

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Металорізальні верстати та інструменти

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Другий магістерський

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Обґрунтування вибору типу, технологічних параметрів
нанесення та режимів різання функціональних покриттів деталей
авіаційних двигунів

Виконав: студент 2 курсу, групи Мз211-м
спеціальності (напряму підготовки)

133

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Кіреєва О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Фролов М.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Глушко П.В.

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2022 рік

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

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Металорізальні верстати та інструменти
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Другий магістерський
 Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
 (код і назва)
 Освітня програма, спеціалізація Металорізальні верстати та системи
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МВІ
Фролов М.В.
 “ 15 ” _____ 12 _____ 2022 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Кіреєвій Оксані Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Обґрунтування вибору типу, технологічних параметрів нанесення та режимів різання функціональних покриттів деталей авіаційних двигунів

керівник проекту (роботи) Фролов Михайло Володимирович, к т н,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “21” листопада 2022 року №384

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.10.2022р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Авіаційна деталь, робоче кільце статора КВД на ТРДД Д-18

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вимоги до поверхонь

2. Забезпечення вимог за рахунок покриттів

3. Технологія нанесення покриття

4. Технологічні параметри плазмового напилення

5. Технологічне забезпечення якості покриття за концепцією Тагучі. Методологія

6. Забезпечення оброблюваності зносостійких порошкових покриттів у деталях авіаційних двигунів

7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуація

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Фролов М.В.		17.10.2022
2	Фролов М.В.		30.10.2022
3	Фролов М.В.		10.11.2022
4	Фролов М.В.		24.11.2022
5	Фролов М.В.		01.12.2022
6	Фролов М.В.		13.12.2022
7	Шмирко В.І.		31.10.2022
	Матвєєнко Л.С.		16.12.2022

7. Дата видачі завдання 15.10.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз даних для виконання проекту	16.10.2022	
2.	Огляд та аналіз літератури	20.10.2022	
3.	Проведення експерименту	09.11.2022	
4.	Пошук альтернативних методів напilenня	22.11.2022	
5.	Дослідження видів покриття	03.12.2022	
6.	Дослідження оброблюваності зносостійких покриттів	12.12.2022	
7.	Розрахунок за концепцією Тагучі	14.12.2022	
8.	Оформлення роботи	15.12.2022	

Студент _____
(підпис)

Кірсєва О.В. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Фролов М.В. _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: стор.74, табл.16, рис.17, 36 посилань.

Об'єкт роботи – робоче кільце статора компресора високого тиску двигуна Д-18.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний.

Мета роботи - дослідження ефективності типу, технологічних параметрів нанесення та режимів різання функціональних покриттів при забезпеченні ремонтпридатності деталі авіаційного двигуна.

Актуальність теми роботи полягає в тому, що під час виготовлення авіаційної продукції, зокрема газотурбінних двигунів, виникають проблеми, пов'язані з поверхневим зміцненням нанесення захисних покриттів на деталі, які працюють в умовах підвищеного тертя і зносу. Запропоновано і досліджено покриття, метод його нанесення і спосіб обробки.

ЛІТАК, ДВИГУН, ТУРБІНА, КІЛЬЦЕ, ПОКРИТТЯ, ПЛАЗМОВЕ НАПИЛЕННЯ, ПЛАЗМОВА УСТАНОВКА, ЖАРОСТІЙКІСТЬ, ФРЕТІНГКОРОЗІЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ВАКУУМ, ОБРОБКА РІЗАННЯМ, СТІЙКІСТЬ, КОНЦЕПЦІЯ ТАГУЧІ.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	6
Вступ.....	7
1 Вимоги до поверхонь	9
2 Забезпечення вимог за рахунок покриттів.....	16
3 Технологія нанесення покриття.....	26
4 Технологічні параметри плазмового напилення.....	31
5 Технологічне забезпечення якості покриття за концепцією Тагучі. Методологія	37
6 Забезпечення оброблюваності зносостійких порошкових покриттів у деталях авіаційних двигунів.....	45
7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуація	53
Висновки.....	68
Перелік посилань.....	70

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

КБ – конструкторське бюро

КНД – компресор низького тиску

КВД – компресор високого тиску

ГТНП - газотермічне напилення покриття

ПКХТН - порошок карбіду хрому та титану

ГН газополуменеве напилення

ДН - детонаційне напилення

ЕДН - електродугове напилення

ПН - плазмове напилення

ХГН - «холодне», газодинамічне напилення

ПНТМ – полікристалічний нанотвердий матеріал

КНБ – карбід нітриду бору

ВСТУП

В машинобудуванні підвищення якості продукції що випускається пов'язано на самперед з необхідністю збільшення ресурсу роботи швидкозношуємих деталей. Одним з найбільш перспективних шляхів підвищення працеспроможності і довговічності машин є поверхневе зміцнення нанесення захисних покриттів на деталі, які працюють в умовах підвищеного тертя і зносу. В світовій практиці спостерігається тенденція до збільшення об'ємів нанесення захисних покриттів. За прогнозами на найближчі роки темпи росту виробництв поверхневозміцнених металевих виробів будуть випереджувати темпи росту виробництв металів і сплавів.

Вдосконалення матеріалів захисних покриттів та технологій їх нанесення в промисловості стримується нестачею технологічних можливостей з механічної обробки. Високі механічні властивості покриттів, неоднорідність структури (наявність твердих вкраплень, хаотично розташовані в структурі матеріалу, відносно висока пористість) різко знижують їх оброблюваність різанням, заважають досягненню потрібних умов для експлуатації стану поверхневого шару деталей, особливо при обробці лезовим інструментом.

Розробка нових підходів методів, що дозволяють прогнозувати працеспроможність ріжучих інструментів при обробці сучасних функціональних матеріалів задачею. Ефективність механічної обробки здебільшого визначаються структурою і властивостями матеріалів контактуючої пари — інструментального і оброблювального. Напиленні покриття мають комбіновану структуру з чергуванням фрагментів різноманітних розмірів і форм. Інтегральні властивості таких структур можуть бути описані різноманітними методами. В той же час, використання традиційних методик часто не дозволяють встановити коректні залежності між параметрами структури і механічними властивостями неоднорідних матеріалів.

Методи газометричного напилення дозволяють формувати на поверхнях

деталей машин покриття з різним рівнем механічних і фізико-хімічних властивостей. В залежності від технологічних методів напилення і типу напиленого матеріалу (порошок, порошкова проволочка, гнучкий дріт) покриття мають різноманітну структуру, яка і визначає їх механічні властивості.

Розвиток авіаційної техніки неодмінно супроводжується необхідністю забезпечення зростання показників надійності, ефективності, економічності і екологічності. Одним із найбільш важливих, та безперечно технологічно складним елементом будь-якого сучасного літаючого апарату є авіаційний двигун.

Одним із найважливіших показників надійності авіаційних двигунів є його ремонтпридатність. Працюючи в агресивних умовах деталі газотурбінних двигунів піддаються агресивній дії різноманітних факторів: високій температури, фретінг корозії, динамічним навантаженням, зношуванню, тертю тощо. Всі ці фактори призводять як до втрати геометричних розмірів деталей і вузлів, що може супроводжуватися збільшенням зазорів у з'єднаннях, втратою надійності кріплення деталі у вузлі, так і зміною показників якості поверхні, зокрема погіршення шорсткості, появою забоїн, тріщин, та багатьох інших дефектів. Наведені фактори з плином часу неодмінно погіршуватимуть технічний стан двигуна в цілому, або його окремих елементів. Для забезпечення ремонтпридатності пошкоджених робочих поверхонь деталей і вузлів, на які покладаються функції із забезпечення необхідного рівня зносостійкості, або швидкого припрацювання поверхонь, які контактують, використовуються покриття різних типів, які представляють із себе наноструктурні та мікроструктурні тугоплавкі порошкові матеріали.

1 ВИМОГИ ДО ПОВЕРХОНЬ

Д-18Т — турбореактивний двоконтурний трьохвальний двигун виробництва АТ «Мотор Січ», м. Запоріжжя, розроблений на ЗМКБ «Прогрес» під керівництвом головного конструктора В. А. Лотарьова. Знаходиться у серійному виробництві з 1984 року.

Створити двигун спочатку збиралися шляхом копіювання закордонних розробок. Як аналог спочатку був узятий двигун General Electric TF39-GE-1С, розроблений для транспортного літака С-5А «Гелаксі», але він мав малий ресурс і не підходив для цивільних літаків. Тоді як аналог вирішили використовувати англійський Rolls-Royce RB211 фірми Rolls-Royce plc. Проте делегація МАП, відправлена до Великої Британії в 1976 році, закупити зразки двигуна не змогла, тому що фірма висунула умову про продаж тільки великої партії двигунів (для 100 літаків), зрозумівши план СРСР зі створення аналога.

Конструкторам КБ «Прогрес» довелося йти власним шляхом. Досвіду створення таких двигунів у КБ не було, але до того часу для Як-42 був створений трьохвальний двигун Д-36, який і послужив прообразом для майбутнього Д-18Т. У порівнянні з попередником були збільшені ступінь підвищення тиску в компресорі і температура газів перед турбіною. Льотні випробування двигуна з використанням летючої лабораторії на базі Іл-76 почалися в 1982 році. Всього було здійснено 414 польотів загальною тривалістю 1288 годин. Серійне виробництво організоване на Запорізькому моторному заводі (ЗАТ «Мотор Січ») в 1985 році.

Застосовується на транспортних літаках Ан-124 «Руслан» і Ан-225 «Мрія». Двигун обладнаний ефективним пристроєм реверсу тяги, встановленим в контурі вентилятора. Модульна конструкція двигуна в поєднанні з ефективними засобами діагностики стану вузлів забезпечує можливість експлуатації за технічним станом без капітальних ремонтів на заводі. Сумарний наліт — понад 1 млн годин.

Конструкція двигуна виконана з урахуванням забезпечення принципу модульної (блокової) зборки. Двигун складається з 12-ти модулів, кожний з яких - закінчений конструктивно-технологічний вузол і може бути (крім головного 12-го модуля) демонтований і замінений на двигуні без розбирання сусідніх модулів в умовах авіаційно-технічних баз, що є на всіх великих аеродромах. Модульність конструкції двигуна забезпечує можливість відновлення його експлуатаційної придатності заміною деталей і вузлів в умовах експлуатації, а висока контролепригодність сприяє переходу від планово-запобіжного обслуговування до обслуговування за станом.

Компресор двигуна - осьовий, трьохкаскадний, складається з надзвукового вентилятора, коловозвукового КНД і дозвукового КВД.

Компресор високого тиску - семиступенчастий, складається з ВНА, ротора, статора і клапанів перепуску повітря. Ротор КВД - барабанно-дискової конструкції. Зварний барабан, диски останніх рівнів, постачання і вали сполучені між собою болтами, лопатки з дисками сполучені хвостовиками «ластівкин хвіст». КВД сполучається з турбіною ВД за допомогою болтів і утворює ротор високого тиску, встановлений на 2-х підшипниках.

Для забезпечення ремонтпридатності пошкоджених робочої поверхні робочого кільця статора компресора КВД двигуна Д-18Т рис.1.1, на які покладаються функції із забезпечення необхідного рівня зносостійкості,

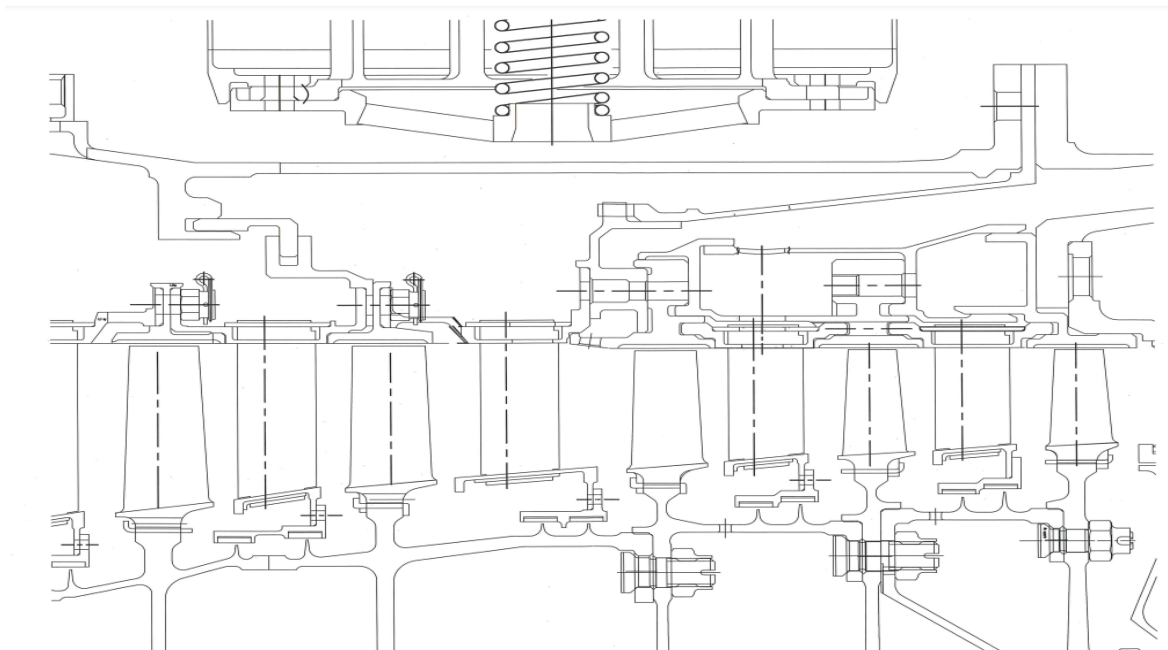


Рисунок 1.1 – Статор Компресора КВД

або швидкого припрацювання поверхонь, які контактують, використовуються покриття різних типів, які представляють із себе наноструктурні та мікроструктурні тугоплавкі порошкові матеріали.

При виборі матеріалів для формування покриття необхідно враховувати умови експлуатації напиленого виробу та спосіб напилення. За функціональним призначенням покриття виконують такі функції, рис.1.2:

- 1) ущільнююче покриття – забезпечує необхідну стабільність зазорів у виробі або конструкції при їх експлуатації;
- 2) термостійке покриття – має необхідну працездатність при багаторазових різких змінах температури;
- 3) коркове покриття – сформоване на основі для придбання її форми та зняте з основи для використання з самостійною метою;
- 4) терморегулююче покриття – забезпечує регулювання поглинання та випромінювання поверхнею теплових потоків. Терморегулююче покриття, яке знижує дію теплових потоків на поверхню називається теплозахисним покриттям.
- 5) захисне покриття – захищає поверхню від зовнішньої дії. Захисні газотермічні покриття можуть розподілятися на:
 - ерозійностійкі – покриття які знижують вплив високошвидкісних струменів на поверхню;

- корозійностійкі покриття – збільшують опір поверхні корозійному руйнуванню;

- корозійностійке покриття, яке збільшує опір поверхні від руйнування при високих температурах називається жаростійким покриттям.

б) зносостійкі покриття збільшують опір поверхні різним видам спрацювання.

Зносостійкі покриття в свою чергу поділяються на:

- антифрикційні покриття, які знижують коефіцієнт тертя у робочій парі тертя;

- фрикційні покриття, які збільшують коефіцієнт тертя;

- антиадгезійні покриття, які знижують схильність контактуючих поверхонь до адгезійної взаємодії або зчеплення.

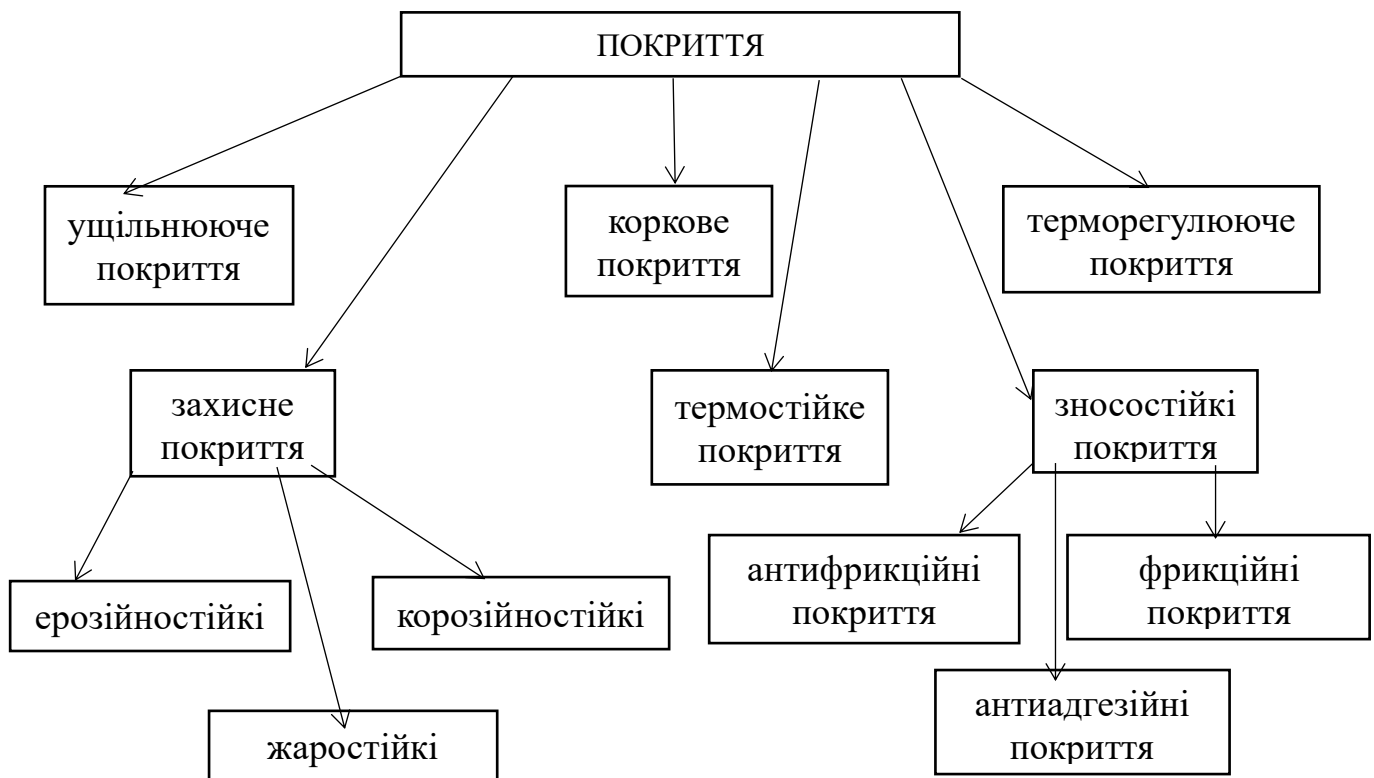


Рисунок 1.2 - Призначення покриттів.

Покриття може мати як суто функціональне призначення при виготовленні нових деталей, так і для відновлення спрацьованих деталей та виправлення браку.

При виборі зносостійкого покриття необхідно враховувати характер взаємодії пар тертя. В цих з'єднаннях необхідно прагнути до вибору покриття з мінімальним коефіцієнтом тертя. При зношуванні досить добре працюють покриття, що містять тверді частинки у пластичній матриці (основі). Покриття повинні мати високу адгезійну та когезійну міцність. Вимоги до пористості покриття не однозначні. Покриття, що працюють на тертя в умовах змащування, можуть мати значну пористість, яка може досягати 10...15%. Покриття на інструменті, особливо ріжучому, доцільно створювати з мінімальною пористістю. Корозійностійкі та жаростійкі покриття обираються з урахуванням мінімальної взаємодії з агресивним середовищем.

Покриття повинні мати невисоку пористість, особливо відкритого типу.

До терморегулюючого покриття відноситься теплозахисне покриття. Теплозахисні покриття напильють з матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Наявність розвинутої пористості у теплозахисних покриттях підвищує їх ефективність. Для теплозахисних покриттів найбільш доцільна оксидна група матеріалів або композиційних з обов'язковим включенням оксидного компонента.

В реальних умовах експлуатації покриття повинні задовольнити комплекс вимог. Наприклад, захищати виріб від спрацьовування і корозії, або спрацьовування і дії високих температур. У цьому випадку доводиться приймати компромісне рішення. Після вибору матеріалу треба обґрунтувати вибір оптимального (раціонального) способу напильнення виробу, що забезпечує необхідні у даних умовах експлуатації технологічні характеристики покриття (щільність, адгезійна міцність та інше) та високу продуктивність процесу при даних геометричних розмірах. Для цього треба проаналізувати по літературним джерелам існуючий досвід зміцнення або відновлення аналогічних деталей, переваги та недоліки різних способів нанесення покриття та вибрати оптимальний спосіб напильнення, який дозволяє поєднати необхідні технологічні властивості покриттів з високою продуктивністю їх нанесення при даних розмірах деталей. Правильний вибір способу напильнення визначається в першу чергу якісними показниками покриття і

продуктивністю процесу. Тому вибір доцільно здійснювати виходячи з вимог, що висуваються до якості покриття з врахуванням технологічних властивостей матеріалу, що напилюється: температури його плавлення, форми, а також максимальної продуктивності та інших особливостей процесу.

Далі розроблюється конкретний типовий технологічний процес виготовлення (або відновлення) виробу з функціональним покриттям. Він обирає необхідні операції та послідовність їх виконання у відповідності з схемою на рис.1.3.

При цьому необхідно вказати зміст окремих операцій та обладнання, оснащення і матеріали, необхідні для їх реалізації. Так, наприклад, підготовка поверхні виробів до напилення передбачає виконання циклу операцій: очищення і миття деталей, попередню механічну обробку (нарізання рваної різьби, нарізання кільцевих канавок, електроіскрову обробку, тощо), обезжирювання, ізоляцію поверхонь, що не підлягають напиленню, струменевоабразивну обробку поверхні і напилення підшару. При цьому зміст циклу може змінюватись залежно від матеріалу деталі, її конфігурації, призначення покриття.

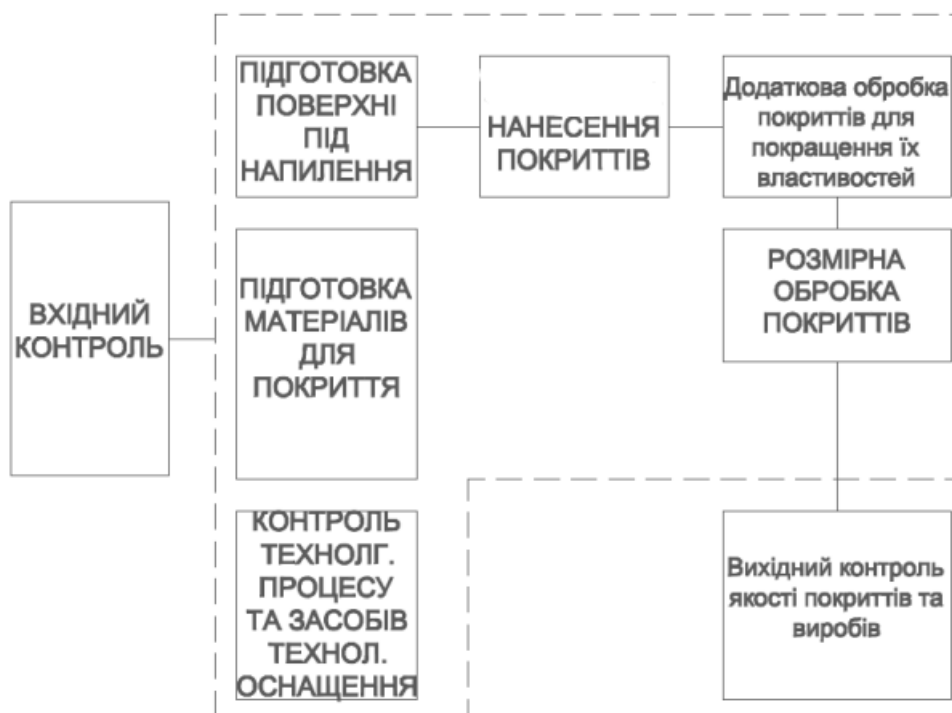


Рисунок 1.3 - Технологічна схема виготовлення виробу з функціональним покриттям.

Необхідна товщина покриття в основному визначається умовами експлуатації поверхні виробу. При відновленні спрацьованих деталей товщина покриття визначається величиною спрацьовування, а також додатково збільшується на величину попередньої та фінішної механічної обробки. Практика напилення та наступна експлуатація напилених виробів свідчить, що зі збільшенням товщини покриттів зростає їх відшарування. Тому у всіх випадках при виборі товщини покриттів слід прагнути до мінімально можливих значень.

Для оптимізації технологічних режимів напилення обраних по довідковій літературі, можна використати методи математичного планування експерименту. Для визначення вимог до технологічного та допоміжного обладнання необхідно враховувати кінематичні параметри переміщення розпилюючого пристрою відносно виробу. Кінематичні параметри переміщення виробу та розпилюючого пристрою в процесі напилення суттєво впливають на ефективність процесу та якість покриттів.

2 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ЗА РАХУНОК ПОКРИТІВ

Як вихідний матеріал для газотермічного напилення покриття (ГТНП), що захищає поверхню деталей від руйнівного впливу зовнішніх факторів, а також забезпечують відтворення їх розмірів після спрацьовування, використовують дроти, порошки, стержні і гнучкі шнури.

Дріт.

Позитивні властивості:

- точність і стабільність подачі при розпилюванні;
- гарантія переводу матеріалу в розплавлений стан.

Недоліки:

- обмеженість за складом (пластичні метали, що деформуються, і сплави, як матеріал суцільного дроту, чи оболонки порошкового дроту);
- обмеженість за діаметром вихідного дроту і розміру диспергованих частинок.

Порошки.

Позитивні властивості:

- найбільша різноманітність за складом матеріалів, що напилюються (метали, сплави, оксиди, карбіди, бориди, силіциди, нітриди, полімери, композиційні порошки);
- найбільш універсальні з огляду на застосовність для різних методів ГТНП - можливість широкої зміни розмірів частинок (5...150 мкм).

Недоліки:

- труднощі точного дозування і забезпечення стабільності подачі та зумовлені цим складність і дорожнеча порошкових дозаторів;
- неоднорідність нагрівання частинок із різним розміром.

Стержень.

Позитивні властивості:

- забезпечення точності і стабільності дозування матеріалу, що напилюється;
- гарантія переведення матеріалу в розплавлений стан.

Недоліки:

- обмеженість за складом;
- обмеженість за методом ГТНП (таблиця 2.1).

Гнучкий шнур.

Позитивні властивості:

- універсальність за складом (подібно до порошків);
- забезпечення точності і стабільності дозування матеріалу, що напилюється.

Недоліки:

- обмеженість за методами ГТПН (таблиця 2.1);
- неоднорідність ступеня нагрівання частинок.

Розподіл різних видів матеріалів між методами ГТНП відповідно до принципу роботи апаратів для нанесення покриттів наведений у таблиці 2.1.

В залежності від функціонального призначення покриття для напилення можуть застосовуватись різні матеріали, характеристики деяких наведені в таблицях 2.2, 2.3, 2.4, 2.5. Після визначення матеріалів для напилення покриття необхідно визначити марку матеріалу.

Таблиця 2.1 - Використання різних видів матеріалів при газотермічному напиленні.

Види матеріалів для напилення покриття	Методи газометричного напилення покриття				
	Електродугове напилення	Газополумєнєве напилення	Плазмове напилення	Детонаційне напилення	Газодинамічне напилення
Дроти, в т.ч. порошкові	+	+	+	-	-
Порошки	-	+	+	+	+
Гнучкі шнури	-	+	-	-	-
Стержні	-	+	-	-	-

Таблиця 2.2 - Металічні порошки для газотермічного напилення

Метал	Склад, % за масою	Твердість покриття	Призначення
Алюміній	99 <i>Al</i>	-	Захист від корозії, електропровідність
Вольфрам	99...99,5 <i>W</i>	HRA 45...50	Захист від розплаву Cu, Zn
Мідь	≥99,7 <i>Cu</i>	-	Електропровідне, екрануюче
Молібден	99...95 <i>Mo</i>	HRC 38	Захист спрацювання абразивними частками, твердими поверхнями при невисоких температурах
Нікель	<i>Ni</i>	HRB	Захист від корозії, проміжний підшар
Тантал	<i>Ta</i>	HRA	Захист від корозії
Хром	<i>Cr</i>	-	Захист від спрацювання, корозії, високотемпературного окислення

Таблиця 2.3 - Порошки зі сплавів.

Сплав	Склад, % за масою	Твердість покриття	Призначення
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Нікельхромовий	20 <i>Cr</i>	HRB 90	Жаростійке покриття, прошарок
Нікельборкремнієвий	1,3...2,4 <i>B</i> 2,3...3,5 <i>Si</i>	HRC 13...40	Захист від спрацювання
Нікельалюмінієвий	5...31 <i>Al</i>	-	Жаростійке покриття, прошарок
Нікельхроалюмінієвий	19 <i>Cr</i> ; 5 <i>Al</i>	-	Жаростійке, прошарок, захист деталей з нікелевих сплавів
Вольфрамтитанталокобальтові тверді сплави	7-9 <i>Co</i> ; 1-6 <i>TiC</i> ; 1-6 <i>TaC</i>	-	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом, при фреттінгкорозії, ерозії
Карбіди хрому	Cr_2C_3 ; $Cr_{23}C_6$	HRC 37-40	Захист від зношування при підвищених температурах
Карбід титану	19,35...19,7 <i>C</i>	HRC 73...78	Захист від зношування при невисоких температурах
Карбід вольфраму-кобальт	11...21 <i>Co</i> ; 2,4...5,5 <i>C</i>	HRC 40...60	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом, при фреттінгкорозії, ерозії

Продовження табл.2.3

1	2	3	4
Карбід титану хрому-нікель	19...30 Ni; 10,3...11,1 C	HRC 63...68	Захист від зношування при підвищених температурах
Чавун	2,8...3,5 C	HRC 47	Захист від зношування при невисоких температурах абразивними частками і твердими поверхнями
Хромонікелева сталь	16...18 Cr; 10...14 Ni; 2,5...3 Mo; 0,8...1 Si; 0,1 C	HRB 80...92	Захист від кавітації, корозії, ерозії при невисоких температурах
Бронза алюмінієва	3,5...10 Al; 1 Fe	HRB 50...85	Захист від фреттінгкорозії, кавітації, відновлення деталей з міді
Оксиди алюмінію-титана	2,5...40 TiO ₂	HRC 50...70	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом, електроізоляція, захист від розплавів Zn, Al, Cu
Диоксид цирконію, стабілізований оксидом кальцію	5...8 і 11...13 Y ₂ O ₃	HRC 35...45	Теплоізолююче покриття
Силікат цирконію	32-35 SiO ₂	-	Захист від розплавів металів, скла
Карбід вольфраму	3,8...4,2 C	-	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом
Вольфрамовокобальтові тверді сплави	5...20 Co; 3,6...5,7 C	HRC 40...60	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом, при фреттінгкорозії
Алюміній-нікель	80 Ni	HRB 75	Захист від зношування при невисоких і підвищених температурах, ерозії, кавітації, фреттінгкорозії
Титан - нікель	40 Ni	-	Захист від зношування та корозії
Оксиди алюмінія-титана	2,5...40 TiO ₂	HRC 50...70	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом, електроізоляція, захист від розплавів Zn, Al, Cu
Диоксид цирконію, стабілізований оксидом кальцію	5...8 і 11...13 Y ₂ O ₃	HRC 35...45	Теплоізолююче покриття

Продовження табл.2.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Силікат цирконію	32-35 SiO_2	-	Захист від розплавів металів, скла
Карбід вольфраму	3,8...4,2 C	-	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом
Вольфрамокобальтові тверді сплави	5...20 Co ; 3,6...5,7 C	HRC 40...60	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом, при фреттінгкорозії
Алюміній-нікель	80 Ni	HRB 75	Захист від зношування при невисоких і підвищених температурах, ерозії, кавітації, фреттінгкорозії
Титан - нікель	40 Ni	-	Захист від зношування та корозії
Нікель-алюміній	5 Al	HRB 60...80	Захист від зношування при фреттінгкорозії, ерозії
Мідь-алюміній	10 Al	HRB 50...55	Захист від фреттінгкорозії, кавітації
Чавун-молібден-алюміній	5 Mo ; 5 Al	HRC 30	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом, фреттінгкорозії
Ніхром-молібден-алюміній	5 Mo ; 5 Al	HRB 80...30	Захист від зношування при температурах до 760-870 °C абразивом, фреттінгкорозії, кавітації
Оксид алюмінію, діоксид титана	13...42 TiO_2	HRC 60...70	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом, ерозії, кавітації, фреттінгкорозії
Нікельхромборкремнієві сплави з карбідом вольфраму	30...60 WC	Матриця: HRC 54...62, карбід HRC 75	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом, ерозії, фреттінгкорозії
Нікельхромборкремнієвий сплав з молібденом	30 Mo	HRC 40...54	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом
Карбід хрому з ніхромом	7...35 Ni Cr	HRC 32...54	Захист від зношування при підвищених температурах абразивом, при ерозії, фреттінгкорозії
Карбід хрому з кобальтом	45 Co	-	Захист від зношування

Продовження табл.2.3

Нікельхромборкремнієвий сплав з молібденом	30 <i>Mo</i>	HRC 40...54	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом
Карбід хрому з ніхромом	7...35 <i>Ni Cr</i>	HRC 32...54	Захист від зношування при підвищених температурах абразивом, при ерозії, фреттінгкорозії
Карбід хрому з кобальтом	45 <i>Co</i>	-	Захист від зношування
Діоксид цирконію з КП «нікель-алюміній»	35...65 <i>ZrO₂</i>	-	Захист від зношування, окислення при підвищених температурах, термостійке
Оксид алюмінію з діоксидом титана	-	HRC 50	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом
Оксид хрому з діоксидом титана	55 <i>TiO₂</i>	HRC 53	Захист від зношування при невисоких температурах абразивом

Таблиця 2.4 - Порошки з мідних сплавів

Марка	Хімічний склад, %	Властивості покриття
ПР-БР АЖНМц 8,5-4-1,5	<i>Cu; 8,5% Al; 4% Fe; 4% Ni; 1,4%Mn</i>	Покриття мають високі антифрикційні властивості та гарну зносостійкість в умовах змащування мастилом чи без нього
ПР-БР АЖНМц 8,5-3-1,5	<i>Cu; 8,5% Al; 1,2% Fe; 4% Ni; 1,4%Mn</i>	
ПР-БР АН 8,5-3	<i>Cu; 8,5% Al; 3% Ni</i>	
ПР- НМ 40	<i>Cu; 1,8% Al; 1,5% Fe; 41% Ni; 1,1%Mn; 0,3%Ti</i>	
ПР-БР А 8,5	<i>Cu; 8,5% Al</i>	

Беручі до уваги те, що напрямні металообробного обладнання під час роботи знаходяться під дією складної схеми динамічного навантаження, а також в умовах забруднення та абразивного зносу, можна зазначити, що одним з перспективних технологічних напрямків підвищення зносостійкості напрямних є формування захисних структур на контактуючих поверхнях, що здатні знижувати інтенсивність протікання процесів руйнування.

Таблиця 2.5 - Властивості покриттів гнучких шнурів діаметром 4,2; 4,76 мм на основі оксидів.

Матеріал основи	Твердість HV	Температура плавлення, °C	Пористість, %	Товщина покриття, мм	Допуск на обробку	Продуктивність напилення,	Метод обробки
Al_2O_3 Оксид алюмінію	1000	2000	7	0,5... 1	0,2...0,3	1000	Шліфувальн ий круг (SiC)
$Al_2O_3 + TiO_2$	1400	2000	7	-	-	1000	Шліфувальн ий круг (SiC)
Cr_2O_3	2000	1600	-	0,2... 0,25	0,15...0,25	500	Шліфувальн ий круг алмазний
TiO_2	700	1600	-	-	-	1000	Шліфувальн ий круг (SiC)
Самофлюсуючі шнури на основі нікелю	40...60 HRC	1200	-	-	-	1000 2000	Шліфувальн ий круг алмазний

Матеріал зносостійкого покриття напрямних металообробного обладнання, що працюють в умовах дії складного динамічного навантаження повинен забезпечувати: опір ударним циклічним змінним навантаженням; збалансоване поєднання високої твердості та в'язкості; низький коефіцієнт тертя; хімічну інертність до матеріалу ремонтного шару; опір окисленню та корозії; підтримувати підвищену адгезію по відношенню до контактуючого з ним матеріалу. У сучасному виробництві все частіше використовують наноструктурні та мікроструктурні матеріали, що представляють собою тугоплавкі порошкові матеріали. Як зносостійке покриття в основному використовуються самофлюсуючі сплави на нікелевій або кобальтовій основі і їх суміші з модифікаторами з тугоплавких і ультрадисперсних металів, карбідів, нітридів, оксидів і ін., які забезпечують утворення зміцнюючих фаз і покращують структуру покриття.

Для забезпечення необхідних фізико-хімічних властивостей поверхні потрібно визначити хімічний та фазовий склад матеріалу покриття, що наноситься.

Для вибору матеріалу можливе використання підбору його по функціональному призначенню покриттів (табл. 2.6). Відповідно до необхідних властивостей зносостійкого шару до яких відносяться зносостійкість, корозійна стійкість та стійкість до захоплювання було обрано матеріали, що будуть входити до складу цього шару. Проаналізувавши матеріали покриттів було визначено, що дані властивості забезпечуються такими матеріалами: Al_2O_3 , Cr_3C_2 , Ni, Ti.

Таблиця 2.6 – Функціональні призначення покриттів

Матеріал покриття	Характеристика поверхневого шару, що покращується за допомогою покриття
Al_2O_3 , $Al-Ni$, $Cr-B$ - $Ni-Si$, $Ni-Ti$, Mo , Cr_2O_3 , Cr_3C_2 , WC , Mg Al_2O_3 , Ni	Зносостійкість
Al , Al_2O_3 , Cr , Ti , Zn , Cr_2O_3 , Al_2O_3 - TiO_2 , Ni , Cr_3C_2	Корозійна стійкість
Al_2O_3 , ZnO_2 , $Al-Ni$, Mo , ZnB , Mg Al_2O_3	Термостійкість
Cr_2O_3 , ZnO_2 , $WC-Co$, TiC , $Cr-B$ - Ni , Ni	Ерозійна стійкість
WC , W , Mo , Cr - Ni , $MoSi_2$, Mg Al_2O_3	Жаростійкість
Al_2O_3 , $Al-Ni$, Ti - Ni , ZnO_2 , Cr_3C_2 , Ni	Проти захоплювання рухомих частин
Al_2O_3 , $NiSi_2$, $Al-Ni$, , ZnO_2	Теплоізоляція
Al_2O_3 , $BaTiO_3$, SiO_2 , MgO - Al_2O_3	Електроізоляція
Al , Ni , Ti - Ni , Mo	Герметичне з'єднання

Як зносостійке покриття в основному використовуються сплави на нікелевій або кобальтовій основі і їх суміші з модифікаторами з тугоплавких і ультрадисперсних металів, карбідів, нітридів, оксидів та ін., які забезпечують утворення зміцнюючих фаз і покращують структуру покриття.

Одним із таких матеріалів є порошок карбіду хрому та титану ПКХТН-30, плакований нікелем [2]. Покриття ПКХТН-30 (Cr_3C_2+TiC) використовується для нанесення на деталі із жароміцних матеріалів (ЕП718-ІД), титанових штампованих (ОТ4-1), та литих (ВТ5Л, ВТ6) сплавів, рис. 2.1.

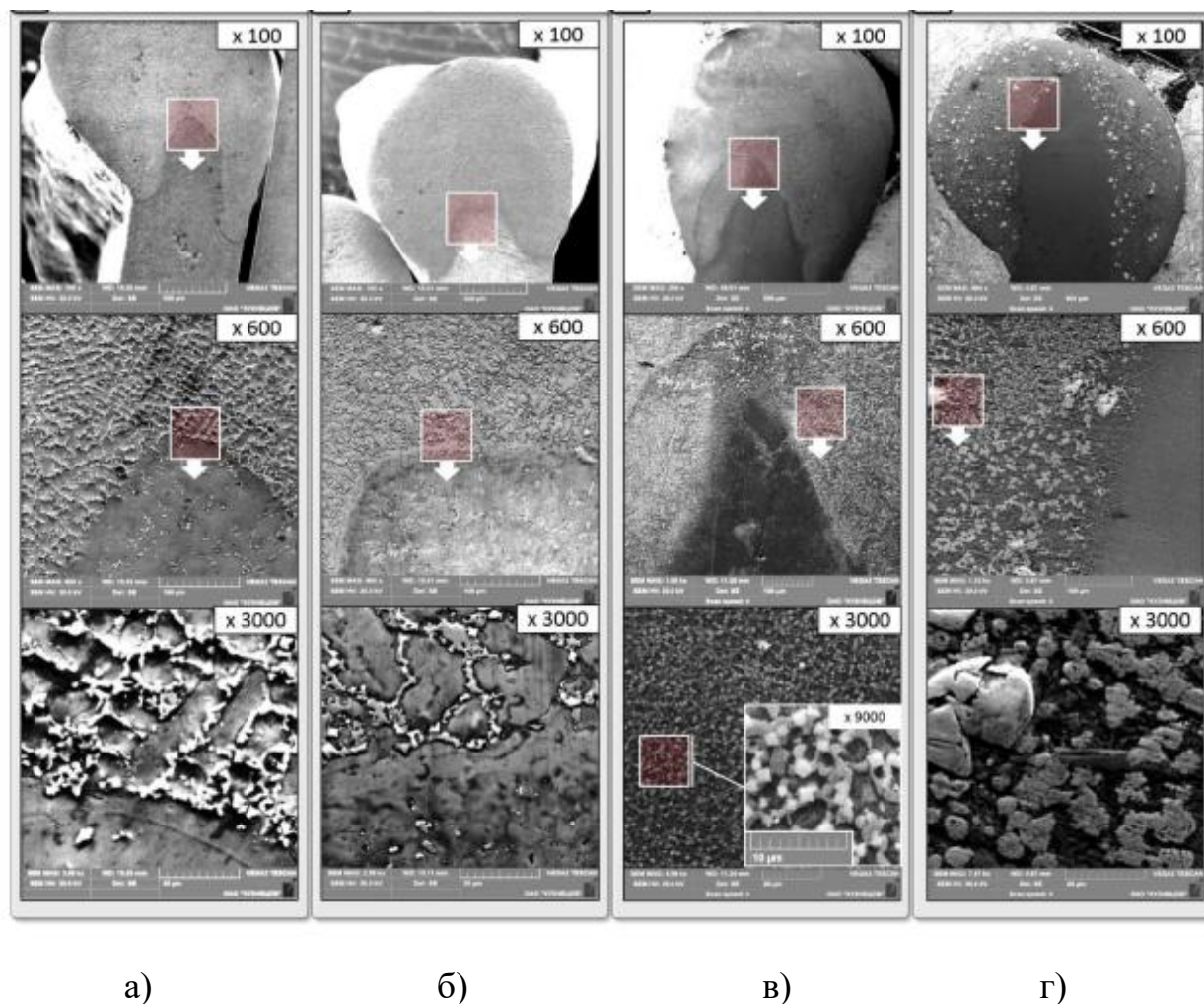


Рисунок 2.1 – Макро- і мікроструктура напилених слоїв наступних матеріалів:

а) ЕР718-ІД; б) ОТ4-1; в) ВТ5Л; г) ВТ6.

Основна сфера застосування – деталі від антивібраційних полиць робочих лопаток до великогабаритних кільцевих деталей, що працюють в умовах дії високих температур, контактних навантажень, гідро- та газоабразивне зношування, рис. 2.2. Основною характеристикою покриття ПКХТН-30 є висока зносостійкість в умовах фретинг-корозії і тертя ковзання, а також висока робоча температура – до 950°C [2].

У нанесеному з такого порошку покритті частки карбідів грають роль зносостійкої основи, а нікель виступає в якості пластичної оболонки, що забезпечує адгезію покриття до поверхні деталі і його низьку пористість. Хімічний склад

порошку карбіду хрому-титану, %: 30% (TiC + Cr₃C₂) + 70% Ni.

У хімічному складі покриття після нанесення, крім основних елементів, присутній кисень унаслідок напilenня в кисневому середовищі. Уміст елементів по товщині покриття перебуває приблизно на одному рівні. Межа між покриттям та основним матеріалом чітка, перехідної дифузійної зони не виявлено.

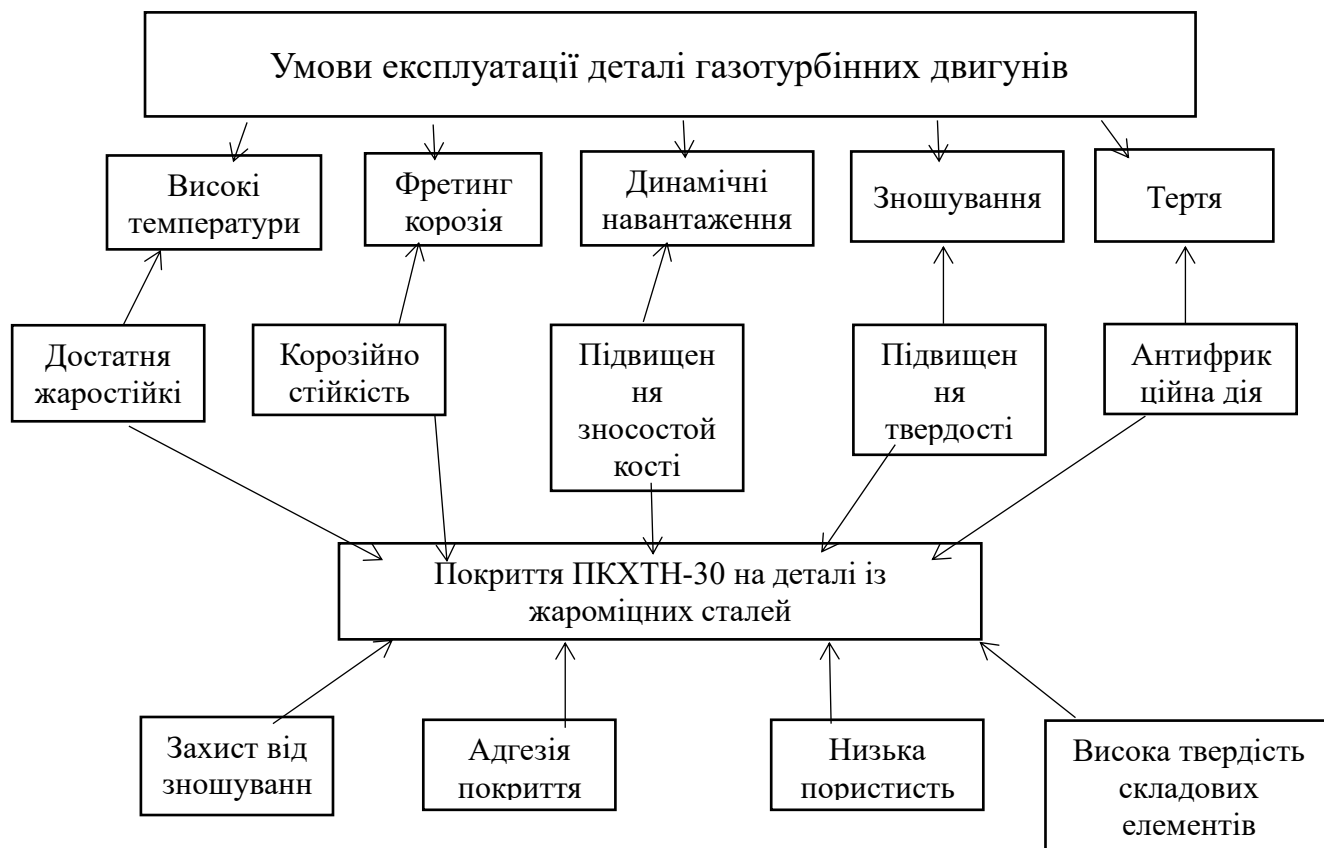


Рисунок 2.2 – Умови та особливості застосування зносостойкого покриття

Нанесення порошку на кільцеву деталь зі сталі ЕП-718-ІД здійснюється на установці Metco 9МС плазмовим методом.

3 ТЕХНОЛОГІЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ

Газотермічні способи нанесення покриття. Газотермічні методи напилення класифікують за енергетичними ознаками та функціональним призначенням. За енергетичними ознаками нанесення покриття (ГТНП) можна поділити на:

- газополуменеве напилення (ГН) – газотермічне напилення, при якому для напилення використовується струмінь продуктів горіння суміші газів, які спалюються за допомогою пальника;

- детонаційне напилення (ДН) - газотермічне напилення, при якому для напилення використовується струмінь продуктів детонації;

- електродугове напилення (ЕДН) - газотермічне напилення, при якому нагрівання металу у вигляді дроту, або стрічки спричиняється електричною дугою, а диспергування – струменем стиснутого повітря;

- плазмове напилення (ПН) - газотермічне напилення, при якому для напилення використовують плазмовий струмінь, Таблиця 3.1;

- «холодне», газодинамічне напилення (ХГН), при якому для утворення покриття використовується кінетична енергія високошвидкісного (надзвукового) газового струменя, розігрітого до температур значно нижчих за температуру плавлення матеріалу, що напилюється.

- лазерне напилення (ЛН), при якому для розігрівання матеріалу, що напилюється, використовується лазерний промінь, а газ, що подається співосно з променем, транспортує порошок, який подається у зону фокусу лазерного променя.

Плазмове напилення може бути плазмове – дуговим (ПлДН), при якому плазмовий струмінь утворюється за допомогою електричної дуги, та високочастотним (ВПлН), при якому плазмовий струмінь утворюється за допомогою високочастотного розряду.

Газотермічне напилення може відбуватися у відкритому середовищі при атмосферному тиску або у контрольованому середовищі. Газотермічне напилення, при якому у об'ємі робочої камери підтримується заданий склад та тиск газового

середовища називається напиленням у контрольованій атмосфері. Газотермічне напилення в контрольованій атмосфері, при якому безперервно підтримується завдане розрідження газового середовища називається напиленням у динамічному вакуумі. Покриття, одержане газотермічним напиленням називається газотермічним покриттям.

Таблиця 3.1 - Характерні показники якості покриття отриманого при плазмовому напиленні (по даним фірми Sulzer Metco)

Властивості і характеристики	Матеріал покриття	Дозвокове плазмове напилення	Напилення у динамічному вакуумі (способи VPS/LPPS)
Температура плазмового струменю		12000...16000	10000...80000
Міцність зчеплення, МПа	Чорні метали	21...34	100...400
	Кольорові метали	14...48	400...750
	Керамічні матеріали	21...41	25...55
	Карбіди	55...69	60...100
Пористість, %	Чорні метали	5...10	1...3
	Кольорові метали	5...10	1..3
	Керамічні матеріали	5...10	2...5
	Карбіди	5...10	2...5
Рекомендовані товщини шару покриття, мм	Чорні метали	0,4...2,5	0,05...10
	Кольорові метали	0,4...5,0	0,05...10
	Керамічні матеріали	0,4...5,0	0,05...5
	Карбіди	0,4...5,0	0,05...10

Доцільність використання того чи іншого способу нанесення покриттів повинна визначатися в кожному конкретному випадку в залежності від експлуатаційних вимог до виробу, номенклатури деталей, їх складності, вимог до надійності та ресурсу роботи виробу, економічної ефективності способу з

урахуванням необхідного обладнання, газів і матеріалів, які розпилюються.

Основні характеристики покриттів напилених різними способами представлені в таблиці 3.2.

На вибір способу напилення впливає матеріал, який використовується. Від температури його плавлення залежить вибір способу нанесення покриття по такій технологічній характеристиці, як можливість отримання максимальної температури нагрівання диспергованої частки та її швидкості.

Порівняти ефективність способів нанесення покриття можна по оцінці витрат на нанесення 1 кг покриття. До цих витрат входить заробітна платня, вартість газів, напилюваних матеріалів, обладнання.

Витрати на основну заробітну плату можна посередньо оцінити по продуктивності способів. У напрямку зменшення продуктивності їх можна перелічити так: електродуговий – плазмовий- газодинамічний– газополуменевий – детонаційний.

По питомим витратам на газ, треба врахувати, що при електродуговому способі використовують найбільш дешевий та доступний газ - повітря, при газополуменовому та детонаційному способі використовують кисень та пальні гази (ацетилен, водень, пропан), а при плазмовому – аргон, азот, суміш аргону з воднем, гелієм. З точки зору збільшення витрат можна отримати такий ряд: електродуговий – газополуменевий – детонаційний- газодинамічний – плазмовий.

З допомогою електродугового способу наносять покриття з алюмінію, нержавіючої сталі, ніхрому, цинку, латуні та інших металів і сплавів, вартість 1 кг, яких відносно невелика.

Газополуменовим способом, крім металічних порошків і дроту, напилюють порошки в основному самофлюсуючих сплавів на нікелевій основі, вартість яких дорожче дроту у 3...10 разів. Такі порошки вимагають послідуочого оплавлення у печах, установках ТВЧ або за допомогою газових пальників. Тому до витрат на напилення порошку додається витрати на оплавлення.

При плазмовому напиленні досить широко використовується нанесення зносостійкого покриття з керамічних порошків, зокрема оксидів, отриманих при

виробництві абразивних матеріалів. Основна перевага - низька вартість. Але випускаються порошки з оксидних керамік спеціально для газотермічного напилення, вартість яких у декілька разів перевищує вартість самофлюсуючих матеріалів на основі нікелю.

Для детонаційного напилення, крім оксидів, використовують карбіди, боріди, нітриди та ін. Незважаючи на їх високу вартість, отримані характеристики покриття у цілому ряді випадків роблять доцільним і економічно ефективним використання цих дорогих матеріалів в поєднанні дорогим способом нанесення покриття. Якщо враховувати вартість найбільш широкоживаних в кожному способі дротяних та порошкових матеріалів, то підвищення вартості 1 кг покриття буде відповідати такому ряду: електродугове нанесення покриття – плазмове – газополуменеве-газодинамічне – детонаційне. За питомими витратами на обладнання способи нанесення газотермічних покриттів можна розставити наступним чином: газополуменеве – електродугове – газодинамічне – детонаційне – плазмове.

Таблиця 3.2 - Основні характеристики покриття нанесеного способами газотермічного напилення.

Параметри	Спосіб напилення				
	Електродугове	Газополуменеве	Плазмове	Детонаційне	Газодинамічне
1	2	3	4	5	6
Продуктивність, кг/ГОД	2...50	1...10	3...11; 11...25	0,1...1,5	3...15
Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ)	0,8...0,95	0,8...0,95	0,7...0,9	0,3...0,6	0,7...0,9
Міцність зчеплення, МПа	до 48 (>15)	до 50 (>10)	до 50 (>15)	до 100 (>30)	40...80
Пористість, %	5...15	10...15	5...10	до 0,5...1,5	3...7
Межі раціональної товщини покриття, мм	0,5...2,5 max 6,0	0,5...5,0 max 10,0	0,05...5,0 max 10,0	0,1...0,3 max 0,5	від 0,25*

Продовження табл.3.2

1	2	3	4	5	6
Максимальна температура нагрівання диспергованих часток матеріалу, К	Температура плавлення матеріалу	до 3000	до 4000	до 3000	до 600
Швидкість напилюваних часток матеріалу, м/с	50...150	20...180	50...400	600...1500	200...1200
Джерело теплоти	Електрична дуга	Полум'я ацетилен-кисень, пропан-бутан-кисень, ацетилен-повітря, водень-кисень	Плазмова дуга, плазмовий струмінь	Вибухова хвиля $C_2H_2+O_2+Ar$ $C_2H_2+O_2+N_2$ $2H_2+O_2$ $C_3H_8+O_2+N_2$	Підігріта суміш газів повітря-гелій
Форма напилювального матеріалу	дріт	Дріт, порошок, гнучкий шнур, стержень	Порошок, дріт	порошок	порошок

При виготовленні великих серій відповідальних деталей необхідно використовувати автоматизовані комплекти обладнання, які окрім установки для напилення повинні мати обладнання для кріплення та переміщення деталей та робочого інструменту, автоматизовані та механізовані лінії підготовки деталей і таке інше.

Збільшення вартості обладнання для нанесення захисних покриттів залежить від складності установки для напилення.

Виходячи з характеристик та необхідних параметрів для нанесення покриття (табл.3.2) обираємо плазмовий спосіб напилення.

4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

До технологічних параметрів процесу плазмового напилення покриття відноситься:

- напруга на дузі U_d , В та сила струму I_d , А, які визначають потужність дуги N_d ;
- вид та витрати плазмоутворюючого газу $G_{пл}$, л/хв;
- масові витрати порошку G_p , г/с , або діаметр дроту $d_{др}$, мм та швидкість його подачі $V_{др}$. м/с;
- витрати транспортуючого газу, $G_{тр}$ л/хв ;
- дистанція напилення L_d , мм ;
- швидкість відносного переміщення плазмотрону відносно виробу $V_{пл}$, мм/хв;
- число обертів циліндричної деталі $n_{дет}$, об/хв;
- тиск газів, Р, МПа;
- грануляція порошку, С, мкм.

Для плазмового напилення використовують порошки грануляцією від 10 до 200 мкм. Звичайна швидкість витрат порошку становить 0,25...2,00 г/с. При використанні дроту для плазмового напилення його діаметр знаходиться в межах 0,8...2,5 мм. Дистанція напилення становить 50...300 мм. Наведені параметри потребують уточнення для конкретних умов їх використання з урахуванням конструкції плазмотрону, технологічних можливостей установки та властивостей напилюваного матеріалу. Діапазон режимів плазмового напилення наведено у таблиці 4.1.

Напилення полягає в розбризкуванні речовини елемента, що наноситься під негативним потенціалом, внаслідок бомбардування іонами пасивного газу, що з'являються в ході збудженості перетліючий розряду зсередини конструкції вакуумного напилення, рис. 4.1.

Таблиця 4.1 - Діапазон режимів плазмового напилення

Технологічні параметри	I_d , А	U_d , В	P , МПа	$G_{пл}$, л/хв	$G_{тр}$, л/хв	L_d , мм	G_p , г/с	C , мкм	$n_{дет}$, об/хв	$V_{пл}$, мм/хв
Діапазон використання	450...550	40...60	0,06-0,23	35-80	10-20	50...300	0,25...2,0	10...200	9...14	20...30

Матеріал негативно зарядженого електрода розпорошується перед впливом іонізованих атомів пасивного газу, що ударяються про нього. Дані пульверизовані проміжні атоми осаджуються зверху підкладки.

Основною перевагою плазмового методу напилення є відсутність потреби нагріву випарника аж до високої температури. Механізм походження тліючого розряду. Розкладний розряд простежується в камерах з низьким тиском газу між двома металевими електродами, на які подається великий вольтаж аж до 1-4 кВ. При цьому негативний електрод зазвичай заземлений. З камери задалегідь відкачується повітряний простір, далі запускається газ до тиску 0,6 Па.

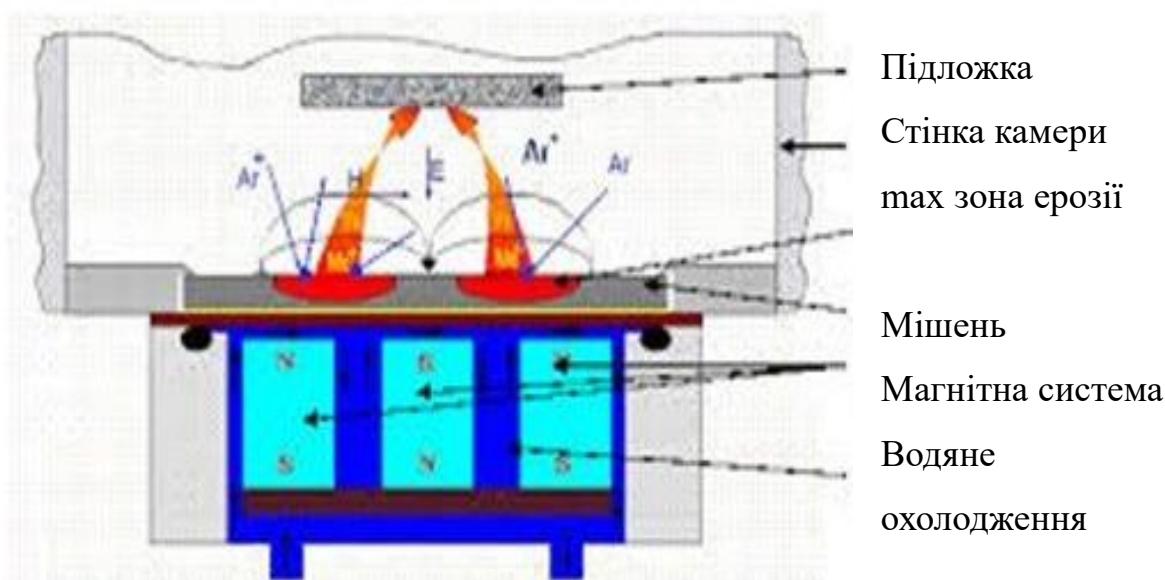


Рисунок 4.1 - Установка для плазмового напилення

Плазмове напилення має низку особливостей, які відрізняють процес металізації від інших варіантів обробки металевих поверхонь:

1. Прискорений процес нанесення покриттів завдяки високотемпературному впливу на оброблювану поверхню – близько 5000-6000 ° С. Технологічно напилення може тривати частки секунд для отримання необхідного результату.

2. Плазмова обробка металів дозволяє створити на поверхні комбінований шар. Дифундувати можна не тільки металеві частинки, а й елементи газу із плазмового струменя. Через війну метал насичується атомами корисних хімічних елементів.

3. Традиційна металізація протікає нерівномірно і характеризується тривалістю технологічного процесу та можливими окисними реакціями. Струменеві високотемпературної плазми створює рівномірну температуру і тиск, забезпечуючи високу якість фінальних покриттів.

4. За допомогою плазмового струменя перенесення частинок металу та атомів газу відбувається миттєво. Процес відноситься до галузі зварювання із застосуванням порошків, стрижнів, прутків та дроту. Перенесені частинки утворюють шар завтовшки від кількох мікрон до міліметрів на поверхні твердого тіла.

Відмінні характеристики процесу:

- нанесення покриттів на тонкостінні малогабаритні вироби;
- ефективне управління енергетичними характеристиками частинок, що напилюються, і умовами формування покриття за рахунок гнучкості регулювання параметрів і режимів роботи плазмотрона;
- високі коефіцієнт використання порошку (до 85%);
- міцність зчеплення покриття з основою (до 60 МПа);
- низька пористість;
- універсальність за рахунок отримання покриттів із більшості матеріалів без обмеження їх температур плавлення;
- нанесення покриття на вироби, виготовлені практично з будь-якого матеріалу;

- низький термічний вплив на основу, що напилюється, що дозволяє уникнути деформацій, змін розмірів виробів, а також виключити небажані структурні перетворення основного металу;
- нанесення покриття на локальні поверхні;
- отримання регламентованої однорідної пористості покриття для використання в умовах роботи зі змащенням поверхонь ковзання;
- позитивний вплив на втомну міцність основи, за рахунок отримання при ПН шаруватої структури покриття, на відміну від стовпчастої, що утворюється при осадженні з газової або парової фази, дифузійному насиченні;
- нанесення покриття з мінімальними припусками для подальшої механічної обробки;
- можливість використання для адитивних технологій або формоутворення деталей (ПН виробляють на поверхню форми-оправлення, яка після закінчення процесу видаляється, залишається оболонка з напиленого матеріалу);
- зменшений рівень шуму та випромінювання;
- надійність та стабільність обладнання, високий ресурс елементів плазмотрону, за рахунок оптимізації умов охолодження та забезпечення плавного наростання та падіння струму;
- низька витрата аргону;
- маневреність та можливість автоматизації процесу.

Тліючий розряд отримав своє найменування через присутність в мішені (катоді) так званого перетліючого світіння. Це виблиск обумовлюється великим падінням можливості в тісному шарі об'ємного заряду біля катода. До області ТС прилягає світ фарадеева темного простору, що переходить на позитивний стовпчик, який є самостійною частиною розряду, не відповідної від інших верств розряду. Поблизу анода, крім того, існує легкий шар об'ємного заряду, який називається анодним пластом. Інша частина міжелектродного інтервалу захоплена квазінейтральною плазмою. Таким чином, в камері простежується растрове сийво з темних і ясних смуг, що чергуються.

Як зносостійке покриття в основному використовуються сплави на нікелевій

або кобальтовій основі і їх суміші з модифікаторами з тугоплавких і ультрадисперсних металів, карбідів, нітридів, оксидів та ін., які забезпечують утворення зміцнюючих фаз і покращують структуру покриття.

У нанесеному з такого порошку покритті частки карбідів грають роль зносостійкої основи, а нікель виступає в якості пластичної оболонки, що забезпечує адгезію покриття до поверхні деталі і його низьку пористість. Хімічний склад порошку карбіду хрому-титану, %: 30% (TiC + Cr₃C₂) +70% Ni.

Нанесення порошку здійснюється на плазмовій установці Metco 9MC. В якості транспортуючого газу використовується аргон, плазмоутворюючого - аргон і кисень. Покриття наноситься на попередньо оброблену поверхню деталі, яка підлягає відновленню, з шорсткістю не вище Ra1.6. Покриття наноситься на наступних режимах наведених у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Режими плазмового напилення покриттів на Установці Metco 9MC

Напилювальний порошок	Струм, А	Напруга, В	Тиск газів, МПа	Витрати газу, л/хв			Дистанція напилення, мм
				плазмоутворюючий		транспортуючий	
				аргон	водень	аргон	
ПКХТН -30	550	50	0,006	80	20	20	110

Фракція порошку ПКХТН-30, яка використовувалась для напилення <40 мкм. В процесі плазмового нанесення композит зберігає свою мікроструктуру і характеризується однорідним розподіленням фаз (карбіду титану – хрому та нікелю) по усьому покриттю (рис.4.2). Металографічний аналіз і рентгеноспектральний мікроаналіз аналіз на растровому електронному мікроскопі виявили, що мікроструктура зерен композиту забезпечує у покритті високі і однорідні показники по твердості та зносостійкості.



а)

б)

Рисунок 4.2 - Мікроструктура плазмового покриття ПКХТН-30

а) 100X-кратне збільшення; б) 200X-кратне збільшення

В хімічному складі покриття, після нанесення, крім основних елементів присутній і кисень, унаслідок напилення у кисневому середовищі. Вміст елементів по товщині покриття знаходиться приблизно на одному рівні. Межа між покриттям та основним матеріалом чітка, перехідної дифузійної зони не виявлено.

Покриття ПКХТН-30 характеризуються високою твердістю його складових елементів, зокрема карбідів хрому-титану. Так твердість карбіду хрому коливається в межах 63-68 HRC, в той час як твердість карбіду титану може сягати 73-78 HRC, або бути навіть вищою, що вже відповідає твердості корундів, та алмазів.

Така висока твердість зумовлює використання переважно абразивних методів обробки над лезовою, однак це не завжди зручно, оскільки часто поверхні, що обробляються мають складний профіль, що зумовлює необхідність використання саме лезової обробки.

Для пошуку оптимального режиму напилення необхідно використовувати методи планування експерименту. Зважаючи на велику кількість факторів та принципове значення для функціональних покриттів їх товщини та якості, для оптимізації технологічних параметрів використаємо планування експерименту за концепцією Г. Тагучі.

5 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОКРИТТЯ ЗА КОНЦЕПЦІЄЮ ТАГУЧІ. МЕТОДОЛОГІЯ

Товщина шару покриття ПКХТН-30, що наноситься на деталь, коливається від 0,6 до 1 мм в той-же час рекомендована мінімальна залишкова товщина нанесеного покриття складає від 0,2 до 0,4 мм [2]. При цьому забезпечення стабільності товщини що наноситься на деталь є одним з показників якості цього процесу і від цього наряду залежать витрати на її наступну обробку.

З попереднього аналізу видно, що технологічні параметри (див. табл. 4.1) можуть змінюватися в досить широких межах, що впливає на отримання в тому числі необхідної товщини покриття, якість якого є ключовим питанням при його нанесенні. За концепцією японського інженера та статистика Г. Тагучі (1924 – 2012) якість виробу має бути забезпечена (реалізована) в продукті в ході його виготовлення, а не перевірятися в ньому. Тагучі визначив якість як мінімальний збиток для суспільства, який у вимірних інженерних термінах перетворюється на постійність технічних характеристик виробу. Збиток при цьому визначається з функції втрат:

$$Loss=k \left[S^2 + (\bar{y} - y_0)^2 \right] \quad (5.1)$$

Де $k = const$; S^2 – дисперсія результуючого показника; $\bar{y}$ – середнє значення фактора, що контролюється; y_0 – цільове або номінальне значення фактору що контролюється.

Порівняння підходу Тагучі з традиційним за оцінкою втрат можна побачити на Рис.5.1. За традиційним підходом втрати відсутні допоки технічна характеристика знаходиться в допустимих межах і як тільки виходить за них – втрати дорівнюють 100%. За підходом Тагучі - втрати поступово збільшуються при відхиленні від номіналу і досягають 100% на межах допуску.

Таким чином, критерієм підвищення якості за Тагучі є зменшення розсіювання характеристик відносно номіналу. За цим критерієм і визначаються

оптимальні технологічні параметри в ході експерименту. Нижче наведемо методику планування експерименту, його проведення та обробки результатів.

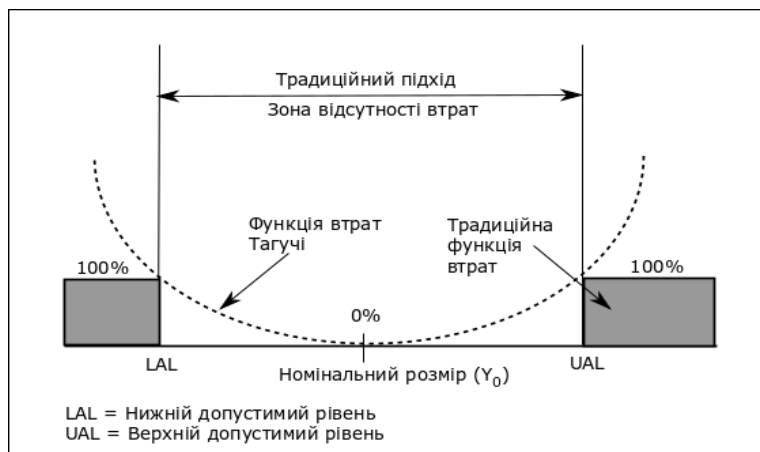


Рисунок 5.1- Порівняння традиційного підходу та підходу Тагучі до втрат

Результуючим показником для оцінки якості покриття приймемо співвідношення сигнал-шум коли номінал є кращим результатом:

$$SN_i^N = -10 \lg(MSD_i) \rightarrow \max \quad (5.2)$$

MSD – середній квадрат відхилення (Mean Square Deviation) відносно цільового значення товщини δ_0 :

$$MSD_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\delta_{ij} - \delta_0)^2 \quad (5.3)$$

Основою планування експерименту за Тагучі є плани у вигляді стандартизованих ортогональних масивів (Orthogonal Array або OA). На відміну від інших методів планування експерименту, за планами Тагучі математична модель не будується, а визначається комбінація факторів яка забезпечує мінімальне розсіювання результуючого показника, в даному випадку товщини покриття, відносно номінального значення, що відповідає максимальному значенню співвідношення сигнал – шум, розрахованого за формулою (5.2). Крім того, плани Тагучі забезпечують значно меншу кількість необхідних дослідів особливо

зважаючи на велику кількість технологічних параметрів. Оскільки в якості варіанту нанесення покриття ми розглядаємо використання порошку, то відповідно до табл. 4.1 маємо $m = 10$ технологічних параметрів (факторів). Порівняння кількості дослідів за повним факторним експериментом та за масивами Тагучі наведено в табл.5.1.

Таблиця 5.1 - Порівняння кількості необхідних дослідів для повного факторного експерименту та за планами Тагучі

Факторів	Рівнів	Кількість дослідів	
		Повний факторний експеримент	План Тагучі
2	2	4	4
3	2	8	4
4	2	16	8
7	2	128	8
15	2	32768	16
4	3	81	9
10	3	59049	12

Для 10 факторів скористаємося частиною ортогонального масиву Тагучі в якому кожен фактор змінюється на $n = 3$ рівнях - $OA_{12}(3^{10})$ [8]. План експерименту на основі вибраного ортогонального масиву буде мати вигляд у відповідності з табл. 5.2. Кожен з 12 дослідів буде мати $n = 3$ повтори для визначення розсіювання відносно номіналу – MSD та співвідношення сигнал-шум – SN. Далі буде визначатися комбінація факторів, що забезпечує максимальне значення SN.

Таблиця 5.2 - План експерименту - Ортогональний масив Тагучі $OA_{12}(3^{10})$

N	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	Повтори δ			MSD	SN
											1	2	3		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
2	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3					
3	1	2	3	1	2	3	3	1	2	2					
4	1	3	2	1	3	2	3	2	1	3					
5	2	3	1	3	2	1	3	3	2	1					
6	2	3	2	1	1	3	2	3	3	2					
7	2	1	3	3	3	1	2	2	1	2					
8	2	2	3	3	1	2	1	1	3	3					
9	3	2	1	2	3	3	1	3	1	2					
10	3	2	2	2	1	1	3	2	3	1					
11	3	3	3	2	3	2	2	1	2	1					
12	3	1	2	3	2	3	1	2	2	3					

Значення рівнів факторів наведено в табл. 5.3

Таблиця 5.3 – Значення рівнів факторів

№	Технологічний параметр (фактор)	Умовне позначення	Значення технологічного параметру (фактору) відповідно до рівня		
			1	2	3
1	Напруга на дузі – U_d , В	X1	450	500	550
2	Сила струму – I_d , А	X2	40	50	60
3	Витрати плазмоутворюючого газу – $G_{пл}$, л/хв	X3	40	60	80
4	Масові витрати порошку – G_p , г/с	X4	0,25	1	2
5	Витрати транспортуючого газу – G_t , л/хв	X5	10	15	20
6	Дистанція напилення – L_d , мм	X6	50	150	300
7	Швидкість відносного переміщення плазмотрону відносно виробу- $V_{пл.}$, мм/хв;	X7	20	25	30
8	Число обертів циліндричної деталі - $n_{дет.}$, об/хв	X8	9	12	14
9	Тиск газів - P , МПа	X9	0,06	0,12	0,2
10	Грануляція порошку – C , мкм	X10	10	50	100

Обробка результатів експерименту виконується в наступній послідовності.

1. За результатами експерименту згідно табл. 5.2 визначаються ефекти факторів на кожному рівні. Залежності для визначення ефектів наведені в табл. 5.4

2. Для кожного фактору побудувати діаграми «фактор/рівень – ефект». Приклад наведено на рис. 5.2

3. З графіку «фактор/рівень – ефект» вибрати комбінацію рівнів що забезпечують максимальний відповідний ефект показника сигнал-шум. Ця комбінація забезпечить мінімальне розсіювання відносно номіналу. З прикладу наведеного на рис. 5.2 частина цієї комбінації буде мати вигляд: X1/1, X2/2, X3/3 ...

4. В умовах визначених за п. 3 тобто на відповідних рівнях факторів провести перевірочний дослід, особливо якщо виявлена оптимальна комбінація не відповідає ні одній з умов табл. 5.2

Таблиця 5.4 – Розрахунок ефектів факторів для кожного рівня

Технологічний параметр (фактор)	Умовне позначення	Ефект фактору відповідно до рівня		
		1	2	3
Напруга на дузі – $U_d, В$	X1	$(SN_1 + SN_2 + SN_3 + SN_4)/4$	$(SN_5 + SN_6 + SN_7 + SN_8)/4$	$(SN_9 + SN_{10} + SN_{11} + SN_{12})/4$
Сила струму – $I_d, А$	X2	$(SN_1 + SN_2 + SN_7 + SN_{12})/4$	$(SN_3 + SN_8 + SN_9 + SN_{10})/4$	$(SN_4 + SN_5 + SN_6 + SN_{11})/4$
Витрати плазмоутворюючого газу – $G_{пл}, л/хв$	X3	$(SN_1 + SN_2 + SN_5 + SN_9)/4$	$(SN_4 + SN_6 + SN_{10} + SN_{12})/4$	$(SN_3 + SN_7 + SN_8 + SN_{11})/4$
Масові витрати порошку – $G_{п}, г/с$	X4	$(SN_1 + SN_3 + SN_4 + SN_6)/4$	$(SN_2 + SN_9 + SN_{10} + SN_{11})/4$	$(SN_5 + SN_7 + SN_8 + SN_{12})/4$
Витрати транспортуючого газу – $G_T, л/хв$	X5	$(SN_1 + SN_6 + SN_8 + SN_{10})/4$	$(SN_2 + SN_3 + SN_5 + SN_{12})/4$	$(SN_4 + SN_7 + SN_9 + SN_{11})/4$
Дистанція напилення – $L_d, мм$	X6	$(SN_1 + SN_5 + SN_7 + SN_{10})/4$	$(SN_2 + SN_4 + SN_8 + SN_{11})/4$	$(SN_3 + SN_6 + SN_9 + SN_{12})/4$
Швидкість відносного переміщення плазмотрону відносно виробу – $V_{пл}, мм/хв$	X7	$(SN_1 + SN_8 + SN_9 + SN_{12})/4$	$(SN_2 + SN_6 + SN_7 + SN_{11})/4$	$(SN_3 + SN_4 + SN_5 + SN_{10})/4$
Число обертів циліндричної деталі – $n_{дет}, об/хв$	X8	$(SN_1 + SN_3 + SN_8 + SN_{11})/4$	$(SN_4 + SN_7 + SN_{10} + SN_{12})/4$	$(SN_2 + SN_5 + SN_6 + SN_9)/4$
Тиск газів – $P, МПа$	X9	$(SN_1 + SN_4 + SN_7 + SN_9)/4$	$(SN_3 + SN_5 + SN_{11} + SN_{12})/4$	$(SN_2 + SN_6 + SN_8 + SN_{10})/4$
Грануляція порошку – $C, мкм$	X10	$(SN_1 + SN_5 + SN_{10} + SN_{11})/4$	$(SN_3 + SN_6 + SN_7 + SN_9)/4$	$(SN_2 + SN_4 + SN_8 + SN_{12})/4$

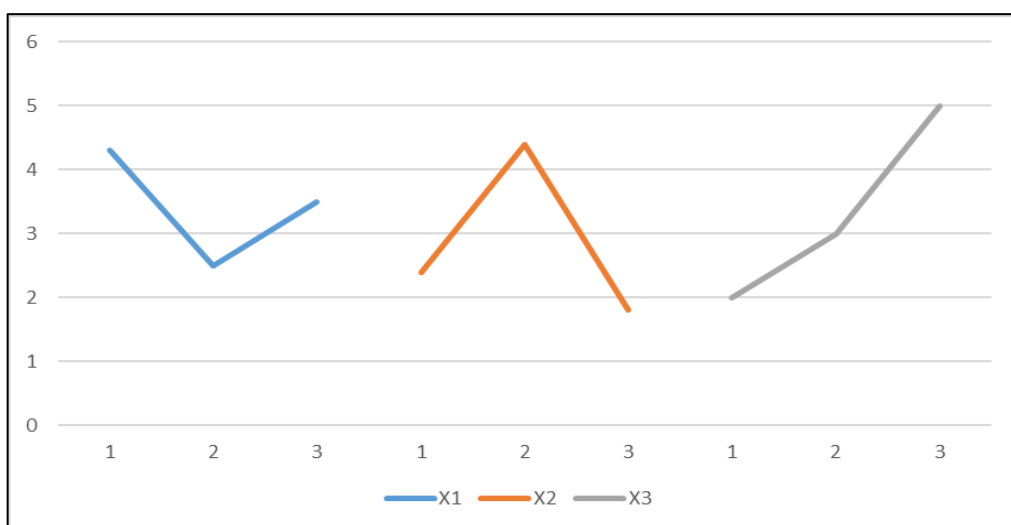


Рисунок 5.2 – Приклад побудови діаграми ефектів

5. Для виявлення впливу факторів провести специфічний дисперсійний аналіз (ANOVA) за приведеною нижче послідовністю:

а) Загальна сума відгуків:

$$T = \sum_{j=1}^{12} SN_j \quad (5.4)$$

б) Коригуючий фактор

$$CF = T^2 / 12 \quad (5.5)$$

в) Загальна дисперсія:

$$S_T^2 = \left[\sum_{j=1}^{12} SN_j^2 \right] - CF \quad (5.6)$$

г) Сума відгуків для певного рівня l фактору X_i

$$Q_{X_i}^l = \sum_{\{j | X_{ij}=l\}}^{12} SN_j \quad (5.7)$$

д) Загальна дисперсія фактору X_i

$$S_{X_i}^2 = \left[\sum_{j=1}^3 \frac{(Q_{X_i}^j)^2}{4} \right] - CF \quad (5.8)$$

е) Загальна дисперсія помилки:

$$S_e^2 = S_T^2 - \sum_{j=1}^{10} S_{Xj}^2 \quad (5.9)$$

ж) Кількість рівнів свободи фактору X_i . Оскільки кожен з факторів варіюється на трьох рівнях ($u_{Xi} = 3$), кількість ступенів свободи для кожного фактору буде однаковою:

$$f_{Xi} = u_{Xi} - 1 = 3 - 1 = 2 \quad (5.10)$$

з) Загальна кількість ступенів свободи:

$$f_T = N \cdot n - 1 = 12 \cdot 10 - 1 = 119 \quad (5.11)$$

і) Кількість ступенів свободи для дисперсії помилки:

$$f_e = f_T - \sum_{i=1}^m f_{Xi} = 119 - \sum_{i=1}^{10} 2 = 119 - 20 = 99 \quad (5.12)$$

ї) Дисперсія фактору:

$$V_{Xi}^2 = \frac{S_{Xi}^2}{f_{Xi}} = \frac{S_{Xi}^2}{2} \quad (5.13)$$

к) Дисперсія помилки:

$$V_e^2 = \frac{S_e^2}{f_e} = \frac{S_e^2}{99} \quad (5.14)$$

л) F – відношення для фактору X_i або помилки e

$$F_{Xi} = \frac{V_{Xi}^2}{V_e^2} \quad (5.15)$$

$$F_e = \frac{V_e^2}{V_e^2} = 1 \quad (5.16)$$

м) Чиста сума квадратів для факторів X_i та помилки e

$$S'_{Xi} = S_{Xi}^2 - f_{Xi} \cdot V_e^2 = S_{Xi}^2 - 2 \cdot V_e^2 \quad (5.17)$$

$$S'_e = S_e^2 + \left(\sum_{j=1}^m f_{Xj} \right) \cdot V_e^2 = S_e^2 + \left(\sum_{j=1}^{10} 2 \right) \cdot V_e^2 = S_e^2 + 20 \cdot V_e^2 \quad (5.18)$$

н) Процентний вплив фактору X_i та помилки e на відгук

$$P_{Xi} = \frac{S_{Xi}^2}{S_T^2} \cdot 100 \quad (5.19)$$

$$P_e = \frac{S_e^2}{S_T^2} \cdot 100 \quad (5.20)$$

о) Перевірка розрахунку

$$P_e + \sum_{i=1}^m P_{Xi} = 100 \quad (5.21)$$

6. Аналіз отриманих даних, висновки та рекомендації.

6 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБРОБЛЮВАНOSTІ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОРОШКОВИХ ПОКРИТТІВ У ДЕТАЛЯХ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

Оброблюваність матеріалів різанням оцінюється за низкою технологічних показників, наведених на Рис. 6.1:

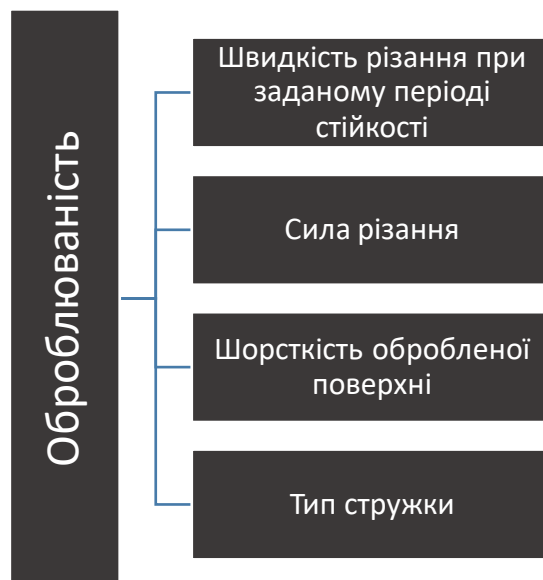


Рисунок 6.1 Характеристики оброблюваності

Той чи інший показник є визначальним в залежності від виду обробки. При чорновій обробці це сила різання та зв'язана з нею потужність; при чистовій – шорсткість, температурні деформації та напрям сходу стружки; при роботі автоматичного обладнання – дроблення стружки та її відведення з зони різання. Але при будь якій обробці якщо обробка здійснюється на оброблюваних центрах з ЧПК на перший план виступає швидкість різання

Наприклад, за умов чорнового оброблення крім максимально можливої продуктивності велике значення мають сили різання і споживана потужність. При чистовій обробці визначальними є шорсткість обробленої поверхні, температурні деформації і напрям сходження стружки. При роботі автоматичного обладнання на перший план виступає проблема дроблення стружки та зручності її відведення від зони різання від якої залежить продуктивність та собівартість обробки.

В значній ступені швидкість різання залежить від інструментального матеріалу. При цьому має бути забезпечена достатня стійкість – не менше часу

обробки однієї деталі та висока надійність інструменту.

З метою визначення матеріалу різального інструменту, що забезпечує максимальну стійкість при обробці покриття ПКХТН-30, в умовах АО «Мотор Січ» були проведені дослідження інструментів із різних марок матеріалів різальної частини, що були опубліковані в роботі [2]. Враховуючи високу твердість покриття яка в середньому коливається в межах від 70 до 80 HRC – використання лезової обробки є дещо обмеженою. Найчастіше обробка покриття ПКХТН-30 виконується шліфуванням кругами з ельбору або алмазу. Однак при необхідності обробки великогабаритних деталей діаметром від 0,5 м і більше, виконання такої обробки шліфуванням вимагає спеціального технологічного обладнання, а велика площа оброблюваних поверхонь призводить до необхідності частих правок шліфкругів, або їхньої частой заміни. Висока твердість покриття унеможливорює використання лезового різального інструменту виготовленого зі швидкорізальних, легованих та вуглецевих сталей через їхню низьку твердість, а також недостатню теплостійкість. Використання різального інструменту зі вставками з твердого сплаву або кубічного нітриду бору виглядає перспективним, зважаючи також на результати досліджень опублікованих в [9].

Для проведення дослідження були використані змінні багатогранні пластини (ЗБП) та різці з напайними пластинами з різних марок твердого сплаву та вставками з кубічного нітриду бору. Для обробки була використана відремонтована кільцева деталь із відновленим покриттям ПКХТН-30 на поверхні діаметром 850 мм, шириною 20 мм. Обробка виконувалась на верстаті МК-163 без охолодження [2].

Були використані ЗБП із геометрією WNMG 160408 різних марок твердого сплаву від низки виробників, а також токарні прохідні різці з напайною пластиною із твердого сплаву BK10XOM.

При обробці спостерігався прискорений абразивний знос головної і допоміжної різальних кромки із перших секунд обробки, що фактично призводило до відсутності різання. Використання різців власного виробництва з напайними пластинами з твердого сплаву TPGN 110308 KCU10 виробництва фірми "Kennametal", які були переточені «на гостро» ($\gamma=0^\circ$, $\phi=90^\circ$, $\phi_1=2^\circ$, $\alpha_{1,2}=6^\circ$),

дозволило досягти прийняттого результату за параметром стійкості, хоча різець необхідно було переточувати після кожного проходу. (табл. 6.1).

Обробка поверхонь різцями із ЗБП на основі кубічного нітриду бору VBMW 160408 BUX220 виробництва фірми "Holex" з однією різальною кромкою, та VBGW160408NU2 BNХ10 виробництва "Sumitomo" з двома різальними кромками, а також різцями з напайними пластинами із гексаніту-Р показала задовільні результати. При однакових умовах досліджень пластини VBGW160408NU2 BNХ10 показали стійкість у два рази вищу в порівнянні з пластинами VBMW 160408 BUX220 (табл.6.1), а також дозволили досягти на 60% вищої швидкості різання в порівнянні із різцями, оснащеними пластинами з гексаніту-Р [2]. Режими різання представлені в Табл. 6.1, а результати досліджень – стійкість інструменту та величину ділянки зносу – на діаграмі Рис. 6.2, де Т – час стійкості однієї різальної кромки; hз – величина зносу по задній поверхні.

Таблиця 6.1 – Режими різання

Інструмент	n, об/хв	V, м/хв	S, мм/об	t, мм
TPGN 110308 KCU10 «Kennametal»	5	12,5	0,11	0,15
Гексаніт-Р	5	12,5	0,11	0,15
VBMW 160408 BUX220 «Holex»	8	21,5	0,07	0,1
VBGW 160408 BNХ10 «Sumitomo»	8	21,5	0,07	0,1

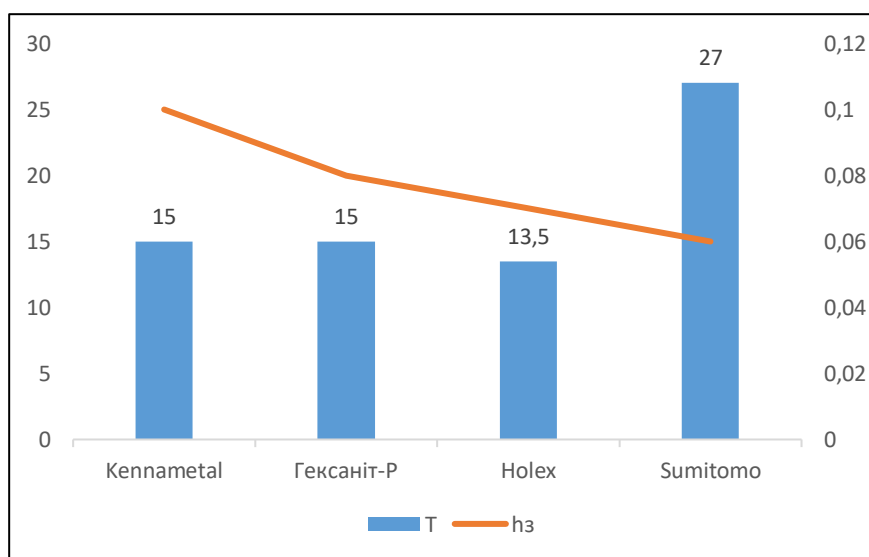


Рисунок 6.2 – Результати дослідження стійкості та ділянки зносу

За результатами проведених досліджень виявлено, що найбільш прийнятним варіантом забезпечення оброблюваності зносостійких порошкових покриттів в деталях авіаційних двигунів є використання різців, оснащених пластинами із кубічного нітриду бору, які мають кращі різальні властивості і найбільшу стійкість, яка в 1,5-2 рази перевищує стійкість пластин із твердого сплаву. Обробка твердим сплавом може виконуватись виключно пластинами заточеними «на гостро» та з індивідуально підбраною геометрією різальної частини.

Сучасною тенденцією забезпечення високих показників швидкості при заданій стійкості та надійності є використання зносостійких покриттів, яким крім того мають забезпечити фізико – механічні властивості у відповідності з діаграмою Рис. 6.3

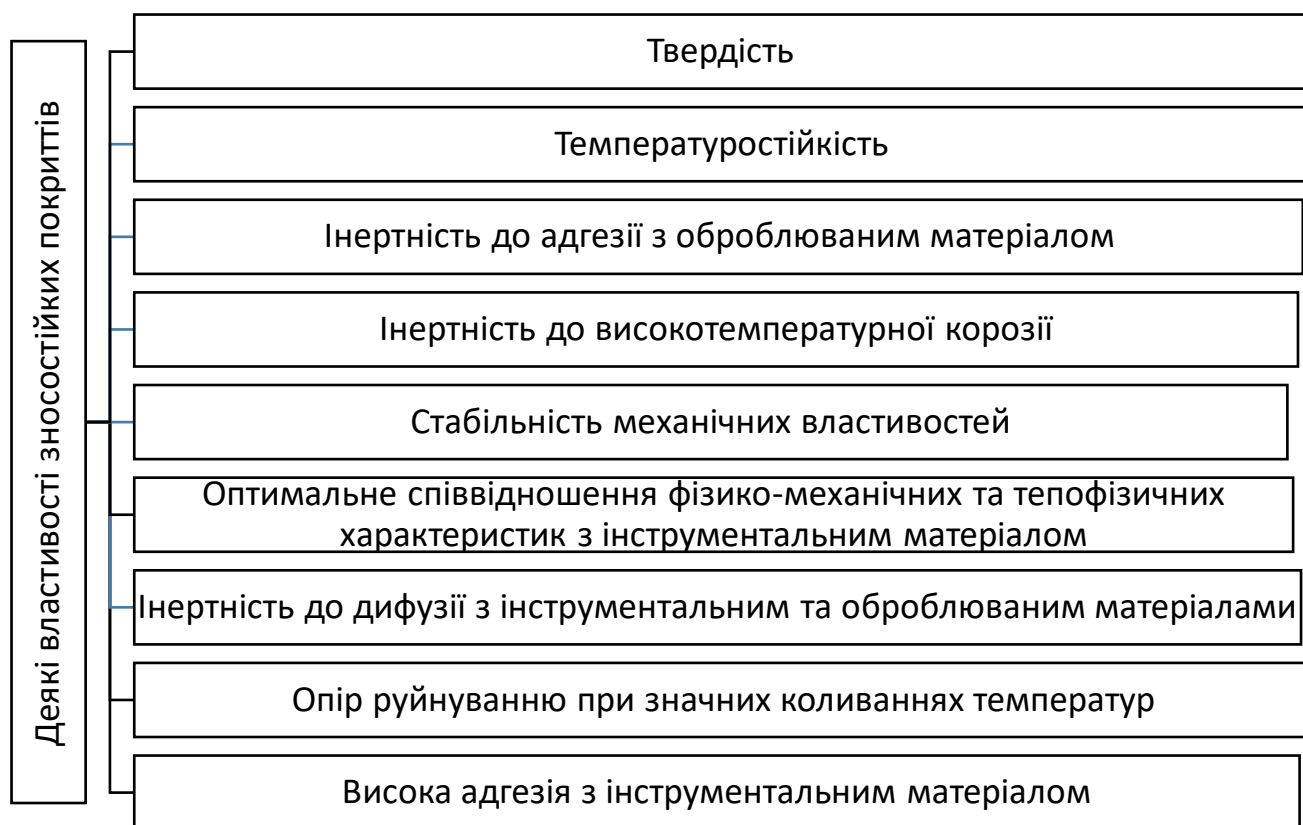


Рисунок 6.3 – Властивості зносостійких покриттів

Крім того, існують загальні вимоги до покриттів (Рис. 6.4) які забезпечуються в тому числі технологією їх нанесення.

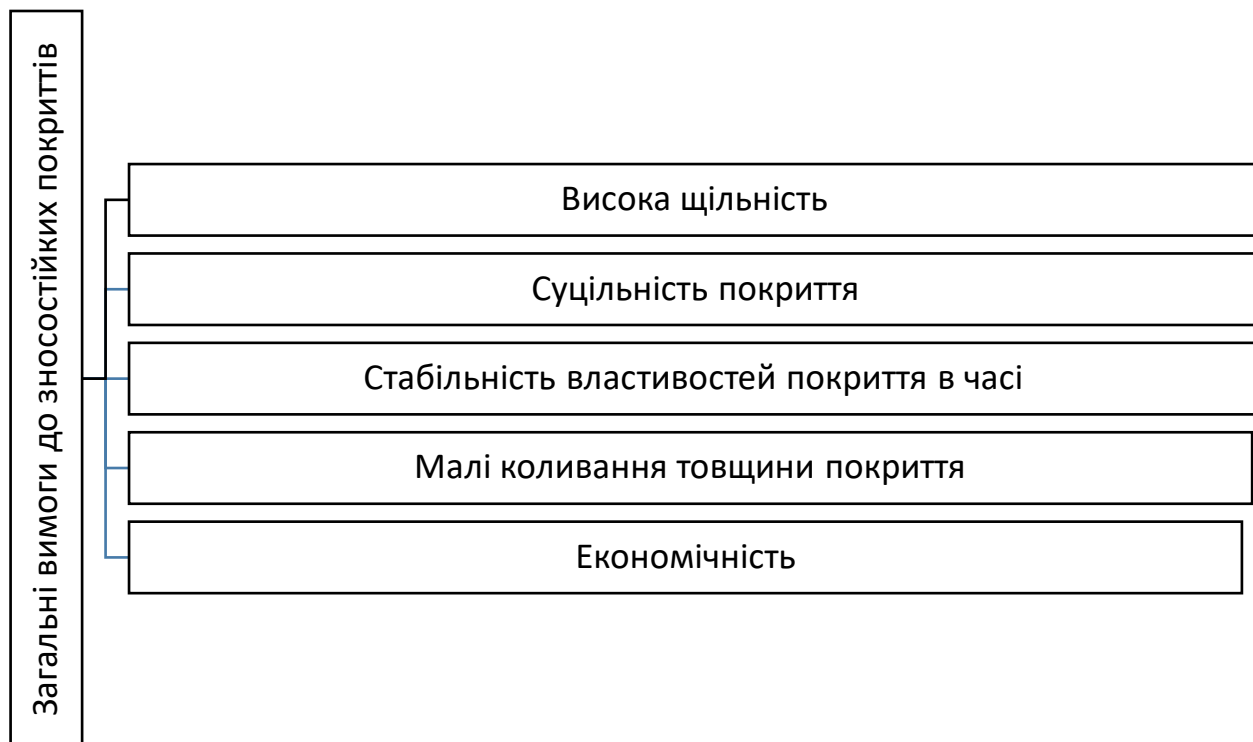


Рисунок 6.4 – Загальні вимоги до зносостійких покриттів

В сучасному виробництві все більше застосовуються композиційні і багатошарові покриття, які максимально задовольняють весь комплекс іноді суперечливих вимог до покриттів на різальному інструменті. В цьому випадку можливо зберегти високу твердість при високих температурах і при цьому бути пасивними до оброблюваного матеріалу.

В роботі [9] вказується на перспективність використання інструменту з КНБ який до того-ж має зносостійке покриття. Рекомендується використовувати надтверді наноконпозиційні покриття на основі $n\text{-TiC}/\alpha\text{-C}$ які є новою генерацією матеріалів. Вони складаються, як мінімум, з двох фаз з нанокристалічною і аморфною структурою [9]. Маючи розмір зерна до 10 нм і підвищену роль граничних зон, які оточують окремі зерна, такі покриття ведуть себе по іншому в порівнянні з матеріалами, що мають розмір зерна більше 100 нм. та демонструють абсолютно інші властивості тому і є найбільш перспективними. Архітектура

покриття за даними [9] показана на Рис. 6.5

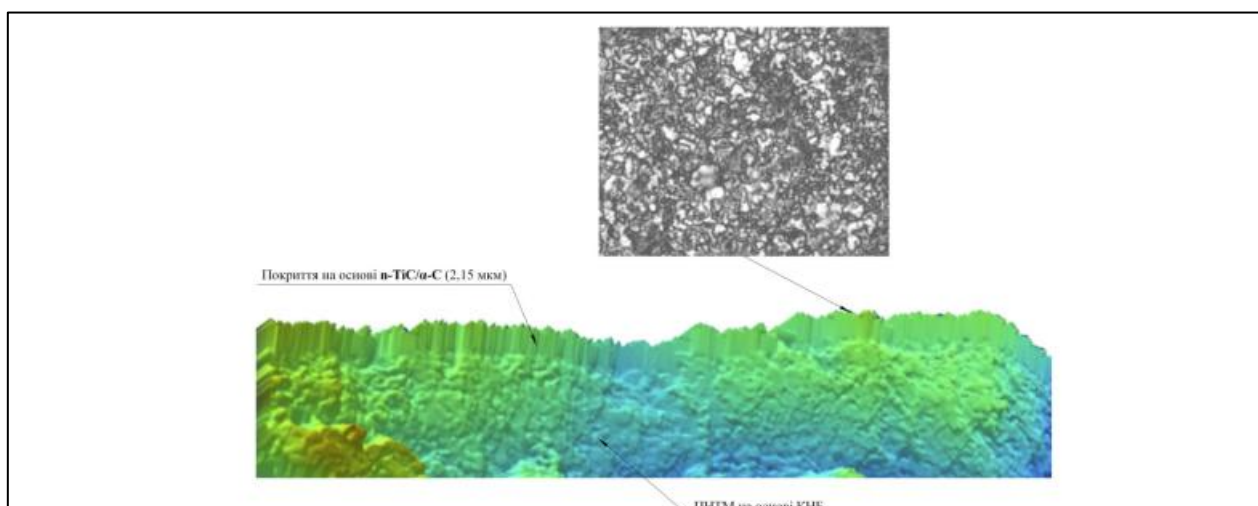


Рисунок 6.5 - Архітектура та зовнішній вигляд поверхні покриття n-TiC/α-C нанесеного на робочі поверхні різальної пластини на основі КНБ.

Механічні властивості покриття наведені в Табл. 6.2

Таблиця 6.2 - Механічні властивості покриття n-TiC/α-C

Покриття	H, ГПа	E, гПа	ε, %
n-TiC/α-C TiC δ = 0.15 мкм + TiC/α-C δ = 2 мкм	26	296	2,694

В тій самій роботі [9] вказується, що температура різання при обробці інструментом з покриттям є дещо нижчою ніж інструментом без покриття, що має також сприяти підвищенню стійкості інструменту. Деякі дані для $S=0.12$ мм/об, представлені на Рис. 6.6. Такий ефект спостерігається при невисоких швидкостях різання і відсутній при швидкісній обробці. Але зважаючи на режими різання наведені в Табл. 6.1 можна висунути припущення, що при обробці деталей з покриттям ПКХТН-30 ефект зниження температури різання і підвищення стійкості має спостерігатися, що безумовно потребує подальшого дослідження.

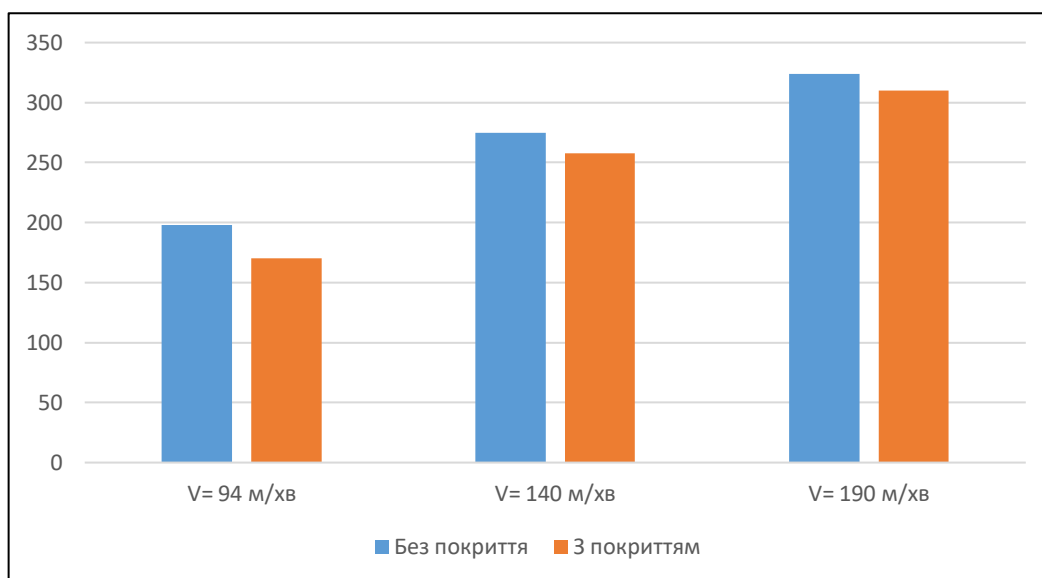


Рис. 6.6. – Температура різанні при обробці сталі інструментом з пластинами на основі КНБ з покриттям та без покриття

На можливе зростання стійкості вказують також отримані результати по швидкості утворення ділянки зносу для інструменту без покриття та з покриттям, що представлено на Рис. 6.7 [9].

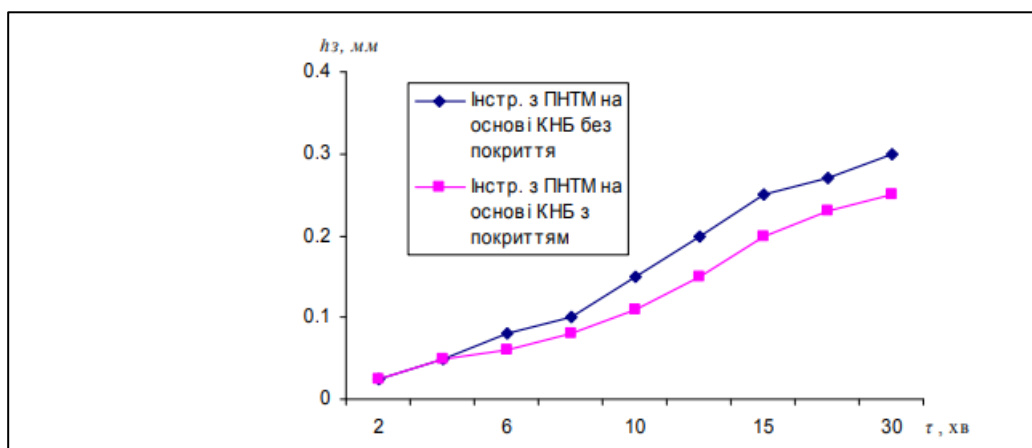


Рисунок 6.7 - Залежність ширини фаски зносу інструменту по задній поверхні від часу ($v = 94$ м/хв.; $S = 0,12$ мм/об; $t = 0,3$ мм)

Підсумовуючи наведені данні можна вказати - основними функціями покриття на ріжучих інструментах, оздобленими пластинами на основі КНБ, є [9]:

“1. Підвищення надійності роботи інструмента на етапі припрацювання.

2. Збільшення періоду стійкості інструмента.

3. Інтенсифікація режимів різання.

Інструменти з покриттям мають підвищену працеспроможність в умовах високих температур, що пов'язано з меншою інтенсивністю адгезійної і хімічної взаємодії інструментального і оброблювального матеріалу між собою, а також обмеження впливу елементів довколишнього середовища.”

Висновок. Для обробки деталей авіаційних двигунів з функціональним покриттям ПКХТН-30 рекомендується використовувати інструмент оснащений пластинами на основі КНБ типу VBGW 160408 BNX10 «Sumitomo» на низьких швидкостях різання. Додатковим резервом інтенсифікації процесу різання може бути нанесення на вказані пластини наноструктурованого зносостійкого покриття на основі $n\text{-TiC}/\alpha\text{-C}$.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Аналіз потенційних небезпек

В даній дипломній роботі розглядається установка для іонно-плазмового напилення, основним призначенням якої є плазмове нанесення покриттів. Розглянемо питання виникнення можливих потенційних небезпек під час роботи на установці та заходи щодо охорони праці та першої допомоги у випадку травмування фахівців під час виконання технологічних обов'язків.

Фізичні процеси, які відбуваються при виникненні плазми, зумовлює появу ряду факторів, тривалий вплив яких на організм людини в дозах, перевищуючих допустимі норми, може привести до різноманітних захворювань.

Знання несприятливих факторів, які діють на оператора, який обслуговує устаткування для плазмового нанесення покриття, дозволяє розробити комплекс заходів, які запобігають їх несприятливий вплив на організм працюючого.

Роботи пов'язані з експлуатацією устаткування для нанесення плазмових покриттів відносяться до робіт з підвищеною небезпекою.

Небезпеку при плазмовому напиленні складають наступні виробничі фактори (НПАОП 28.5-1.02-07 «Правила охорони праці при термічній обробці металів").

Фізичні фактори:

- підвищена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень постійного високочастотного шуму;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання в ультрафіолетовому, видимому інфрачервоному та ВЧ-діапазонах;
- небезпечний рівень сили струму в електричній мереж, замикання якої може статись через тіло людини;
- рухомі елементи устаткування.

Хімічні фактори:

- підвищена запиленість повітря робочої зони продуктами взаємодії

плазми з оброблюваними матеріалами (аерозолі, які містяться в якості твердої фази різноманітних металів, їх окисли, карбіди, силіциди, бориди);

– забрудненість повітря робочої зони продуктами його радіолізу (озон, окисли азоту, а також продукти реакції при напиленні).

Також в процесі роботи на персонал можуть діяти такі несприятливі фактори:

1) Подразнення і пошкодження шкіри в окремих випадках при індивідуальній підвищеній чуттєвості шкіри оператора. Може з'являтися почервоніння та свербіж уражених областей.

2) При роботі за комп'ютером на оператора має вплив випромінювання від монітору, що може проявлятися як головний біль, втрата координації та порушення сну, а також нервова напруга, що виникає в разі стресової ситуації та може викликати дратівливість, депресію, втрату апетиту.

3) Потенційні небезпеки, пов'язані з незадовільною організацією робочого місця можуть виникати при порушенні правил організації робочого місця, ергономіки робочого місця та захарашення робочої зони оператора установки.

4) Небезпеки санітарно-гігієнічного характеру можуть виникати внаслідок порушення правил провітрювання приміщення, порушення температурного режиму і можуть призвести до захворювання органів дихання та переохолоджень оператора.

5) Небезпеки, пов'язані з порушенням правил пожежної безпеки можуть виникати у разі недотримання протипожежних норм та виникнення короткого замикання.

6) Небезпеки, пов'язані з проявом наслідків надзвичайних ситуацій можуть виникати внаслідок невідповідності персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

При нанесенні покриття методом плазмового напилення слід дотримуватись НПАОП 28.5-1.02-07 «Правила охорони праці при термічній обробці металів».

Враховуючи вищевикладені несприятливі фактори, розглянемо заходи по забезпеченню безпеки при роботі з установкою [15].

7.2 Заходи по забезпеченню безпеки

До роботи на установках плазмового напилення допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичне обстеження, курс спеціального навчання, атестовані для роботи на електроустановках до 1000 В, на знання “Правил обладнання й безпечної експлуатації ємностей під тиском”.

Для захисту працюючих є нормативи України ДНАОП 0.03-1.07-73 «Санітарні правила організації технологічних процесів та гігієнічних вимог до виробничого устаткування».

Оператори, які працюють з нанесенням плазмових покриттів, повинні бути забезпечені спецодягом і спецвзуттям. До складу комплекту спецодягу повинні входити рукавиці згідно ДСТУ 7239:2011 «Система безпеки стандартів безпеки праці, засоби індивідуального захисту», а також нагрудники з вогнетривкого м'якого матеріалу.

Для захисту від шуму слід застосовувати навушники типу ВЦННІОТ-2 чи антифони ДСТУ EN 352-1-2002 «Засоби індивідуального захисту органу слуху. Вимоги безпеки і випробування».

Для захисту обличчя та очей від впливу світлового випромінювання та ультрафіолетової радіації плазмового струменю, оператори повинні користуватись щітками за ДСТУ EN 170-2001 «Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри для захисту від ультрафіолетового випромінювання. Вимоги до пропускання та рекомендації щодо використання», зі світлофільтрами різноманітної щільності.

Разом із захистом обличчя, необхідно захищати шкіри шиї й грудей від ультрафіолетової радіації за допомогою бавовняної тканини.

Для захисту органів дихання необхідно застосовувати протипильові респіратори за ДСТУ EN 149:2003 “Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні маски для захисту від аерозолів».

Робоче місце повинно бути забезпечено діелектричним килимком, підставкою чи кріпком для установки плазмотрона на час розжигу дуги при ручному напиленні.

Роботи по нанесенню плазмових покриттів повинні відбуватися в кабінах, камерах та тому подібне, внутрішня поверхня яких повинна бути покрита звукопоглинаючими матеріалами.

Кабіни, камери повинні мати витяжну вентиляцію з боковим і нижнім відсмоктуванням, які забезпечують повне видалення аерозолів що утворюються і приточну вентиляцію.

Вентиляційна система плазмових установок повинна бути обладнана блокуванням, яке не дозволяє включати установки при непрацюючій вентиляції. Після завершення роботи вентиляцію необхідно відключити тільки після видалення аерозолів що утворилися.

Забруднене і запилене парами, газами, металевим пилом повітря перед викидом в атмосферу повинно бути очищене за допомогою спеціальних фільтрів.

Всі газові і водяні комунікації повинні бути герметичними. Робота з апаратурою, яка має хоча б незначні втрати газів чи води, забороняється.

Очистка, ремонт устаткування і плазмотронів повинні виконуватись при відсутності напруги і вимкненій газовій системі.

На всіх агрегатах установок, в схемі електроживлення повинні бути пристрої, які закривають струмоведучі частини.

Все електроустаткування, а також металеві частини устаткування, котрі можуть опинитись під напругою при пошкодженій ізоляції, повинні бути заземлені.

Балони з газами повинні бути встановлені на відстані не менш 5 м від плазмотрона, при цьому вони повинні бути надійно закріплені.

В приміщенні плазмового напилення зберігання вогнебезпечних матеріалів (ацетону, бензину і т.п.) забороняється.

Ділянка повинна бути забезпечена засобами пожежогасіння.

При займанні металевих порошків слід використовувати вогнегасні порошки:

- цирконій — гасити графітом, тальком;
- невелику кількість метала можна гасити сухим піском;
- титан — гасити окисом магнію, сухим піском.

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення дослідницької лабораторії, обладнаної персональним комп'ютером (ПК) розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями». Для забезпечення оптимального рівня параметрів повітряного середовища виробничого середовища в холодну пору року температура повітря має складати 25°C, відносна вологість 40...60%, та в теплу пору року 23...25°C з відносною вологістю 40...60% для легкої категорії робіт згідно з ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»

В проекті передбачено: устрій системи водяного опалення приміщення для забезпечення необхідної температури повітря в холодний період року відповідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» В приміщеннях, де немає викидів шкідливих речовин у великій кількості, для забезпечення необхідного повітряобміну 20-25 м³/год для робіт з мінімальним фізичним навантаженням в теплий період року, передбачено устрій штучної механічної загально обмінної вентиляції відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Освітленість (природна і штучна) повинна відповідати оптимальним величинам, визначеним відповідними інструкціями для певних приміщень навчальних закладів, відповідно до вимог діючих санітарних правил. Загальне рівномірне освітлення в приміщенні відповідає вимогам ДБН В.2.5-28- 2018 "Природне і штучне освітлення" та визначається методом світлового потоку.

7.3.1 Вибір системи освітлення.

Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за державними будівельними нормами України. Приймаємо в якості системи освітлення комбіноване освітлення.

7.3.2 Визначення рівня нормованої освітленості (E_n).

За кількісну характеристику освітленості у приміщенні береться найменша освітленість, яка залежить від: розряду зорових робіт, фону, контрасту об'єкта з фоном, системи освітлення. За умовою $E_n = 300$ лк.

7.3.3 Вибір джерела світла.

У якості джерел штучного освітлення використовують лампи розжарювання та газорозрядні лампи. В даній роботі обираємо люмінесцентні лампи. Люмінесцентні лампи у складі світильників при загальному освітленні рекомендовані у приміщеннях висотою до 6 м.

Лампи ЛЛ мають наступні переваги: висока світловіддача (до 75 лм/Вт), висока стабільність світлового потоку, термін експлуатації до 10000 годин, високий індекс кольоропередачі.

Недоліки: висока вартість, повинні обслуговуватись фахівцями, мають складну пускову апаратуру, можливі шум та миготіння, значна пульсація при однофазній схемі підключення.

7.3.4 Вибір типу світильника для обраних ламп.

Проводиться з урахуванням умов навколишнього середовища, характеристики і класу освітлювального приміщення за вибухопожежонебезпекою, обираємо тип світильника ЛПО, зі ступенем захисту $IP = 20$ (2 - захист від твердих тіл до 12 мм, 0 – захист від вологи відсутній), та коефіцієнтом світильника (L/h) (відношення відстані (L) між рядами або сусідніми світильниками у ряду до висоти (h) їхнього підвісу над робочою поверхнею), для світильника ЛПО $L/h = 1,4$.

7.3.5 Оцінка коефіцієнта запасу та коефіцієнта нерівномірності (мінімального) освітлення.

Коефіцієнт запасу k_z враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення,

приймається в залежності від виробничих умов. Коефіцієнт запасу для люмінесцентних ламп в умовах відсутності запилення $k_z = 1,4$.

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), як правило дорівнює: $z = 1,1$ – для люмінесцентних ламп низького тиску.

7.3.6 Оцінка коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення.

В залежності від виділення пилу у процесі роботи для світлих приміщень $r_c=70\%$ (стіни); $r_{ст}=50\%$ (стеля); $r_p=30\%$ (підлога).

Чисельне значення індексу приміщення визначають за формулою (7.1):

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{70}{1,78 \cdot 17} = 2,31 \dots\dots\dots(7.1)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м.

Висоту розміщення світильників на робочою поверхнею розрахуємо за формулою (7.2):

$$h = H - h_p - h_z = 3 - 0,8 - 0,42 = 1,78 \text{ м.}, \quad (7.2)$$

де H – висота виробничого приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м (як правило, висота умовної робочої поверхні $h_p=0,8$ м);

h_z – висота звисання світильника від стелі, м.

Висоту звисання світильника від стелі знайдемо за формулами:

а) розрахуємо кількість рядів світильників у приміщенні за формулою (7.3):

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p)(\frac{L}{h})} = \frac{10}{(3-0,8)1,4} = 3,24 = 4 \text{ ряди.} \dots\dots\dots(7.3)$$

б) розраховуємо максимально припустиму відстань між рядами світильників за формулою (7.4):

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ м.} \quad (7.4)$$

в) розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею за формулою (7.5):

$$h = \frac{L_{max}}{L/h} = \frac{2,5}{1,4} = 1,78 \text{ м.} \quad (7.5)$$

г) висота звисання світильника від стелі знаходимо по формулі (7.6):

$$h_z = H - h_p - h = 3 - 0,8 - 1,78 = 0,42 \text{ м.} \quad (7.6)$$

7.3.7 Значення коефіцієнта використання світлового потоку η

Вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення та індексу приміщення, приймаємо $\eta = 58\%$.

7.3.8 Визначення світлового потоку лампи та загальної кількості світильників проводимо за схемою:

а) визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні за формулою (7.7):

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta} = \frac{300 \cdot 70 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,58} = 55758,6 \text{ лм.} \quad (7.7)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку приміщенні, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа освітлюваної поверхні, м² ;

k_z – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

б) використовуючи (L/h) та h визначаємо максимальну відстань L_{max} між рядами та сусідніми світильниками у ряду за формулою (7.8):

$$L_{max} = (L/h) \cdot h = 1,4 \cdot 1,78 = 2,5 \text{ м.} \quad (7.8)$$

в) визначаємо кількість рядів світильників у приміщенні за формулою (7.9):

$$N_p = \frac{B}{L_{max}} = \frac{10}{2,5} = 4 \text{ ряди} \quad (7.9)$$

г) визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата за формулою (7.10):

$$N^* = \frac{AB}{L_{max}^2} = \frac{70}{6,25} = 11,2 = 12 \text{ шт.} \quad \dots\dots\dots(7.10)$$

д) розраховуємо світловий потік умовного джерела світла за формулою (7.11):

$$\Phi_l^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_l} = \frac{55758,6}{24} = 2323,3 \text{ лм.} \quad (7.11)$$

де N_l – загальна кількість ламп у приміщенні, визначається за формулою (7.12):

$$N_l = N^* \cdot n = 12 \cdot 2 = 24 \text{ шт.} \quad (7.12)$$

де n – кількість ламп у світильнику.

е) – вибираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи Φ_l і знайти коефіцієнт m (співвідношення між розрахунковим світловим потоком лампи Φ^* та фактичним світловим потоком вибраної стандартної лампи Φ_l) за формулою (7.13):

$$m = \frac{\Phi_l^*}{\Phi_l} = \frac{2323,3}{2500} = 0,92 \quad (7.13)$$

ж) визначаємо оптимальну кількість світильників у приміщенні за формулою (7.14)

$$N = N^* \cdot m = 12 \cdot 0,92 = 11,04 = 12 \text{ шт.} \quad (7.14)$$

7.3.9 Визначаємо загальну розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп за формулою (7.15):

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \eta}{s \cdot k_3 \cdot z} = \frac{2500 \cdot 24 \cdot 0,58}{70 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 322,8 \text{ лк.} \quad (7.15)$$

При правильному виборі типу і кількості стандартних ламп повинна виконуватися умова (7.16):

$$E_p = (-10\% \dots +20\%) E_n = 322,8 = 300 \cdot 7,06\% \quad (7.16)$$

7.3.10 Розраховуємо загальну потужність освітлювальної установки за формулою (7.17):

$$P_{\Sigma} = N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}} = 24 \cdot 40 = 960 \text{ Вт} \quad (7.17)$$

7.3.11 Виконуємо ескіз розташування світильників на плані приміщення, враховуючи розмір світильників рис.7.1.

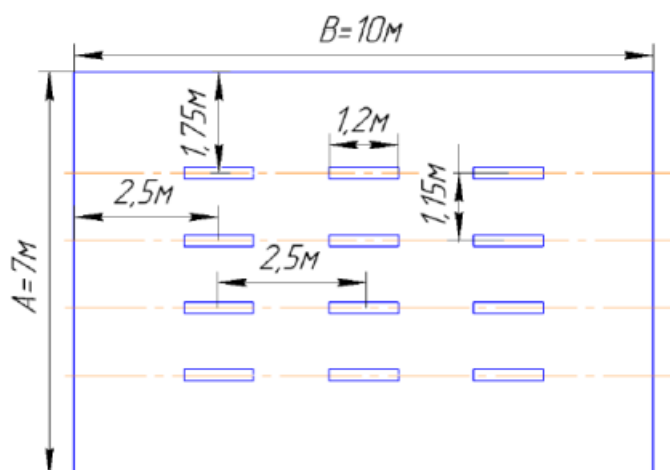


Рисунок 7.1 – Ескіз розташування світильників.

7.4 Заходи протипожежної безпеки

Роботи пов'язані з експлуатацією устаткування для нанесення плазмових покриттів відносяться до робіт з підвищеною небезпекою [28].

Комплекс протипожежних заходів для приміщення, розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні, обладнаному: - згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні, можлива пожежа класу – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В); - відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної безпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали. Оскільки приміщення обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної безпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1- 7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості. У разі виникнення пожежі у приміщенні, обладнаному для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується. Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, тощо) 103 обладнаному встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика

7.5 Організація навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях.

7.5.1 Організація навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях згідно [30]

1. Навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях здійснюється:

- 1) за місцем роботи - працюючого населення;
- 2) за місцем навчання - здобувачів освіти;
- 3) за місцем проживання - непрацюючого населення.

2. Організація навчання діям у надзвичайних ситуаціях покладається:

1) працюючого та непрацюючого населення - на центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, Раду міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування, які розробляють і затверджують відповідні організаційно-методичні вказівки та програми з підготовки населення до таких дій;

2) здобувачів освіти - на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, який розробляє та затверджує навчальні програми з вивчення заходів безпеки, способів захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних надзвичайними ситуаціями, з надання домедичної допомоги за погодженням із центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, та на заклади освіти, що забезпечують здобуття освіти відповідного рівня.

4. Порядок здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях встановлюється Кабінетом Міністрів України.

5. Громадські організації та заклади позашкільної освіти здійснюють навчання діям у надзвичайних ситуаціях відповідно до своїх статутів.

7.5.2 Навчання працюючого населення

1. Навчання працюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях є обов'язковим і здійснюється в робочий час за рахунок коштів роботодавця за

програмами підготовки населення діям у надзвичайних ситуаціях, а також під час проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту.

Навчання працівників центральних органів виконавчої влади, інших органів державної влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування, суб'єктів господарювання із числа керівного складу і фахівців, діяльність яких пов'язана з організацією і здійсненням заходів з питань цивільного захисту, організовується роботодавцем відповідно до порядку проведення навчання керівного складу та фахівців, діяльність яких пов'язана з організацією і здійсненням заходів цивільного захисту, затвердженого Кабінетом Міністрів України.

2. Порядок організації та проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту визначається центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері цивільного захисту.

3. Для отримання працівниками відомостей про конкретні дії у надзвичайних ситуаціях з урахуванням особливостей виробничої діяльності суб'єкта господарювання у кожному суб'єкті господарювання обладнується інформаційно-довідковий куточок з питань цивільного захисту.

4. Особи під час прийняття на роботу та працівники щороку за місцем роботи проходять інструктаж з питань цивільного захисту, пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях.

5. Особи, яких приймають на роботу, пов'язану з підвищеною пожежною небезпекою, мають попередньо пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум). Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік проходять перевірку знань відповідних нормативних актів з пожежної безпеки, а посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично (один раз на три роки) проходять навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки.

6. Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з питань цивільного захисту, зокрема з пожежної безпеки, забороняється.

7. Програми навчання з питань пожежної безпеки погоджуються з центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

7.5.3 Навчання здобувачів освіти

1. Навчання здобувачів освіти діям у надзвичайних ситуаціях та правилам пожежної безпеки є обов'язковим і здійснюється під час освітнього процесу дітей старшого дошкільного віку за навчальними планами і програмами розвитку дітей, учнів - за навчальними планами і програмами з навчальних предметів, студентів на кожному рівні вищої освіти - за програмами навчальних дисциплін та планами об'єктових тренувань з питань цивільного захисту за рахунок коштів, передбачених на фінансування закладів освіти, що забезпечують здобуття освіти відповідного рівня.

2. Для підвищення якості освітнього процесу з дітьми та учнями з питань захисту життя, формування культури безпеки і норм поведінки у надзвичайних ситуаціях у закладах дошкільної освіти щороку проводяться Тижні безпеки дитини, у закладах загальної середньої та професійно-технічної освіти - Дні цивільного захисту.

3. Популяризація серед здобувачів освіти знань у сфері цивільного захисту, у тому числі щодо дій у надзвичайних ситуаціях та правил пожежної безпеки, організовується і здійснюється центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, разом із іншими центральними органами виконавчої влади, Радою міністрів Автономної Республіки Крим, місцевими державними адміністраціями, органами місцевого самоврядування за участю громадських об'єднань шляхом підготовки та реалізації комплексу заходів відповідного спрямування.

Популяризація дуже важлива серед здобувачів освіти знань у сфері цивільного захисту.

7.5.4 Навчання непрацюючого населення

1. Непрацююче населення самостійно вивчає пам'ятки та інший інформаційно-довідковий матеріал з питань цивільного захисту, правила пожежної безпеки у побуті та громадських місцях та має право отримувати від органів державної влади, органів місцевого самоврядування, через засоби масової інформації іншу наочну продукцію, відомості про надзвичайні ситуації, у зоні яких або у зоні можливого ураження від яких може опинитися місце проживання непрацюючих громадян, а також про способи захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних такими надзвичайними ситуаціями.

2. Для надання населенню за місцем проживання інформації з питань цивільного захисту органами місцевого самоврядування створюються консультаційні пункти та призначаються особи, відповідальні за організацію їх роботи.

Створення та функціонування консультаційних пунктів забезпечується відповідно до методики, затвердженої центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері цивільного захисту.

ВИСНОВКИ

В ході дипломної роботи було розглянуто питання виробництва деталей авіаційного двигуна та досліджена проблема їх відновлення за рахунок нанесення функціонального покриття. В ході дослідження були розглянуті різні види покриття і їх функціональність. За результатами роботи отримані наступні результати та зроблені висновки.

1. На прикладі робочого кільця статора компресора високого тиску було проаналізоване покриття ПКХТН-30 його властивості і функціональність. Встановлено, що це покриття є високопродуктивним, менш трудомістким та забезпечує всі необхідні параметри та рекомендується для відновлення деталей вказаного типу.
2. В ході роботи були проаналізовані методи нанесення покриттів в тому числі ПКХТН-30. Серед розглянутих рекомендовано плазмовий метод нанесення покриття для подальшої його обробки. Під час детального розгляду установки для напилення було описано його структуру і технологічні характеристики процесу з його перевагами.
3. В роботі вказано, що однією з характеристик якості нанесеного покриття є стабільність його товщини, яка в тому числі забезпечується технологічними параметрами процесу нанесення, які в свою чергу можуть змінюватися в досить широких межах. Для вибору оптимальної комбінації технологічних параметрів запропоновано використати концепцію Г. Тагучі згідно якої розроблена методика відповідного експерименту в якому досліджується вплив на показник сигнал-шум товщини покриття 10 технологічних показників на 3 рівнях. Методика також передбачає підходи до обробки результатів експерименту, виявленню факторів що мають найбільший вплив на якість покриття, основи для аналізу результатів.
4. Досліджено процес обробки обраного покриття з вибором інструментального матеріалу. На основі аналізу проведених досліджень,

для обробки деталей авіаційних двигунів з функціональним покриттям ПКХТН-30 рекомендується використовувати інструмент оснащений пластинами на основі КНБ типу VBGW 160408 BNX10 «Sumitomo» на низьких швидкостях різання. Зроблено припущення, що додатковим резервом інтенсифікації процесу різання може бути нанесення на вказані пластини наноструктурованого зносостійкого покриття на основі n-TiC/ α -C, що однак потребує подальшого дослідження

5. В розділі охорони праці були проаналізовані шкідливі фактори впливу на робітників, працюючих на даній установці. На основі факторів були запропоновані засоби попередження несприятливих ситуацій, розроблені заходи щодо пожежної безпеки та гігієни і санітарії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технологія виробництва авіаційних двигунів: монографія в 2 ч./ В.О. Богуслаєв, О.Я. Качан, В.Ф. Мозговий, В.Я. Кореневський. - 2-е ізд., перероб.і допов.. - Запоріжжя: Мотор Січ, 2010. - 210с.
2. Бойко І.А., Мельничук П.П., Юр'єва В.В. Проблеми забезпечення оброблюваності зносостійких порошкових покриттів у деталях авіаційних двигунів. Авіація, промисловість, суспільство : матеріали III Міжнар. наук.-практ.конф. (м. Кременчук, 12 трав. 2022 р.) / МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ, Кременчуц. льотний коледж., Наук.парк «Наука та безпека». – Харків : ХНУВС, 2022. С. 207-209.
3. Верещака О.С. Роботоспроможність ріжочого інструмента з зносостійкими покриттями — М., Машинобудування, 1993. - 336с.
4. Кліменко С.А., Береснев В.Н., Копейкіна М.Ю., Гриценко В.Н. Шарові вакуумно-дугові покриття $Ti - NBN - Al_2O_3$, $Nb - NbN - Al_2O_3$ на інструментах, які оснащенні полікрісталічними сверхтвердими матеріалами на основі кубічного нітрида бора/ Фізична інженерія поверхні — 2007 — 5. № 1-2. -С. 57-61
5. Береснев В.М., Копейкіна М.Ю., Кліменко С.А. Багатокомпонентні та багат шарові вакуумно-дугові покриття. / Питання вакуумної науки і техніки. Серія. Вакуум, чисті матеріали, сверхпровідники (17) — 2008 - №1 — с. 152-158,
6. Богуслаєв В.А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Часть I / Богуслаєв В.А., Муравченко Ф.М., Жеманюк П.Д., Колесников В.И. и др. — Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2003 -396 с.
7. Богуслаєв В.А., Яценко В.К., Притченко В.Ф. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД . – К: Манускрипт, 1993. - 332 с.
8. Kaker, Raghu N. Taguchi's orthogonal arrays are classical designs of experiments [Текст] // Raghu N Kaker, Eric S. Lagergren, James L. Filliben / Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. – 1991. – Vol.96, № 5. –

P.577 – 591

9. Клименко, С.А. Вплив зносостійкого покриття $n\text{-TiC}/\alpha\text{-C}$ на працездатність інструментів із ПНТМ на основі КНБ / С.А. Клименко, Ю.Е. Рижов, В.В. Бурикін, А.С. Манохін // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування – 2013.- №3. – С.191-197.

10. Блинов, Ф.Т. Технология механической обработки деталей авиадвигателей /Ф.Т. Блинов, В.П. Фираго. – М.: Оборонгиз, 1951. – 532 с.

11. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. Інженерія поверхні.-Киев: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2007.-558с.

12. Корж В.М., Кузнецов В.Д., Борисов Ю.С., Ющенко К.А. Нанесення покриття: Навчальний посібник/ За редакцією академіка НАН України К.А. Ющенка.-К.: Аристей, 2005.-204 с.

13. Корж В.М. Технологія та обладнання для напилення: навч. посібник. К.: НМЦ ВО, 2000. – 152 с.

14. Правила улаштування електроустановок [Текст] : ПУЕ-2017. – На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с. – (Правила)

15. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [На заміну НАОП 1.1.10-1.01-85 ; чинний з 1997-10-06]. К. : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Нормативно-правовий акт охорони праці)

16. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : НПАОП 40.1-1.21-98. – На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний від 1998-01-09. – К. : Мінпраці України, 1998. – 89 с. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)

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

18. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, [Електронний ресурс]. – На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 ;

чинний від 2014-05-30. – К. : МОЗ України, 2014. – 37 с. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. – (Державні санітарні норми та правила)

19. Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці, [Електронний ресурс]. – Чинний від 1986-10-03. – М. : Держкомпраці СРСР ; Секретаріат ВЦСПС, 1986. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/v2-78400-86>. – (Типове положення)

20. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс] : ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12-10. – К. : МОЗ України, 1998. – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. – (Державні санітарні правила та норми)

21. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. – На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18. – К. : Мінсоцполітики України, 2018. – 6 с. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)

22. О минимальных требованиях безопасности при работе с дисплейным оборудованием [Електронний ресурс] : 90/270/ЕЭС. – Чинний від 1990-05-29. – Брюссель. : Совет Европейских сообществ, 1990. – URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>. – (Директива ; Міжнародний документ)

23. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. Ц. Жидецький. – 5-те вид., доп. – К. : Знання, 2014. – 373 с. + 1 ел. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-617-07-0134-3

24. Юдин, Е.Я. Охрана труда в машиностроении [Текст]: учебник для машиностроительных вузов / С.В. Белов, С.К. Баланцев и др.; под общ. ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983.- 432 с.

25. Люманов, Е.М Безпека технологічних процесів та обладнання на

машинобудівних підприємствах [Текст]: навчальний посібник. – Сімферополь: ВАТ «Сімферопольська міська друкарня» (СГТ), 2008. – 128 с.

26. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці [Текст] : навч. посібник / В. Ц. Жидецький В. С. Джигирей, В. М. Сторожук [та ін.] ; ред. В. Ц. Жидецький ; Українська акад. друкарства, Український держ. лісотехн. ун-т. – Львів : Афіша, 2000. – 352 с. : іл., табл. – ISBN 966-7760-09-X

27. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1-36:2016. – На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 66 с. – (Державний Стандарт України)

28. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Текст] : ДБН В.1.1-7:2016. – На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 47 с. – (Державні будівельні норми)

29. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників [Текст] – На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23. – К. : МВС України, 2018. – 23 с. – (Правила)

30. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Редакція від: 01.01.2018. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

31. Демиденко Г. П. [и др.]. Повышение устойчивости работы объектов народного хозяйства в военное время [Текст] : учебное пособие / Г. П. Демиденко [и др.]. – К. : Вища шк. Головное изд-во, 1984. – 232 с.

32. Шоботов В. М. Цивільна оборона [Текст] : Навчальний посібник / В. М. Шоботов. – Вид. 2-ге, перероб. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.

33. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» (освітня програма «Технологія машинобудування»); 133 «Галузеве машинобудування» (освітня програма «Металорізальні верстати та системи»); 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (освітня програма

«Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок») / Укл. : В.І. Шмирко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 – 28 стор.

34. Методичні вказівки до практичного заняття «Розрахунок зон ураження від вибухів і пожеж, що виникли у наслідок надзвичайної ситуації техногенного характеру або терористичного акту» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та усіх форм навчання / Укл. : М. О. Журавель, О. Б. Курков – Запоріжжя. : ЗНТУ. Каф. ОП і НС, 2017. 16 с

35. Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень методом світлового потоку» з дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів всіх форм навчання /Укл. В.І. Шмирко, О.В. Коробко, А.Є. Островська. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 34 с.

36. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості і напруженості праці» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та усіх форми навчання. Укл.: М. І. Лазуткін, М. О. Журавель - Запоріжжя: ЗНТУ. Каф. ОП і НС, 2018 р. – 44 с.