника	Значення показника
1. Річний випуск виробів:	
- в натуральному вимірі, одиниць	1000
- за трудомісткістю, нормо-годин	2400
- в грошовому виміру, грн.	2945372
2. Виробнича площа дільниці, м ²	108
3. Вартість основних засобів, грн.	2247480
4. Спискова чисельність персоналу усього, осіб:	
- основні робітники	2
-допоміжні робітники	2
- керівники і спеціалісти	2
5. Фонд оплати праці, грн.	825144
6. Середня заробітна плата на місяць, грн.	12039
7. Продуктивність праці одного працівника, грн./осіб	490895
8. Фондовіддача	1,31
9. Коефіцієнт завантаження обладнання дільниці	2,34
10. Фондомісткість	0,76
11. Собівартість одиниці продукції, грн.	2945,37
12. Економічний ефект за розрахунковий рік, грн.	1669504

Отриманий економічний ефект у розмірі 1669504 грн. показує, що технологія плазмового напilenня кільця внутрішнього камери згорання ГТД, запропонована в даному дипломному проєкті економічно ефективна. Рекомендовано використовувати дану технологію у виробництві.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даному розділі розглянуті основні заходи з охорони праці при розробці технологічного процесу плазмового напилення теплозахисного покриття на кільце внутрішнієї камери згоряння ГТД.

7.1 Аналіз потенційних небезпек

а) недоліки щодо організації навчання та перевірки знань з охорони праці, проведення інструктажів та надання інформації про можливі небезпеки;

б) можливість ураження електричним струмом при виконанні частини дослідних робіт на дільниці плазмового напилення, що може бути пов'язано з порушенням правил електробезпеки, зокрема, не використанням індивідуальних та групових заходів захисту, відсутністю надійних огорожень струмоведучих частин обладнання, що може привести до електричних травм або летальних наслідків;

в) небезпеки, які пов'язані з підготовкою дослідних зразків, зокрема можливістю отримання механічних травм при використанні відрізних кругів, шліфувально-полірувальних верстатів, унаслідок порушення правил з охорони праці, зокрема невикористання спеціального одягу, використання несправного обладнання та інструменту, захаращеність робочого місця;

г) небезпеки, які пов'язані з дробоструминною обробкою, зокрема травмування органів зору при вильоті дробу в зону, де знаходиться дослідник, що може бути пов'язано з порушенням правил з охорони праці, зокрема невикористання спеціальних засобів захисту;

д) небезпеки при нанесенні покриттів на деталі методом плазмового напилення, зокрема підвищений рівень шуму при роботі плазмотрону, електроофтальмія – потужне ультрафіолетове випромінювання від плазмової дуги, інтенсивне інфрачервоне випромінювання, що може бути пов'язано з порушенням правил безпеки, не використанням індивідуальних засобів захисту та може призвести до захворювань органів слуху людини, органів зору та шкіри людини;

е) небезпеки пов'язані з виділенням у навколишнє середовище аерозолів тугоплавких матеріалів і металів у вигляді окисних і нітрідних сполук, які утворюються унаслідок конденсації парів напилюваного матеріалу та його розбризкування при потраплянні на поверхню виробу, що можуть привести до отруєння та хронічних захворювань органів дихання, внаслідок відсутності або несправності місцевої витяжної вентиляції та не використання індивідуальних засобів захисту;

ж) можливість опіку, внаслідок непередбаченого торкання нагрітих деталей;

з) небезпеки, які пов'язані з використанням ПК при обробці результатів дослідження, зокрема негативний вплив електромагнітних полів та випромінювання ПК застарілих моделей;

и) незадовільні параметри повітряного середовища на ділянці та дослідницькому приміщенні. Причинами цього є незадовільна робота системи опалення й кондиціювання, що може привести до зниження працездатності й загальних захворювань;

к) незадовільне освітлення виробничих зон на ділянці напилення, внаслідок виходу з ладу або забрудненості освітлювальних приладів, що може призвести до погіршення зору або механічних травм;

л) можливість загорання ділянки напилення, внаслідок порушення правил пожежної безпеки, порушень технологічного процесу, що може призвести до пожежі;

м) неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій різного характеру, причинами яких є невідповідність персоналу до дій в умовах НС, низька ефективність управління в цих умовах, що може призвести до тяжких травм або летального наслідку;

7.2 Заходи забезпечення безпеки

а) основним нормативним актом, що встановлює порядок та види навчання, а також форми перевірки знань з охорони праці є «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці - НПАОП 0.00-4.12-05 (Наказ Державного комітету України по контролю за охороною праці від 26.01.2005 №15). Цей нормативний документ спрямований на реалізацію в Україні системи безперервного навчання з питань охорони праці, яка проводиться з працівниками в процесі трудової діяльності.

Всі працівники, що приймаються на роботу, а також в період роботи проходять на підприємстві навчання, інструктажі з питань: охорони праці; надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків; правила поведінки при виникненні аварій.

На роботах з підвищеною небезпекою відповідно до НПАОП 0.00-2.24-05 «Перелік робіт з підвищеною небезпекою» або у разі необхідності професійного відбору, працівники проходять попереднє спеціальне навчання (не менше 30 навчальних годин) і перевірку знань з питань ОП не рідше одного разу на рік.

Інші посадові особи і фахівці, при прийомі на роботу, а також періодично один раз на три роки, проходять навчання (не менше 20 навчальних годин), і перевірку знань питань ОП.

б) для виключення можливості враження електричним струмом, передбачено проведення навчання з електробезпеки, атестації на відповідну

групу електробезпеки та отриманням посвідчення встановленого зразку, відповідно НПАОП 0.00.4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», проводити періодичний контроль ізоляції не рідше одного разу на рік виміром її активного опору при випробуванні підвищеною напругою протягом 1 хвилини.

При плазмовому напиленні в дослідницькій лабораторії обладнання повинне відповідати правилам ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок», де передбачено:

- струмовідні частини електроустановки, не повинні бути доступними для випадкового прямого дотику до них, а доступні для дотику відкриті і сторонні провідні частини не повинні перебувати під напругою, що становить небезпеку ураження електричним струмом, як у нормальному режимі роботи електроустановки, так і в разі пошкодження ізоляції;

- для запобігання ураженню електричним струмом у випадку пошкодження ізоляції слід застосовувати окремо або в поєднанні такі заходи захисту в разі непрямого дотику: захисне заземлення; автоматичне вимикання живлення; зрівнювання потенціалів; обладнання класу II або з рівноцінною ізоляцією; захисний електричний поділ кіл; ізолювальні (непровідні) приміщення, зони, площадки; системи наднизької (малої) напруги; вирівнювання потенціалів;

- розміщення обладнання установки для напилення, її вузлів та механізмів, а також органів керування повинно забезпечувати вільний, зручний та безпечний доступ до них. Окрім того, розташування органів керування повинно забезпечувати можливість швидкого вимикання обладнання та зупинення всіх його механізмів;

- в) для виключення отримання механічних травм повинне бути передбачене проведення усіх необхідних інструктажів з охорони праці, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Дослідник повинен бути забезпеченні спеціальним одягом та індивідуальними захисними засобами відповідно до ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты рук и ног. Классификация», або груповими засобами захисту згідно з ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ «Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация», до яких відносять брезентові захисні костюми, рукавиці брезентові, спеціальне взуття із захисними носками, щітки захисні або окуляри.

До порізки зразків абразивними колами допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли необхідні інструктажі з охорони праці і отримали допуск до самостійної роботи. При роботі з абразивними колами категорично забороняється:

- використовувати не за призначенням абразивні кола та інструмент;
- працювати без належного захисного одягу та обладнання;
- забороняється використовувати пошкоджені абразивні круги.

Отримання механічних травм найчастіше відбувається внаслідок захаращеності робочої ділянки та порушень правил експлуатації машин та механізмів. В зв'язку з цим обов'язковим є щоденний контроль за станом робочої зони зі сторони керівництва відповідно до ДСТУ 3273-95 «Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги»;

г) для виключення отримання механічних травм органів зору пов'язаних з використанням обладнання дробоструминної обробки, дослідник повинен виконувати положення інструкції підприємства ОГТ 3525-2001, у яких передбачено використання спеціальних засобів захисту зору, зокрема захисних щитків або окулярів ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».

д) для мінімізації негативного впливу підвищеного шуму при нанесенні покриттів плазмовим методом необхідно:

- використовувати антифони (типу ВЦНИИОТ) ГОСТ 12.4.051-87 «Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические

требования», які захищають слухові органи людини і в той же час дозволяють чути розмовну мову;

- стіни робочого приміщення, де розташовується установка плазмового напилення повинні бути покриті звукоізолюючим та звукопоглинаючим матеріалом (наприклад, гіпсова акустична плитка або плитка типу акмігран);

З огляду на те що, плазмова дуга – є інтенсивним джерелом світлового, ультрафіолетового, інфрачервоного випромінювання. Для захисту від шкідливого впливу променевої енергії необхідно:

- для захисту зору та лиця необхідно використовувати зварювальні маски або щитки зі світлофільтрами Э-200, Э-300, Э-400 згідно ДСТУ 2456-94 «Зварювання дугове. Вимоги безпеки». Крім того, рекомендується користуватися окулярами зі світлофільтрами типу В-2, В-3 для краточасної роботи без маски (при запалюванні дуги, перевірці режиму роботи розпилювача).

- стіни приміщення, де знаходиться установка плазмового напилення повинні бути окрашені у матовий колір для запобігання потрапляння бліків у очі;

- для захисту шкіри від впливу інтенсивного інфрачервоного випромінювання необхідно використовувати захисні костюми згідно ГОСТ 12.4.045-87 «Костюмы для защиты от повышенных температур. Технические условия».

е) для захисту органів дихання необхідно видаляти аерозолі тугоплавких матеріалів і металів у вигляді окисних і нітрідних сполук (які виділяються у навколишнє середовище при напиленні) з робочого простору оператора установки плазмового напилення за допомогою:

- використання місцевої витяжної вентиляції в режимі витоку, зі швидкістю руху повітря у робочому прорізі витяжної шафи не менш ніж 1,5 м/с;

- використання індивідуальних засобів захисту – респіраторів згідно з ГОСТ 12.4.028-76 «Система безопасности труда. Респираторы ШБ-1 «Лепесток»»

ж) для виключення термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту, зокрема брезентових рукавиць ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия».

з) загальні вимоги до техніки безпеки при роботі на комп'ютері. Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги до відео дисплейних терміналів, персональних електророзрахункових машин і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі за комп'ютером шкідливими чинниками є:

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- наявність потужних іонізуючих випромінювань;
- локальне стомлення, загальна втома;
- стомлюваність очей;
- небезпека ураження електричним струмом;
- пожежонебезпека

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи з комп'ютером повинні встановлюватися регламентовані перерви. Перед початком роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають антиблокове покриття з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння та неіонізуючих випромінювань.

Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера відстань між стіною з віконними прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташовувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинна бути не менше ніж 1,2 м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої стінки комп'ютера. Оптимальними параметрами температури в кабінеті є 19-21, допустимими 18-22, відносна вологість повітря 62-55 %.

У приміщенні слід здійснювати наскрізне провітрювання для поліпшення якісного складу повітря, щодня проводити вологе прибирання.

Для зволоження повітря слід використовувати зволожувачі. У приміщенні повинно бути штучне і природне освітлення. Основний потік природного світла повинне бути ліворуч, не допускається праворуч, ззаду і спереду працює на комп'ютері, на вікнах повинні бути завіси в два рази більше ширини вікна. Забороняється застосування для вікон чорні завіси. Приміщення, де знаходиться комп'ютери відноситься до пожежонебезпечного приміщення категорії «Б», тому необхідно мати вуглекислотний вогнегасник типу ВВК-5 і вміти ним користуватися.

Звернути увагу на заземлення, тому що в комп'ютері використовуються мікросхеми, чутливі до статичної електрики. Звернути особливу увагу на цілісність ізоляції всіх кабелів та роз'ємів, щоб не виявити несподівано під напругою щодо землі. Забороняється самостійно відкрити комп'ютера, з-за високої напруги всередині. Виключається робота з комп'ютером і його периферійними пристроями з відкритим корпусом, самостійно перемикає силові та інтерфейсні кабелі, проливати рідини і т.д. Робоче місце працюючого на комп'ютері передбачено обладнати спеціальними меблями; обертовим стільцем із змінною висотою сидіння і кута нахилу спинки. При роботі на комп'ютері працюючий повинен бути уважним, не відволікатися на побудову справи.

Під час роботи комп'ютера забороняється:

- залишати комп'ютер без нагляду;

- проводити ремонт;
- знімати корпус з комп'ютера

Тривалість безперервної роботи з комп'ютером без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 годин. Під час регламентованої перерви з метою зниження нервно-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання розвитку втоми доцільно виконувати комплекси вправ. Рівень шуму в приміщенні під час роботи комп'ютерів не повинен перевищувати 50 дБА. Конструкція відео монітора повинна передбачати заходи, що забезпечують хорошу розбірливість зображення, незалежну від зовнішнього освітлення.

Категорично забороняється використання на робочому місці електронагрівальних приладів з відкритим елементом, відкритим вогнем.

Користування електронагрівальними приладами з закритими нагрівальними елементами дозволяється тільки у спеціально відведених для цього місцях.

Недотримання вимог до мікроклімату приміщення може не тільки різко знижувати продуктивність праці, викликати втрати робочого часу через збільшення числа помилок у роботі, але і приводити до функціональних розладів або хронічних захворювань органів дихання, нервової та імунної системи.

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

и) для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища згідно ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки праці. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» на ділянці наплення, окрім місцевої вентиляції повинно бути передбачено влаштування загальнообмінної вентиляції згідно ДСТУ 12.4.021-75 «Система стандартів

безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования», та системи водяного або парового опалення згідно СНиП 2.04.05-91 «Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование».

При плазмовому напиленні покриттів у робочу зону оператору установки здійснюється виділення шкідливих речовин, концентрація яких значно перевищує допустимі норми згідно ГОСТ12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» (діоксид кремнію SiO_2 у вигляді аерозолу конденсації – 2 мг/м^3 , оксид хрому Cr_2O_3 – 1 мг/м^3), тому необхідно розрахувати продуктивність місцевої витяжної вентиляції L_m (витяжного зонту):

$$L_m = a \cdot b \cdot V \cdot 3600 = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 1,5 \cdot 3600 = 2025 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad (7.1)$$

де a та b – розміри зонту в плані м, $a \times b = 0,375 \text{ м}^2$;

V – швидкість руху повітря, яке відсмоктується, в площині перерізу по кромці зонту, $V = 1,5 \text{ м/с}$

к) Згідно з державними будівельними нормами ДБН В.2.5-28:2016 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» на ділянці плазмового напилення необхідно здійснити належне освітлення робочих місць робітників.

Роботи на ділянці плазмового напилення покриттів слід відносити до II (роботи високої точності) та III (точні роботи) розрядам. На ділянці допускається природне, штучне та змішане освітлення. Природне освітлення може бути боковим, одностороннім та двостороннім верхнім. Коефіцієнт природної освітленості при верхньому та комбінованому освітленні повинен складати не менш ніж 5 %, при боковому не менше 15 %.

Штучна освітленість на робочому місці при системі комбінованого освітлення допускається не менше ніж 400 лк, при системі загального освітлення – не менше 150 лк.

У приміщенні для плазмового нанесення покриттів повинно бути передбачено аварійне освітлення, яке забезпечує продовження роботи при освітленості не менш ніж 10 % норми загального освітлення, а у проходах – не менше 0,3 лк.

7.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

7.4.1 Заходи по забезпеченню пожежної безпеки

л) Причинами пожежі при напиленні можуть бути іскри та краплі розплавленого металу, необережне ставлення до газових балонів. Основні вимоги пожежної безпеки викладено в «Правилах пожежної безпеки при проведенні зварювальних та інших вогневих робіт на об'єктах народного господарства». Для попередження пожег персонал дільниці повинен виконувати наступні правила:

- проходити регулярні інструктажі пожежно-технічного мінімуму та правилам безпечної роботи;
- суворо дотримуватися правил пожежної безпеки, чистоти та порядку на робочому місці;
- слідкувати за встановленням захисних огорожень;
- правильно експлуатувати газові балони та інше обладнання;
- слідкувати за справністю системи електроживлення;
- не загороджувати проїзди та проходи, а також підступи до засобів пожежогасіння;
- забороняється користуватися відкритим вогнем;
- паління дозволяється лише у спеціально відведених місцях

Місця, де виконується напилення, мають бути оснащені вуглекислотними вогнегасниками типу ВВК-5, ящиками з піском, лопатами та совками, бочками

чи відрами з водою. Дерев'яні конструкції, розташовані ближче 5 м від установки плазмового напилення, обштукатурюють або оббивають листовим азбестом чи листовою сталлю по повсті, змоченій в глинистому розчині. В зоні попадання бризок металу та іскор не має бути займистих предметів. Легкозаймисті та вибухонебезпечні матеріали повинні бути на відстані не менш як 30 м від місця напилення. Дерев'яні підлоги, настили, помости при потребі захищають від іскор і крапель розплавленого металу листами азбесту чи заліза.

Перед початком роботи оператору плазмової установки потрібно перевірити справність напилювальної апаратури, підготовленість робочого місця в протипожежному відношенні: наявність засобів пожежогасіння, внутрішніх пожежних кранів, піску, вогнегасників. Якщо робоче місце не підготовлене, до роботи приступати не можна.

Особи, які не здали випробування з напилювальних робіт, а також що не пройшли попередню перевірку знань правил пожежної безпеки, до виконання робіт, навіть тимчасових, не допускаються.

7.4.2 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Одним з основних заходів у сфері захисту населення і територій від НС техногенного та природного характеру є проведення евакуаційних заходів.

Постановою КМ України № 1432 від 26.10. 2001 року затверджено Положення про порядок проведення евакуації населення у разі загрози або виникнення НС природного та техногенного характеру.

Евакуація – комплекс заходів щодо організованого вивезення (виведення) населення з районів (місць) зон можливого впливу наслідків НС і розміщення його у безпечних районів (місцях) у разі виникнення безпосередньої загрози життю та заподіяння шкоди здоров'ю людей.

Залежно від обстановки, яка склалася на час НС техногенного та природного характеру, може бути проведено загальну або часткову евакуацію населення тимчасового або безповоротного характеру.

Загальна евакуація – комплекс заходів, що здійснюється для всіх категорій населення в окремих регіонах держави у разі виникнення НС техногенного та природного характеру. Вона проводиться шляхом вивезення основної частини населення з міст і небезпечних районів усіма видами наявних транспортних засобів на відповідній адміністративній території та виведення найбільш витривалої його частини пішки.

Часткова евакуація – комплекс заходів, що здійснюється для захисту окремих категорій населення у разі виникнення НС техногенного та природного характеру. Вона проводиться завчасно для визначених категорій: студентів, учнів, вихованців дитячих будинків разом з викладачами, пенсіонерів та інвалідів, з обслуговуючим персоналом і членами їх сімей, а також хворих разом з лікувальними закладами і їх персоналом. Вона проводиться з використанням транспортних засобів за графіком.

Залежно від масштабів і особливостей надзвичайних ситуацій рішення про проведення евакуації населення приймають:

- на загальнодержавному рівні – Кабінет Міністрів України;
- на регіональному рівні – голова ОДА;
- на міському рівні – голова Київської держадміністрації, голова РДА;
- на об'єктовому рівні – керівник об'єкту.

Порядок проведення евакуації

З отриманням рішення (сигналу) про проведення евакуації евакуаційні комісії уточнюють завдання керівникам об'єктів щодо проведення евакуаційних заходів, контролюють стан оповіщення населення, його збору, формування колон (через начальників маршрутів), забезпечують переміщення їх до пунктів евакуації, а також разом з транспортними службами - готовність транспортних засобів до перевезень, уточнюють порядок їх використання, підтримують

постійний зв'язок з начальниками маршрутів та з органами виконавчої влади безпечних районів, інформують їх про хід евакуації.

У райони розміщення евакуаційних органів та населення, яке підлягає евакуації, направляються представники евакуаційних комісій для вирішення питань приймання, розміщення і життєзабезпечення евакуйованого населення.

Об'єктові евакуаційні комісії:

- організовують оповіщення, реєстрацію та облік населення, уточнюють дані про транспортні засоби, що виділяються об'єктові, термін їх подачі, маршрути та порядок руху;
- видають начальникам піших і транспортних колон витяги із схем маршрутів, забезпечують засобами зв'язку та інструктують їх;
- організовують і контролюють посадку евакуйованого населення на транспортні засоби і відправку колон;
- надають необхідну інформацію органам виконавчої влади у безпечних районах;
- інформують районні евакуаційні комісії про хід евакуації.

Керівники житлово-експлуатаційних організацій здійснюють оповіщення непрацюючого населення про порядок проведення евакуації, разом з працівниками органів внутрішніх справ та охорони здоров'я забезпечують прибуття на збірні евакуаційні пункти громадян, які з поважних причин не можуть самостійно прибути на ці пункти.

Начальники збірних евакуаційних пунктів уточнюють з керівниками підприємств та організацій чисельність евакуйованого населення і порядок його відправлення, організовують реєстрацію та облік населення, формують піші і транспортні колони, здійснюють посадку населення на транспортні засоби, доповідають евакуаційній комісії району, міста, району у місті про його відправлення та інструктують начальників ешелонів і старших колон, організовують надання медичної допомоги евакуйованому населенню, охорону громадського порядку.

Евакуація особового складу збірних евакуаційних пунктів організовується після проведення евакуаційних заходів згідно з окремим рішенням керівника відповідного органу виконавчої влади.

Керівник органу виконавчої влади і евакуаційна комісія безпечного району, організовують підготовку пунктів висадки, розгортають приймальний евакуаційний пункт, уточнюють кількість прибулих і порядок подачі транспортних засобів для їх вивезення з пунктів висадки, а також з проміжних пунктів евакуації до пунктів розміщення, контролюють роботу керівників об'єктів безпечних районів з прийому і розміщення евакуйованого населення.

У разі оголошення евакуації громадяни самостійно на міських транспортних засобах, які у цей період працюють цілодобово, прибувають на збірні евакуаційні пункти. Працівники цих пунктів розподіляють громадян, які підлягають евакуації, за транспортними засобами, інструктують їх і забезпечують посадку на транспортні засоби.

У разі виникнення аварії на хімічно або радіаційно небезпечному об'єкті евакуація населення проводиться у два етапи:

- перший - від місця знаходження людей до межі зони забруднення;
- другий - від межі зони забруднення до пункту розміщення евакуйованого населення в безпечних районах. На межі зони забруднення в проміжному пункті евакуації здійснюється пересадка евакуйованого населення з транспортного засобу, який рухався забрудненою місцевістю, на незабруднений транспортний засіб.

Забруднений транспортний засіб використовується для перевезення населення тільки забрудненою місцевістю.

Евакуація населення із зон можливого катастрофічного затоплення проводиться у першу чергу з населених пунктів, що знаходяться поблизу гребель, хвиля прориву яких може досягнути зазначених населених пунктів протягом менше ніж 4 годин, а з інших населених пунктів - за наявності безпосередньої загрози їх затоплення.

Інформаційне забезпечення евакуйованого населення про порядок дій у різних ситуаціях та про оперативну обстановку здійснюється уповноваженим органом управління з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи і евакуаційним органом з використанням для цього системи оповіщення, засобів радіомовлення і телебачення та із залученням у разі потреби сил і засобів органів МВС.

Евакуйовані громадяни повинні мати при собі паспорт, військовий квиток, документ про освіту, трудову книжку або пенсійне посвідчення, свідоцтво про народження, гроші і цінності, продукти харчування і воду на 3 доби, постільну білизну, необхідний одяг і взуття загальною вагою не більш як 50 кілограмів на кожного члена сім'ї. Дітям дошкільного віку вкладається у кишеню або пришивається до одягу записка, де зазначається прізвище, ім'я та по батькові, домашня адреса, а також ім'я та по батькові матері і батька.

Евакуйоване населення розміщується у придатних для проживання будівлях, які в зимовий період опалюються.

Методичне забезпечення планування та проведення евакуаційних заходів здійснюється МНС.

Таким чином найбільш важливими заходами з охорони праці є:

Для виключення можливості враження електричним струмом, передбачено проведення навчання з електробезпеки, атестації на відповідну групу електробезпеки та отриманням посвідчення встановленого зразку, відповідно НПАОП 0.00.4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», проводити періодичний контроль ізоляції не рідше одного разу на рік виміром її активного опору при випробуванні підвищеною напругою протягом 1 хвилини.

Для попередження пожег персонал дільниці повинен виконувати наступні правила:

- проходити регулярні інструктажі пожежно-технічного мінімуму та правилам безпечної роботи;

- суворо дотримуватися правил пожежної безпеки, чистоти та порядку на робочому місці;

- слідувати за встановленням захисних огорожень;

- правильно експлуатувати газові балони та інше обладнання;

- слідувати за справністю системи електроживлення;

- не загороджувати проїзди та проходи, а також підступи до засобів пожежогасіння;

- забороняється користуватися відкритим вогнем;

- паління дозволяється лише у спеціально відведених місцях.

ВИСНОВКИ

В дипломному проєкті розроблялась технологія плазмового напилення теплозахисного покриття ТЗП-3 на кільце внутрішньої камери згоряння ГТД, з проєктування ділянки для напилення.

Визначено залежність міцності зчеплення покриття з основою від параметрів режиму плазмового напилення, обранні оптимальні режиму для отримання необхідної міцності зчеплення.

Базовою технологією нанесення теплозахисного покриття на кільце внутрішньої на підприємстві АТ «Мотор Січ» застосовується універсальна установка плазмового напилення типу УПУ-8М.

Для збільшення продуктивності і якості напилюваних деталей пропонується дану установку замінити на роботизований комплекс на базі робота FANUC.

Для роботизованого напилення була спроектована установка до складу якої входить: шестиосовий робот FANUC M-16iB, плазмотрон 9MB та джерела живлення iPS-80 PowerArc. Для обертання кільця внутрішнього в процесі напилення використовується маніпулятор. Все обладнання зібрано в цілісну установку.

На підставі розробленої технології складена маршрутна карта і спроектована ділянка для напилення.

Техніко-економічні розрахунки показали, що використання запропонованої технології напилення дозволить отримати економічний ефект у розмірі 1669504 грн.

В проєкті передбачені заходи по охороні праці для забезпечення безпеки робітників при роботі на ділянці напилення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мубояджян С.А., Егорова Л.П., Горлов Д.С., Косьмин А.А. Теплозащитные покрытия для крупногабаритных деталей горячего тракта перспективных газотурбинных двигателей [Текст] / С.А. Мубояджян, Л.П. Егорова, Д.С. Горлов, А.А. Косьмин // Авиационные материалы и технологии. – 2005. – №1 – С. 23 – 30.
2. Мубояджян С.А. Защитные покрытия для деталей горячего тракта ГТД [Текст] / С.А. Мубояджян // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2011. - №3 – С. 26 – 30.
3. Чигрин В.С. Конструкция камер сгорания и выходных устройств авиационных ГТД : учебное пособие / В. С. Чигрин, С. Е. Белова ; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Рыбинская гос. авиационная технологическая акад. им. П. А. Соловьева". - Рыбинск : Рыбинская гос. авиационная технологическая акад. им. П. А. Соловьева, 2007. - 81 с.
4. Ананьева Е.А. Разработка технологии нанесения плазменных теплозащитных покрытий на малоразмерные внутренние сложнопрофильные поверхности деталей горячего тракта ГТД: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.05 / Ананьева Екатерина Александровна. – Самара, 2007. - 176 с.
5. Барвинок В.А. Физическое и математическое моделирование процесса формирования мезоструктурно-упорядоченных плазменных покрытий / В.А. Барвинок, В.И. Богданович // Журнал технической физики. – 2012. – Том 82. – Вып. 2 – С. 105-112.
6. Коломыщев П.Т. Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов / П.Т. Коломыщев. – М.: Металлургия, 1991. – 236 с.
7. Мовчан Б.А. Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме / Б.А. Мовчан, И.С. Малащенко. – Киев: Наук.думко, 1983. – 232 с.

8. DIN EN 10095-2018. Жаростойкие стали и никелевые сплавы [Текст]. – Взамен DIN EN 10095-1995; введ. 01-12-2018. – 39 с.
9. Костиков В.И., Шестерин Ю.А. Плазменные покрытия. М.: Металлургия, 1978. 160 с.
10. Максимович Г.Г., Шатинский В.Ф., Копылов В.И. Физико-химические процессы при плазменном напылении и разрушении материалов с покрытиями. Киев: Наукова думка, 1983. 264 с.
11. Хасуи А. Наплавка и напыление [Текст]/ Хасуи А., Моригаки О. – М.: Машиностроение, 1985. - 240 с.
12. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. [Текст]/ - М.: Наука, 1977. - 183 с.
13. Шаривкер С.Ю. Прочность сцепления с основанием плазменных антифрикционных покрытий. Физика и химия обработки материалов. [Текст] / С.Ю. Шаривкер, Ю.М. Ковальчук // -1975. - №4. - С.31-36.
14. ДСТУ ISO 14175-2010. Материалы сварочные. Газы и газовые смеси для сварки плавлением и родственных процессов [Текст]. введ. 01 – 01 – 2012. – 10 с.
15. Лобанов М.Л., Юровских А.С., Кардолина Н.И. Защитные покрытия [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М.Л. Лобанов, Н.И. Кардолина, Н.Г., А.С. Юровских. - Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. - 200 с.
16. Попов В.С., Гордиенко В.Н., Стеценко А.И. Износостойкая наплавка лопаток и дымососов. – Электрические станции.-1977.-№5.-с.79-80.

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

Розроб.	Мозгова І.В.	
Перевір	Попов С.М.	
Н.конт.	Попов С.М.	
	Листів 2	Лист 1

	ГКІЮ 057222.000 ПЗ	
	ДП	

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ПОГОДЖЕНО

МАРШРУТНА КАРТА

на технологічний процес нанесення покриття ТЗП-3 на
внутрішнє кільце камери згоряння ГТД

ЗАТВЕРДЖУЮ

Нормоконтроль к.т.н., Попов С.М.

Дата 19.12.22

Впроваджено у виробництво

Акт № _____ Дата _____.

Зав. кафедрою ОТЗВ д-р техн. наук, проф. Нетребко

Дата 19.12.22

Комплект документів

відповідає

ТД

Дубл.														
Взам.														
Подл.														
											Листів 2	Лист 2		
Розроб.			Мозгова І.В.	<i>І.В. Мозгова</i>							ГКІЮ 057222.000 ПЗ			
Перевір.			Попов С.М.	<i>С.М. Попов</i>										
Н. контр.			Попов С.М.	<i>С.М. Попов</i>										
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, найменування операції					Позначення документа				
Б	Код, найменування обладнання				СМ	Проф.	Р	УТ	КОИД	ОН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт
К/М	Найменування деталі, скл. одиниці або матеріалу				Позначення, код					ППП	ОВ	ОН	КД	Н. расх
А 01	05 Дробоструминна обробка													
Б 02	Кабіна BNP-601													
О 03	Підготувати поверхню А кільця внутрішнього до напилення V 0,50													
М 04	Електрокорунд марки 14А зернистістю F20													
Р 05	P=0,4...0,5 МПа; L=90...100 мм;													
Р 06	d _{сопл.} =20 мм; α=70...90°.													
А 07	10 Плазмове напилення													
Б 08	Роботизовано установка для напилення FANUC M-16iB													
О 09	Нанести покриття ТЗП-3 на поверхню А VI 1,30													
М 10	ПВ-Н70Ю30; ПГ-Ю10Н+ +ПЦПК-63-Н30													
Р 11	I _{зв} =490...500 А; U=50...60 В;													
Р 12	Q _{Аг} =35...40 л/хв; Q _{вод} =8 л/хв													
А 13	15 Контроль якості													
Б 14	Лупа; Штангельциркуль. IV 0,60													
О 15	Перевірити покриття ТЗП-3 на наявність дефектів													
А 16														
Б 17														
О 18														
М 19														
Р 20														

Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим.
					Документація		
А1				ГКІЮ057222.005 СК	Складальне креслення		
					Складальні одиниці		
б/к	1			Кришка	1		
б/к	2			Напилювана деталь	1		
б/к	3			Основа	1		
б/к	4			Гвинт	4		
б/к	5			Гайка	4		

Склад. №

Перв. примен.

Подп. и дата

Инд. № докл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

Изм. Лист

№ докум.

Подп.

Дата

Лит.

Лист

Листов

ГКІЮ 057222.005

Захисне пристосування

НУ "Запорізька політехніка"

Група ІФ-4 11м

Формат А4

Копировал