

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
(ЗАОЧНА ФОРМА НАВЧАННЯ)  
КАФЕДРА ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ  
СУДЕН**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри

канд. техн. наук, доц.

\_\_\_\_\_ Попов О.В.

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ  
«ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН І  
АВІАДВИГУНІВ»

**Тема: Удосконалення технологічних процесів нанесення  
зносостійких покриттів газотермічними методами»**

**Виконав:** \_\_\_\_\_ **О.О. Самохліб**

**Керівник:** канд.техн. наук, проф. \_\_\_\_\_ **О.І. Духота**

**Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:**

**охорона праці:** канд. техн. наук, доц. \_\_\_\_\_ **В.І. Казанець**

**охорона навколишнього  
середовища:**

**д-р. сельгосп. наук, проф.** \_\_\_\_\_ **М.М. Лісовий**

**Нормоконтролер** \_\_\_\_\_

**Київ 2021**

## НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут інноваційних освітніх технологій  
Кафедра технологій виробництва та відновлення авіаційної техніки  
Освітній ступінь «Магістр»  
Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»  
Освітньо-професійна програма «Технічне обслуговування та ремонт  
повітряних суден і авіадвигунів»

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

канд.техн.наук, доц.

\_\_\_\_\_ Попов О.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

### ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

### САМОХЛІБА ОЛЕКСАНДРА ОЛЕКСАНДРОВИЧА

1. Тема роботи «Удосконалення технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів газотермічними методами» затверджена наказом ректора від 20.11.2020 року № 2864/ст.
2. Строк виконання роботи: з 16.11.2020 р. по 28.02.2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: вихідними даними до роботи є системи контролю якості процесів нанесення захистних покриттів дослідного центру «Pratt & Whitney – Paton».
4. Зміст пояснювальної записки: Класифікування методів відновлення захистних покриттів; контроль нанесення захистних покриттів на деталі авіаційної техніки; удосконалення системи управління якістю нанесення покриттів.
5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу: використання газотермічних покриттів у промисловості, методи контролю покриттів, система досягнення конкурентної переваги АСЕ, шестиступінчатий процес контролю нанесення покриттів за програмою АСЕ, особливості удосконалення методів нанесення покриттів.

## 6. Календарний план-графік

№ Поз.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Видача завдання на дипломне магістерське досліджування	16.11.2020 р. – 30.11.2021 р.	
2	Пошук матеріалу до дипломної магістерської роботи	01.12.2020 р. – 10.12.2021 р.	
3	Аналіз процесу напilenня і обладнання для виконання роботи	11.12.2020 р. – 20.12.2021 р.	
4	Забезпечення охорони праці та охорони навколишнього середовища при виконання дослідження	21.12.2020 р. – 30.12.2021 р.	
5	Оформлення дипломної магістерської роботи	10.01.2021 р. – 30.01.2021 р.	
6	Підготовка презентації до захисту дипломної магістерської роботи	01.02.2021 р. – 20.02.2021 р.	

## 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Канд. техн. наук, доцент <b>Казанец В.І.</b>		
Охорона навколишнього середовища	Д-р. сельгосп. наук, проф. <b>Лісовой М.М.</b>		

8. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_ 2020 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Духота О.І.

Завдання прийняв \_\_\_\_\_ Самохлб О.О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи **«Удосконалення технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів газотермічними методами»**

108 с, рисунків 16, таблиць 18, бібл. джер. 52.

**Об'єктом дослідження** є процеси відновлення деталей АТ електродуговим напиленням.

**Предметом дослідження** є основні підходи до удосконалення способу ремонту деталей АТ нанесенням газотермічних покриттів.

**Мета дипломної роботи** - удосконалення технологічних процесів нанесення газотермічних покриттів.

**Метод дослідження** – аналізування процесів систем управління методів нанесення покриттів, вдосконалення процесів системи управління методів відновлення покриттів на авіаційних деталях.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати під час вдосконалення системи управління методів нанесення покриттів на авіатранспортних підприємствах, при відновленні захистних покриттів на деталях авіаційної техніки та під час практичних та теоретичних занять з ремонту авіаційної техніки.

**МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАХИСТНИХ ПОКРИТТІВ, ЗНОСОСТІЙКИ ПОКРИТТЯ, ПРОЦЕСИ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ, ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ, ГАЗОТЕРМІЧНЕ ПОКРИТТЯ**

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1. КЛАСИФІКУВАННЯ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАХИСТНИХ ПОКРИТТІВ.....	10
1.1. Особливості технології відновлення деталей авіаційної техніки.....	10
1.2 Аналіз сучасних технологій нанесення покриттів для відновлення деталей авіаційної техніки.....	13
1.3 Загальна характеристика процесів газотермічного нанесення покриттів.....	16
1.4 Процеси газотермічного напилення покриттів.....	18
1.5 Основні способи газотермічного нанесення покриттів.....	21
Висновки до розділу 1.....	31
2. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ НАНЕСЕННЯМ ГАЗОТЕРМІЧНОГО ПОКРИТТЯ.....	32
2.1 Технологія відновлення деталей АТ.....	32
2.2 Моделювання технологічного процесу відновлення деталей АТ.....	36
2.3 Експериментальні дослідження параметрів газотермічного потоку при нанесенні електродугових покриттів.....	41
2.4 Структурутворення і властивості відновлених поверхонь.....	48
2.5. Вплив попередньої підготовки відновлюваних поверхонь на їх властивості після нанесення покриття.....	49
2.6 Методи обробки відновлених поверхонь на якість деталей.....	51
Висновки до розділу 2.....	54
3. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НАНЕСЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ.....	55
3.1. Розробка технологічного процесу відновлення деталей АТ електродуговими покриттями.....	55
3.2 Попередня обробка відновлюваних поверхонь.....	58
3.3 Нанесення електродугових покриттів з дротяних сталей.....	64

	6
3.4 Устаткування для відновлення поверхонь ЕДН.....	69
3.5 Обробка поверхонь, відновлених ЕДН.....	72
3.6 Контроль якості поверхонь, відновлених електродуговим напиленням.....	74
Висновки по розділу 3.....	75
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	76
4.1 Небезпечні та шкідливі фактори при обробці статистичних даних на ЕОМ.....	76
4.2 Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих факторів.....	76
4.3 Забезпечення пожежної та вибухової безпеки.....	88
Висновки до розділу 4.....	91
5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	92
5.1 Аналіз екологічної небезпеки експлуатації та ремонті літака.....	92
5.2 Розрахунок контрольного параметру емісії двигуна Д-30КУ-154 на відповідність емісійним вимогам ІСАО.....	93
Висновки до розділу 5.....	100
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	102

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ**

АД	- авіаційний двигун
АТ	- авіаційна техніка
ГСК	- генератор постійного струму
ЕМП	- електромагнітне поле
ЕОМ	- електронно-обчислювальна машина
ЗПС	- злітно-посадкова смуга
КПО	- коефіцієнт природньої освітленості
ЛА	- літальний апарат
ЛТС	- льотно-технічний склад
МОЗ	- Міністерство охорони здоров'я
МОР	- мастильно-охолоджуюча рідина
НД	- нормативні документи
СН	- санітарні норми
СНіП	- санітарні норми і правила
СОП	- самогенеруюча органічна плівка
СУ	- силова установка
ТУ	- технічні умови

## ВСТУП

Надійність і довговічність сучасних літаків багато в чому визначається надійністю агрегатів і механізмів, працездатність яких у свою чергу залежить від багатьох зовнішніх факторів. У комплексі заходів, спрямованих на вирішення проблеми забезпечення їх ефективності, важливе місце займає розробка та застосування технологічних процесів поверхневого зміцнення та відновлення деталей сучасної техніки. Поверхнєве зміцнення деталей машин шляхом нанесення на їх поверхню зносостійких покриттів дозволяє значно знизити витрати матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів, забезпечити їх ефективність у різних умовах експлуатації, підвищити якість [3].

Підвищення якості деталей машин і механізмів неможливе без використання зносостійких і антифрикційних покриттів для захисту їх робочих поверхонь, а саме тих, що працюють в умовах інтенсивного зносу. Отримання покриттів здійснюється шляхом розробки та практичного використання різноманітних методів їх нанесення.

Аналіз методів нанесення покриттів показав, що найбільш перспективними за співвідношенням ціна-якість є газотермічні покриття, саме за допомогою контролю процесу напилення можна отримати покриття з високими зносостійкими та антифрикційними властивостями. Переваги газотермічного методу полягають у тому, що можна наносити покриття з будь-яких елементів: порошків, дротів, гнучких шнурів, а також отримати високі фізико-механічні властивості: висока твердість, адгезія до основи, висока стійкість. Застосування методів газотермічного напилення зносостійких і міцних шарів металу на робочих поверхнях деталей машин і технологічного обладнання дозволяє не тільки забезпечити їх зміцнення, а й вирішити комплекс взаємозалежних техніко-економічних завдань, спрямованих на економія ресурсів. До таких завдань відноситься зниження питомого вмісту металів у виробі та його елементах на одиницю основних



характеристик за рахунок підвищення їх міцності та зменшення маси за рахунок використання сипучих і поверхнево-армованих матеріалів. Відновлення зношених поверхонь методами газотермічного напилення дозволяє поєднати процеси створення нових шарів металу замість зношених з процесами їх зміцнення. **Об'єктом дослідження** є процеси відновлення деталей АТ електродуговим напиленням.

**Предметом дослідження** є основні підходи до удосконалення способу ремонту деталей АТ нанесенням газотермічних покриттів.

**Мета** дипломної роботи - удосконалення технологічних процесів нанесення газотермічних покриттів.

**Методи дослідження.** Процес відновлення деталей АТ досліджувався на експериментальних стендах, створених на базі устаткування для нанесення газотермічних покриттів. Достовірність отриманих результатів забезпечувалась використанням апробованих методів дослідження мікроструктури, механічних і триботехнічних властивостей відновлених поверхонь. При виконанні роботи використовувались методи математичного моделювання і обробки статистичних даних.

Практичне значення результатів дипломного проекту визначається оптимізацією технологічних процесів нанесення газотермічних покриттів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень удосконалено технологію ремонту деталей АНТ методом електродугового напилення, що дозволило знизити інтенсивність зношування відновлених поверхонь більш ніж в 2 рази, замінити дорогі порошкові дротяні матеріали на більш дешеві й менш дефіцитні сталеві суцільного перерізу із однаковою зносостійкістю та ресурсом, підвищити ресурс деталей в 1,5 рази у порівнянні з традиційними технологіями ремонту деталей із застосуванням електродугового напилення.

# РОЗДІЛ 1

## КЛАСИФІКУВАННЯ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАХИСТНИХ ПОКРИТТІВ

### 1.1. Особливості технології відновлення деталей авіаційної техніки

Авіаційна техніка (АТ) є основою авіаційного забезпечення польотів цивільної авіації та експлуатується на всіх аеродромах країни [1].

Різноманітність робіт з авіаційного технічного забезпечення польотів передбачає наявність величезної кількості типів АТ.

У зв'язку з ліквідацією заводів-виробників ВАТ та зростанням вартості запчастин аеропорти України постійно відчувають нестачу запчастин, що є основною проблемою ефективного використання практично всіх типів ВАТ попередніх поколінь.

Важливим фактором при ремонті АТ є перевитрати запчастин імпортного виробництва, дорогих, легованих металів для заміни зношених деталей. У цьому зростають витрати на відновлення зношених стиків, яких додаються збитки від простоїв ВАТ. Таким чином, практика експлуатації літаків поставила низку нових проблем, серед яких однією з основних є проблема збереження та експлуатації «старіючого» парку попередніх поколінь.

У таких умовах запорукою безпеки парку АТ, що відповідає вимогам надійності та безпеки експлуатації, є вдосконалення системи технічного обслуговування та ремонту, підвищення якості всіх видів та форм ремонтно-відновлювальних робіт. Пошук нових технічних рішень актуалізується значним подорожчанням сировини та запчастин.

Тому найважливіший спосіб покращити ремонт деталей ВАТ – це науково обґрунтований пошук передових та менш витратних методів відновлення та підвищення надійності деталей. У процесі експлуатації ВАТ деталі піддаються впливу механічних, кліматичних та інших факторів, які

зазнають різних впливів навколишнього середовища, а саме: навантаження, тертя, вібрацію та удари [13].

Найчастіше деталі ВАТ зазнають комплексу механічних, кліматичних та інших впливів. Для визначення причин виходу з експлуатації частин ВАТ необхідно враховувати результуючу дію сукупної дії цих факторів.

Механічні впливи - статичні, вібраційні та ударні навантаження [13]. Впливи клімату, такі як температура, вологість, домішки повітря, атмосферний тиск і сонячне випромінювання, руйнують деталі.

При зміні температури середовища поверхні деталі відбувається конденсація вологи, що прискорює корозію металів [13]. Під впливом сонячних променів деталі нагріваються, відбувається окиснення поверхні матеріалів, старіння пластмас, розтріскування гуми. Атмосферний тиск впливає на режим теплопередачі деталі та порушує її герметичність. Домішки у повітрі як піску, пилу, диму та промислових газів змінюють режими теплообміну, викликають механічні ушкодження, посилюють корозійні процеси [14].

У процесі експлуатації деталей ВАТ у результаті механічних та інших впливів у них відбуваються руйнівні процеси. Основна причина руйнування поверхонь – тертя – результат поєднання різних типів взаємодії механічних, фізичних, хімічних, електричних та інших процесів, що відбуваються при контакті та відносному русі тіл. Шкідливі прояви цього явища виражаються у зносі та оцінюються безпосередньо за змінами розмірів чи непрямими ознаками і є найчастішим типом порушення роботи частин артеріального тиску [15].

Для вжиття заходів щодо усунення несправностей та підвищення надійності, довговічності та терміну служби деталей АМ необхідно встановити вид зносу, механізм і характер їх зносу [17]. Основними факторами, що визначають тип зносу деталей АМ, є середовище, в якому відбувається знос, динаміка і кінематика відносного руху тіл, характер контакту, властивості матеріалів деталей. Перші три фактори є первинними.

Вони характеризують зовнішні умови експлуатації деталей АМ, визначають якісні та кількісні сторони явищ зносу.

Найпростішим і найпоширенішим видом допустимого зносу є окислювальний знос, тобто процес поступового руйнування поверхонь деталей при терті, що відбувається при взаємодії поверхневих шарів металу з киснем повітря або маслом. Характер та інтенсивність окислювальних процесів змінюються залежно від середовища, типу тертя, швидкості та матеріалу труться тіл, тиску, динамізму прикладеного навантаження, температури [16].

Значна кількість деталей працює в умовах механохімічного зносу, що характеризуються мінімальними значеннями коефіцієнта тертя і зносу. Особливість механохімічного зношування полягає в тому, що в усіх випадках воно зумовлене механічним процесом деформації тонких поверхневих шарів і, водночас, взаємодією активних шарів з агресивними компонентами середовища. Абразивне зношування дуже часто характерне для деталей АМ, у яких руйнування поверхневого шару деталей здійснюється твердими частинками пилу та продуктами згоряння силових установок відпрацьованого літака. Крім твердості абразиву, інтенсивність на знос впливають розмір і форма абразивних частинок [22].

Зносостійкість металу при абразивному зношуванні визначається його здатністю протистояти проникненню абразиву в поверхню і руйнуванню при їх взаємному переміщенні. Від механізму цього процесу залежить успішне вирішення завдань підвищення зносостійкості, довговічності та терміну служби деталей АМ в умовах абразивного зношування.

Види зносу деталей АД можна розділити на такі групи:

- деталі, що працюють у складних умовах абразивного зношування під дією сил тертя, ковзання та удару; при попаданні в них частинок абразивного матеріалу; з пластичною деформацією поверхонь розділу, газоабразивним, корозійним і високотемпературним зносом (головки циліндрів, клапанів, поршнів, поршневих кілець тощо);

- деталі, зношування яких відбувається в результаті спільної дії пластичної деформації, абразивного та інших видів зносу (блоки, корпуси коробок передач і мостів, шестерні, шлицеві вали);

- деталі з переважанням абразивного зносу (деталі ходової частини транспортних засобів АТ);

- Деталі, які працюють в умовах втомного руйнування і при цьому зазнають механічного або хіміко-механічного зносу (колінчасті вали, шатуни, поршневі пальці, вали коробки передач і трансмісії).

Відновлення деталей – це окремо функціонуюча система, в рамках якої здійснюються такі процеси: оцінка стану деталей (дефектація), проектування технологічного процесу (ТП) відновлення, безпосереднє відновлення деталей. Більшість частин АТ відновлені та відремонтовані. Відремонтовані деталі підлягають відновленню. Частини, що не підлягають ремонту, не підлягають ремонту. Ці ж деталі можуть не підлягати ремонту в залежності від наявності дефектів.

Найчастіше реставрується не вся деталь, а її поверхня або окремі елементи. Види відновлення деталей АТ слід класифікувати за видами дефектів та їх наслідків.

Отже, виникнення типових дефектів на деталях АТ зумовлено їх недостатньою поверхневою міцністю, що призводить до зниження стійкості деталей до руйнування в процесі експлуатації.

## **1.2 Аналіз сучасних технологій нанесення покриттів для відновлення деталей авіаційної техніки**

Більшість елементів літака працюють у умовах, у яких робоче навантаження (тиск, нагрівання, вплив докільля тощо. буд.) сприймається переважно їх поверхневим шаром.

У переважній більшості випадків руйнується лише робоча поверхня деталі, яку можна відновити матеріалами з особливими властивостями. При відновленні деталей ВАТ, таких як блоки циліндрів, картери та ін.,

використовуються полімерні матеріали для забезпечення герметичності нерухомих з'єднань. Відновлення деталей шляхом нанесення на зношену поверхню тонкошарового пластикового покриття газополум'яним напиленням.

Епоксидні композиції, що складаються із смол, пластифікаторів, наповнювачів, затверджувачів та інших компонентів, що надають композиції необхідні властивості, також широко використовуються для відновлення артеріального тиску.

Клейовий склад може використовуватися для закладення тріщин у блоках циліндрів двигунів, картерах, коробках передач, коробках передач, корпусах насосів, кришках картерів та коробках передач. З'єднання деталей за допомогою клею застосовується при ремонті автомобілів АТ і в деяких випадках більш прийнятно, ніж зварювання, паяння, клепка через простоту операцій та складність обладнання. За допомогою клею можна з'єднувати деталі з однорідних та неоднорідних матеріалів складної форми та різних розмірів.

Клеї застосовуються при реставрації кузова, для маркування фрикційних накладок на гальмівних колодках і ведених дисках зчеплення, для захисних покриттів тощо. За рахунок утворення зносостійких покриттів на робочих поверхнях деталей АНТ можливе відновлення розмірів деталей, зміцнення їх поверхонь та збільшення ресурсу. В даний час використання при ремонті, відновленні та зміцненні робітників На поверхні деталей зносостійкі покриття обмежені, що є однією з причин їхнього недостатнього ресурсу.

Сьогодні існує безліч способів нанесення покриттів, але жоден з них не є універсальним: один і той самий метод в одних умовах експлуатації може дати позитивний ефект, а в інших - негативний; Кожен метод має свою сферу застосування, один і той же матеріал покриття може застосовуватися по-різному, більшість методів можна розглядати як альтернативні.

Усі відомі способи покриття умовно можна розділити на зміцнення: зі

зміною хімічного складу поверхневого шару; зі зміною структури поверхневого шару; зі зміною структури по всьому об'єму матеріалу; з утворенням покриття на поверхні. Зміцнення шляхом зміни структури поверхневого шару може здійснюватися: наплавленням (газове полум'я, електрична дуга, плазма, лазерний промінь тощо). Зміцнення шляхом створення покриття на поверхні найчастіше здійснюється розпиленням зносостійких складів (плазма, детонація, електрична дуга). Мікродугове окислення використовується для відновлення зношених алюмінієвих деталей.

Для відновлення локальних зон застосовуються термічна обробка та лазерні технології. Хімічна термічна обробка використовується в ремонтній промисловості для підвищення жорсткості і зносостійкості деталі АД, але вона не забезпечує збільшення розмірів деталі. У ремонтному виробництві АД для нарощування зношених поверхонь і легування застосовуються електрофізичні методи обробки. З електрофізичних методів обробки найбільше застосування має електроіскрова обробка деталей АМ, яка заснована на руйнуванні металу при іскровому електричному розряді між електродами.

У випадках, коли дозволяє конструкція деталі, застосовують технологію зміни розмірів на основі пластичної деформації: випрямлення, розподіл, осадження, обтиск, розтягування, накатка, прокатка, технічне та електромеханічне висадження, клепка тощо. Отже, велика кількість альтернативних технологій відновлення вимагає правильного вибору найбільш оптимального, легкого у реалізації та недорогого методу відновлення деталей літака.

У практиці відновлення зношених деталей накопичений великий досвід нанесення покриттів методами термічного напилення. Газотермічні методи, порівняно з іншими методами нанесення покриттів, мають ряд переваг, що сприяють їх більш широкому впровадженню у виробництво: можливість застосування матеріалів різного складу, отримання покриттів із заданими фізико-механічними властивостями, контроль технологічного процесу та

інші. До переваг напилення, особливо цінних для ремонтного виробництва, можна віднести можливість проведення процесу в різних виробничих умовах.

Основними перевагами напилення як методу нанесення покриття при відновленні деталей є висока продуктивність процесу (від 1 до 100 кг/год); відсутність деформації виробів, на які наноситься покриття, оскільки розпилення не викликає значного нагрівання (температура нагріву не перевищує 150 ... 200 ° С); відносна простота обладнання; можливість нанесення покриттів як на локальні ділянки поверхні деталей будь-якої форми, так і на величезні ділянки шириною від 0,03 мм до 2-3 мм [16].

До недоліків напилення можна віднести недостатньо високу міцність зчеплення покриття з металом відновлюваної деталі, значну пористість шару, складність підготовки загартованих поверхонь деталі до напилення, значні втрати металу при напиленні, особливо при реставрації великих деталей. , шкідливі умови праці для персоналу. [16]. Розпилення не можна використовувати для відновлення деталей, що працюють при високих питомих тисках зсуву та стиснення (кулачки розподільного валу, зуби шестерень тощо) без змащення або з періодично поданим мастилом.

### **1.3 Загальна характеристика процесів газотермічного нанесення покриттів**

Процес формування газотермічного покриття полягає в тонкому розпиленні вихідного матеріалу (у разі його компактного стану) на дрібні частинки, нагріванні частинок до розплавленого або пластичного стану та переміщенні їх до контакту з поверхнею деталі. Нагріті і прискорені частинки стикаються з поверхнею підкладки, сплющуються і утворюють тонкі частинки (переплетення), які чіпляються за поверхню деталі. В результаті переплетення охолоджуються і послідовно нарастають один на одного, утворюючи покриття з шаруватою структурою.

Структура, механічні, теплофізичні та інші властивості покриттів,



міцність їх зчеплення з основним матеріалом визначаються структурою і властивостями вихідного матеріалу і перетвореннями в ньому в робочому середовищі і в процесі зіткнення частинок з матеріалом основи. поверхні, включаючи контактну взаємодію матеріалів.

Утворені газотермічні покриття, як правило, мають неоднорідну структуру, оскільки використовувані вихідні матеріали (зазвичай порошки) з гранулометричним складом можуть мати різні фази з різним хімічним складом.

Розпорошений вихідний матеріал (дріт) також утворює частинки різного розміру. Це призводить до відмінностей у швидкості та температурі частинок, що стикаються з поверхнею деталі, а отже, до їх різного агрегатного стану (розплавленого, напіврозплавленого чи твердого).

Кінцева структура покриття може містити пори через погану адгезію частинок різних розмірів або газонасичення, утворення переплетень різного розміру, переплетень з різною фазовою мікроструктурою, утворення газотермічних покриттів нових фаз і утворених тріщин. шляхом накопичення стресу.

Крім того, шарувата структура газотермічних покриттів призводить до анізотропії властивостей у поздовжньому та поперечному напрямках.

Практично будь-які матеріали, які не розкладаються при високих температурах (близько до точки плавлення), піддаються газотермічного розпилення. Практично всі види матеріалів, полімерів, металів і кераміки (та їх комбінації) можна розпилювати при правильному виборі техніки газотермічного напилення та експлуатаційних параметрів ГТП.

## 1.4 Процеси газотермічного напилення покриттів

Технологічний процес газотермічного напилення складається з таких основних операцій: підготовка поверхні твердіючої частини до напилення та розпилення порошоків; покриття; механічна обробка покриття; контроль якості покриття. Загалом схема технологічного процесу напилення порошкових матеріалів має такий вигляд.

Підготовка покривного матеріалу [5].

Порошкові матеріали, що використовуються для газотермічного напилення, повинні проходити вхідний контроль на відповідність супровідному документу, кожна партія порошку повинна мати паспорт із зазначенням назви порошку, його марки, хімічного складу, розміру частинок, дати виготовлення, терміну придатності, постачальника.

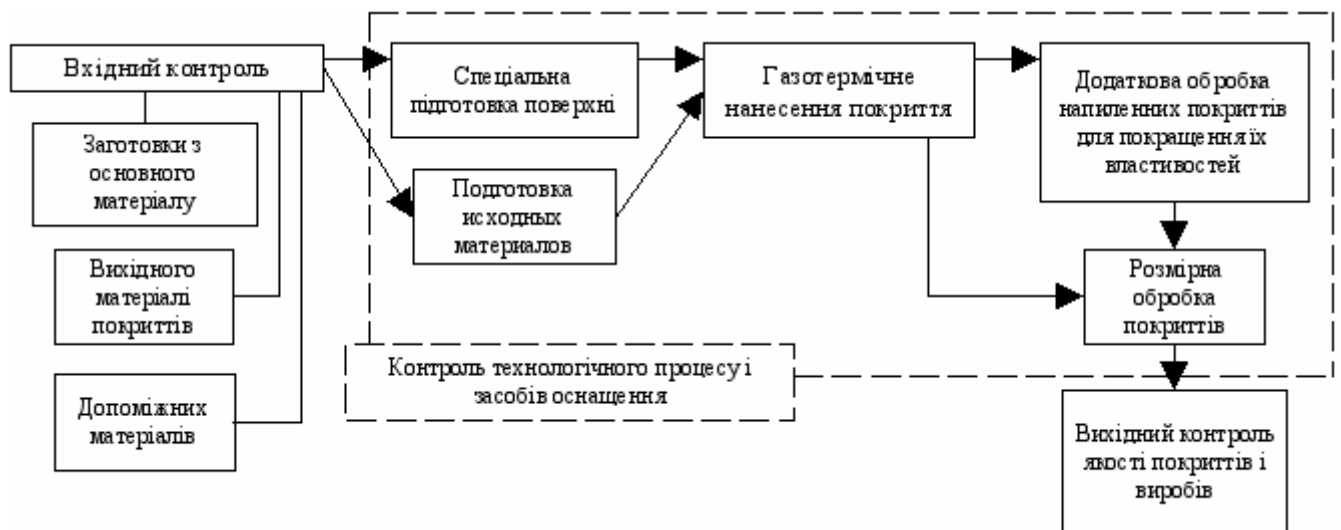


Рисунок 1.1 - Схема технологічного процесу напилення порошковими матеріалами

Порошки повинні зберігатися відповідно до вимог технічних умов для кожного виду порошку.

Для нанесення термальних розпиляних покриттів використовують порошкову продукцію: сплави, вогнетривкі сполуки, композицією тощо.

Вибираючи порошкові матеріали для термального напилення покриттів, слід враховувати: покриття основного значення (зносостійкі, жаро- та корозійно-стійкі та інші); умови роботи деталей (дійсна оплата, характер навантаження, ступінь агресивності робочої середовища тощо); фізико-хімічні властивості субстрату; вартість порошкового матеріалу.

Порошкові матеріали забезпечують необов'язкову швидкість дисоціації та субсидій у процесі зростання; мінімальна хімічна взаємодія з продуктами розпилення. Вони повинні бути однотипними за хімічним складом та мати певний розподіл розмірів частинок та формула частинок [34].

При різних порошкових матеріалах необов'язково враховані їхні фізико-хімічні властивості: теплопровідність, коефіцієнт теплового розширення та ін.

Форма частинок порошку повинна бути сферичною або глюкофагом, що забезпечує їм плинність. Останнє дозволяє регулювати і підтримувати постійний витрата розпиляного матеріалу. Частинки порошкоподібних матеріалів для перешивки вітражів порошку, викликання нерівномірності витрат, зменшувати стабільні процеси обробки та, як наслідок, і властивості покриттів.

Розмір частинок порошкових матеріалів та їх гранулометричний склад впливають на процес осадження та властивості отриманих покриттів. Основними факторами при визначенні оптимального розміру частинок порошкового матеріалу є: теплові властивості, теплопровідність, питома теплота, температура плавлення тощо, також термодинамічні характеристики теплового потоку.

Підготовка деталей [6].

Підготовка поверхні підкладки до нанесення покриття включається настання операції: очищення та видалення; механічна попередня обробка; спеціальна підготовка; ізоляційні поверхні, які не можна покрити.

Перед обробкою всіх деталізованих слотів ретельно очистити та зежирити. З покритих поверхонь слід вивести емульсію, мінеральну олію,

сажу, стару фарбу. Чистоту підготовлених поверхонь нових деталей контролюють відсутність олії та бруду, а також усувають відсутність сажі та видаляють старий настил. Для проведення хімічного знежирення, маринування розчинів. Місцева свіжа грязь дозволяється видаляти протирання бензину, ацетону та спирту [19].

Поверхні, що обробляються, часто створюються на плоских верстах з необробленими припусками.

а) метод роботроніки. Лікування роботонією можна проводити пневматичним та відцентровим методом. Пневматичний метод живлення оброблених частинок дешево і часто застосовується. Збільшенням розмірів частинок ефективність обробки поверхні збільшується, але збільшується шорсткість. Тому часто використовуйте суміш дрібних та великих частинок. У продуктах обробки матеріалів використовують сталеву стружку, корунд, карбід, кремній, кварцовий пісок тощо;

б) механічні методи лікування. Цей спосіб обробки застосовується до нанесення покриттів на вали, циліндри та інші матеріали. Попередня обробка для отримання різьблення, виїмки канавки. Механічна обробка застосовується у випадках, коли основа досить м'яка або легко обробляється;

в) розпилення тонкою кулею вогнетривкого матеріалу;

ж) електроіскровим методом. Підготовка поверхні електроскопа здійснюється у звичайному випадку, укладання більш високої твердості і не може бути оброблена роботронікою або механічними методами. Він здійснюється у звичайному зварювальному апараті. Крім того, що цей спосіб може відноситися до низької швидкості обробки поверхонь, а також значного зменшення кількості елементів, а також структурних елементів, причин у високих температурах;

г) хімічний метод. Хімічна обробка поверхні здійснюється травленням поверхні різних хімічних реагентів. Це створює певну шорсткість. За недоліків хімічної підготовки можна віднести можливість затримки пір поверхневих травильних реагентів, що може бути до інтенсивної корозії

деталей наполоіно [17].

Зароблений аналіз методів спеціальної обробки поверхні, можна сказати, взятим методом термального розіграшу покриття є пневматичної дромotropної пробки.

Поверхні ізоляції, які неможливо покрити, виготовляю з картону чи листового металу. Біля відверстия чи канавки закріплюється дерев'яна чи гумова пробка. Після підготовки поверхні приступайте до Поверхні ізоляції, які неможливо покрити, виготовляють з картону або листового металу. У отвори або канавки закріплюється дерев'яна або гумова пробка. Після підготовки поверхні приступайте до нанесення покриттів не пізніше ніж через дві години після підготовки.

### **1.5 Основні способи газотермічного нанесення покриттів**

#### **Розпилення полум'я**

При використанні газомасляного джерела тепла полум'я – це полум'я, що виникає в результаті згоряння киснево-паливної суміші. Залежно від стану нанесеного матеріалу покриття може бути трьох видів: дріт, пруток і порошкове. Крім того, спосіб детонаційного розпилення полум'я, заснований на використанні енергії детонації сумішей кисневого газу.

На рисунку 1.2 показаний принцип розпилення полум'ям. Брусове покриття схоже. В обох випадках матеріал, покритий стрижнем або дротом, подається через центральний отвір пальника і плавиться у полум'ї. Потік стисненого повітря розрізає розплавлений матеріал на дрібні частинки і осідає на оброблену поверхню [7].

Можна наносити порошкове напилення. Розпилений порошок подається в пальник з верхньої частини бункера через отвір, прискорює потік газу-носія (суміш кисню - горючий газ) і надходить у полум'я на виході з форсунки, де нагрівається. Потрапивши в струмінь гарячого газу, частинки порошку падають з розпилюваної поверхні. У порошкових пальниках, як і в

дротяних пальниках, подачу розпиленого матеріалу в полум'я і прискорення утворених розплавлених частинок можна здійснювати за допомогою стисненого повітря.

У більшості випадків в якості пальника використовується ацетилен. Можна використовувати пропан або водень метлакатл. Можна використовувати попередньо стабілізований пропан. Пропан часто використовується для покриття пластмас.

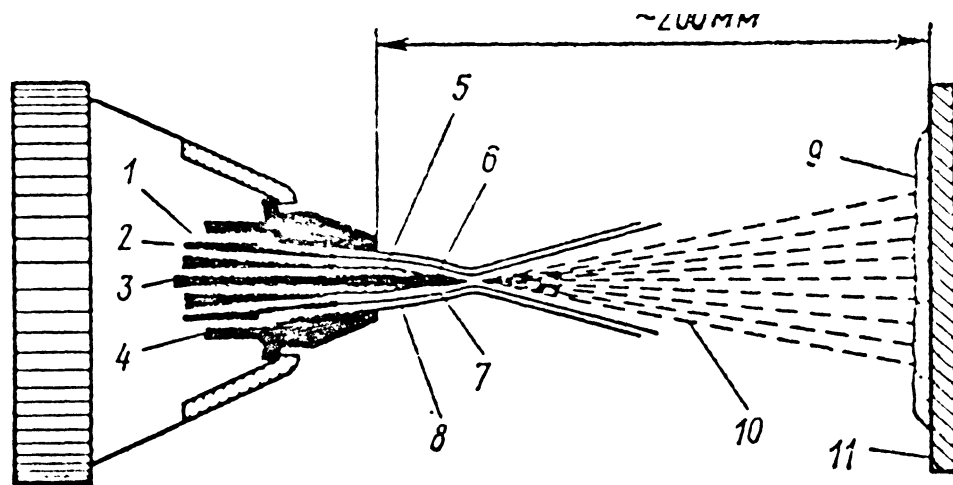


Рисунок 1.2 - Газополум'яне напилювання дротом

1 - стиснене повітря, 2 - ацетилено-киснева чи пропано-киснева пальна суміш, 3 - дріт, 4 - насадок, 5 - ядро ацетилено-кисневого полум'я, 6 - оплавляючийся кінець дроту, 7 - смолоскип полум'я, 8 - повітряний потік, 9 - покриття, 10 - потік часток напиленого матеріалу, 11 - основний матеріал

Температура полум'я газового пальника не перевищує 2850 °С, тому газополум'яне покриття покрито вогнетривкими матеріалами.

Технологія полум'яного напилення досить проста, а вартість обладнання та експлуатації низька. Тому цей метод є найпоширенішим.

До переваг полум'яного напилення можна віднести:

1) можливість отримання покриттів з більшості матеріалів, які

плавляться при температурах до 3000 °С без розкладання;

2) досить висока продуктивність процесу (до 8-10 кг/год порошків таміфлюксових сплавів) при високому рівні використання матеріалу (понад 95%);

3) відносно низький рівень шуму та світлового випромінювання, що дозволяє оператору без додаткового захисту;

4) легкість і простота обслуговування, низька вартість і портативність обладнання дозволяє проводити розпилення на місці без розбирання продукту [14].

Основними недоліками методу полум'яного напилення порошкових матеріалів є:

1) обмежити наповнюваний матеріал при температурі плавлення (3000 °С);

2) недостатня адгезійна міцність покриттів на основі (5-25 МПа при випробуванні з нормальним запасом);

3) покриття з високою пористістю (5-25%), що запобігає їх використанню в агресивних середовищах без додаткової обробки;

4) низька ефективність енергії струменя полум'я для нагрівання порошкового матеріалу (2-12%) [29].

Детонаційне напилення.

Детонація - це особливий вид поширення полум'я, який наближається до вибуху, і за певних умов швидкість перевищує швидкість звуку в навколишньому середовищі. Якщо запалити електричну іскру, спалити суміш газів (наприклад, ацетилену з киснем) у спеціально виготовленій трубі або бочці (рис. 1.3), фронт полум'я починає поширюватися по стовбуру свердловини зі збільшенням швидкості, поки газ не вибухне. хвилі [7].

У порівнянні з ним азополімерний метод детонаційного напилення покриттів все ширше використовується в авіаційній промисловості та ремонтних майстернях.

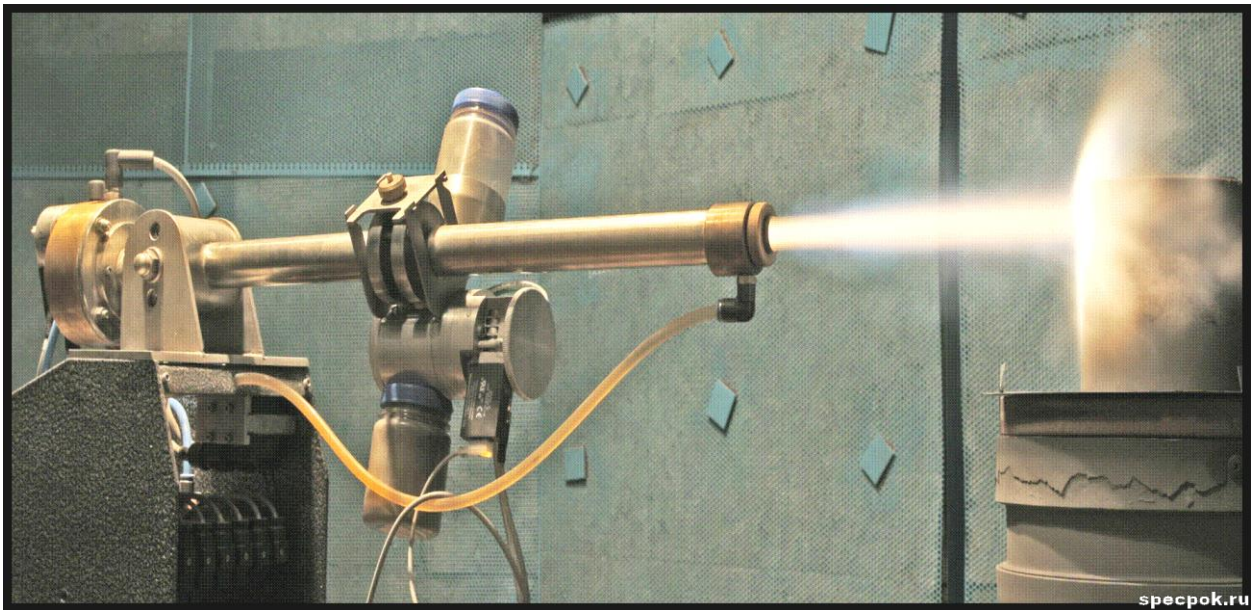


Рисунок 1.3 - Схема утворення детонаційних покриттів

Недоліками методу детонаційного напилення [8] є:

- 1) високий рівень шуму (125-140 ДБ) та інші шкідливі впливи вимагають ізоляції зони обробки;
- 2) визначається технологічними обмеженнями у виробництві покриттів із матеріалів, що містять елементи, що взаємодіють з компонентами середовища;
- 3) технологічні обмеження обробки нежорстких деталей, викликані високими імпульсними рухами під впливом струн продуктів детонації на підкладку;
- 4) обмеження твердості пофарбованої поверхні (не повинна перевищувати 60 HRC).

Робочий газ з використанням азоту за ГОСТ 9293-74, кисню ГОСТ 6331-78, ацетилену ГОСТ 5457-75, пропан-бутану за ГОСТ 20448-80.

Форма і розміри деталей у детонаційно-газових покриттях обмежені лише технологічними можливостями пристрою для переміщення продуктів (детонаційна газова гармата) та розміром звукоізоляційної коробки (камери), яка обробляється. Внутрішня циліндрична поверхня має діаметр 10 м і відкрита з обох кінців, довжина не повинна перевищувати 1,5 в діаметрі [32].



Плазмове напилення. Назвіть плазму газ, який містить більше 1% молекул в іонізованому стані. Кількість позитивних іонів має дорівнювати кількості електронів і негативно заряджених іонів. Плазма має високу електропровідність.

Якщо газ нагріти до температури понад 10 мільйонів градусів, він перейде в плазмовий стан. Технологія плазмового напилення широко використовується в авіаційній промисловості та в ремонтних роботах. Плазмове покриття з молібдену, вольфраму, оксидів, тугоплавких сполук, інтерметалу дозволило вирішити ряд важливих технічних питань, спрямованих на підвищення зносостійкості, жаростійкості та інших властивостей різних матеріалів.

Принцип осадження представлений на рисунку 1.4. Між катодом (чистого вольфраму або з додаванням 2% торію) і мідним водяним охолоджуваним соплом, що рухається анодом, виникає дуга, що нагріває робочий газ, що надходить у сопло пальника, який витікає з сопла у вигляді плазмовий струмінь [32].

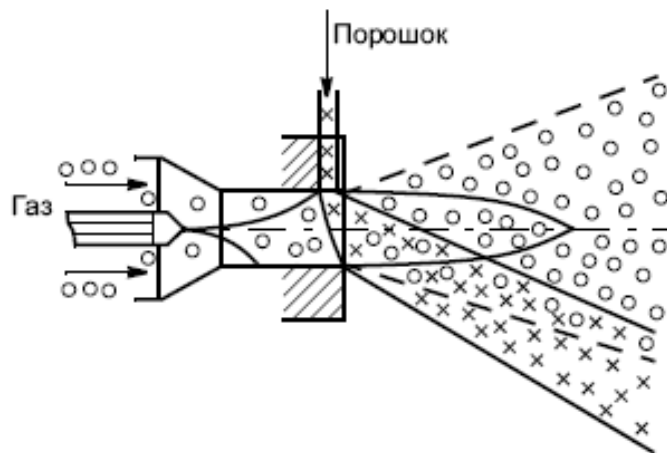


Рисунок 1.4 - Схема плазменного напилювання

В даний час для виробництва плазми в промисловості використовуються два типи пальників: плазмово-дугові та плазмово-струменеві. У плазмово-дуговому пальнику (рис. 1.5, а) електрична дуга горить між анодом, що обробляється, або матеріалом дослідного зразка і

катодом із вольфрамового сплаву, що містить близько 2% торію. Дуга стабілізує закручений потік робочого газу, що надходить із сопла пальника [12].

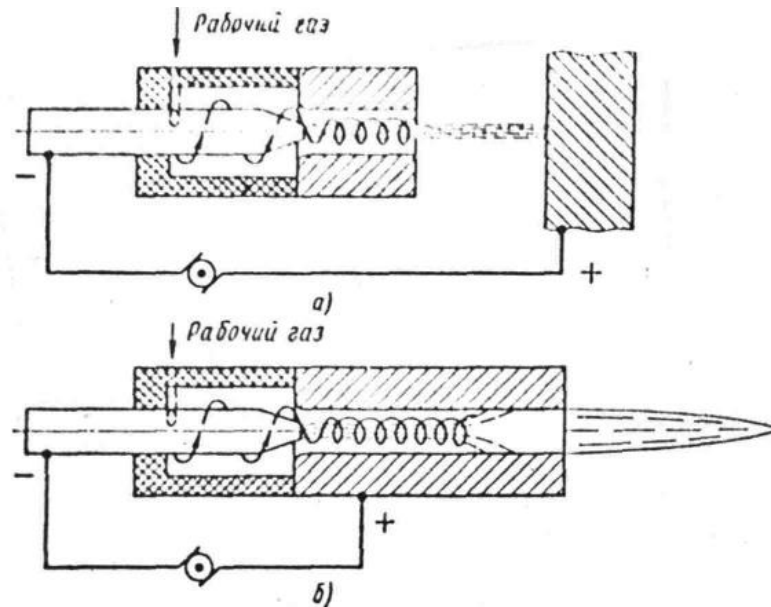


Рисунок 1.5 - Плазменно-дугова (а) і плазменно-струминна (б) пальника

У плазмовому пальнику (рис. 1.5, б) утворюється дуга між вольфрамовим катодом і анодом, що є мідним водоохолоджуванним соплом. Дуга нагрівається до високотемпературного робочого газу, який за рахунок обертання подається в камеру пальника і виходить із сопла у вигляді плазмового струменя. Подача робочого газу з важким відведенням у камеру пальника стабілізує процес горіння дуги та підвищує її температуру [45].

Плазмові пальники спрощують отримання плазмового струменя, у якого середня температура на виході із сопла становить кілька тисяч градусів. Цієї температури достатньо, щоб розплавити будь-які тверді речовини. При напиленні на поверхню заготовки небажані плавлення та термічна деформація основи. Тому для напилення зазвичай використовувалися плазмові пальники (плазмові розпилювачі).

Плазмове напилення має такі особливості. Висока температура

плазмового струменя дозволяє відносно легко розпорошувати вогнетривкі матеріали. Температуру форсунки можна змінювати у широкому діапазоні, вибираючи діаметр форсунки та режим роботи форсунки. Це дозволяє розпорошувати різні матеріали (метали, кераміку, органічні матеріали). Оскільки як робочий газ використовується інертний газ, при нанесенні покриття розпиленням утворюється відносно мало оксидів. При необхідності розпилення можна проводити у ємності, заповненій інертним газом [9].

Рисунок 1.6 демонструє результати вимірювань розподілу температури у плазмовому струмені, отримані при струмі 400 А та витраті аргону 10 л/хв. У плазмового методу є дві групи його переваг, перша група включає:

- Універсальність плазмового методу: жодним іншим способом неможливо наносити покриття з таких різних матеріалів, як метали, сплави, оксиди, карбіди, нітриди, бориди, пластмаси та їх різні комбінації. Великий вибір різних підкладок, які можна наносити як покриття: метали, кераміка, графіт, пластмаси і т.д.;

- простота технологічного контролю покриттів, енергетичні характеристики плазми можуть змінюватись в залежності від вимог технології у процесі отримання покриття;

- можливість покриття великих та малих поверхонь на деталях складної форми;

в процесі нанесення покриття поверхня покривається, нагрівається відносно низької температури, що зберігає деталі структури і властивості підкладки [27].

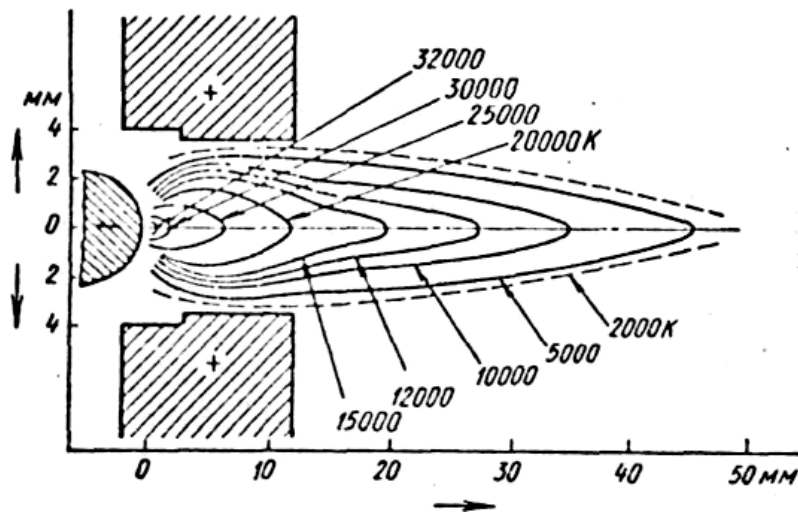


Рисунок 1.6 - Розподіл температури в плазменній струменю

До другої групи переваг можна віднести наступні [10]:

- У плазмотронах зазвичай використовуються безкисневі гази, що зменшує окислення нанесеного матеріалу та основного матеріалу;
- плазмовий струмінь має значно вищу температуру, ніж полум'я, що утворюється при згорянні ацетилену;
- Плазмові покриття мають більшу щільність і кращу адгезію до основи.

Властивості напилюваних покриттів залежать не тільки від способу підготовки поверхні, типу напилюваного матеріалу, ступеня дисперсності частинок, а й від багатьох інших факторів, особливо від режимів напилення.

У першому наближенні основні параметри процесу розпилення можна задати відповідно до таблиці 1.1.

Металізація дуги, принципова схема якої наведена на рисунку 1.7. Через два канали в пальник безперервно подаються дві палі (діаметром 1,5-3,2 мм), між якими збуджується дуга і плавиться дріт. Розплавлений метал підхоплюється потоком стисненого повітря, що йде від центрального сопла електродметра, і в тонкорозплавленому вигляді переноситься на поверхню основного матеріалу. Розпилення та транспортування розплавленого металу зазвичай здійснюється стисненим повітрям, хоча при розпиленні корозійно-стійкої сталі алюмінієвими сплавами використовується азот. При дуговому

напиленні безперервний процес протікає стабільно, забезпечуючи покриття покриття дрібнозернистою структурою з високою продуктивністю процесу [23].

Таблиця 1.1 - Режими плазмового напилювання порошковими матеріалами

Параметри напилювання	Значення параметрів для часток розміром, мкм		
	10-50	50-100	100-160
Струм дуги, А	200-250	300	350
Напруга, У	75-80	75-80	75-80
Витрати плазмообразуючого газу, г/хв	30-35	35-60	55-60
Витрати транспортуючого порошок газу, м/хв	4-6	6-8	6-8
Витрати порошку, г/хв	50-60	100-150	100-150
Відстань від деталі до анода лазмотрона, мм	60-80	100-300	100-200
Температура прогріву деталі, °С	100-150	100-150	100-150

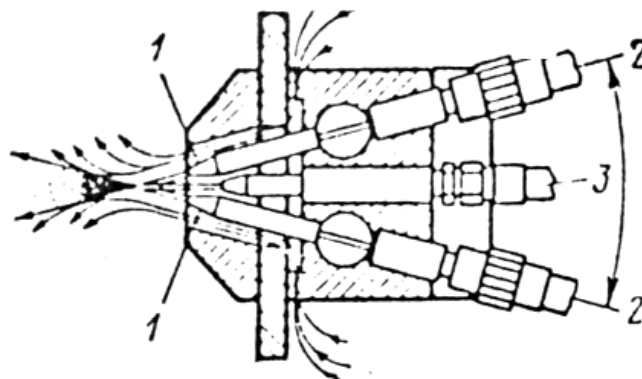


Рисунок 1.7 - Схема дугового напилювання

- 1- насадок; 2 - місце введення напилюваного матеріалу (дроту);  
3- місце подачі стиснутого повітря

Тому для розпилення струму використовують джерела постійного струму з регулятором напруги з дещо зростаючою характеристикою [11].

Дугова металізація має наступні переваги. Використання потужних установок електрометалізації дозволяє значно підвищити продуктивність технологічних процесів і скоротити час. У порівнянні з газовим розпиленням, електрометалізація дозволяє отримати більш міцне та краще зчеплення покриттів. При використанні в якості дротяних електродів двох різних металів можна отримати покриття з їх сплаву. Ці сплави називаються псевдосалонами. Експлуатаційні витрати на електрометалізацію низькі.

До недоліків дугового напилення можна віднести: ризик перегріву та окислення напилюваного матеріалу при низьких швидкостях подачі напилюваного дроту; велика кількість тепла, що виділяється при горінні дуги, призводить до значного згоряння легуючих елементів, що входять до складу застосовуваного сплаву (наприклад, вміст вуглецю в матеріалі покриття знижується на 40-60%, а кремнію і марганцю на 10-15%). %).

## **Висновки до розділу 1**

У сучасній машинобудуванні та авіаційній галузі сьогодні часто застосовуються захисні покриття, без яких неможливо уявити сучасні технології. Покриття мають багато переваг, які можуть значно підвищити продуктивність сучасної авіаційної техніки.

Найбільш використовувані на сьогоднішній день газотермічні покриття. Ці покриття мають багато переваг перед іншими способами нанесення покриттів.

Практично будь-які матеріали, які не розкладаються при високих температурах (близько до точки плавлення), піддаються газотермічного розпилення. Практично всі види матеріалів, полімерів, металів і кераміки (та їх комбінації) можна розпилювати при правильному виборі техніки газотермічного напилення та експлуатаційних параметрів ГТП.

## РОЗДІЛ 2

### МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ НАНЕСЕННЯМ ГАЗОТЕРМІЧНОГО ПОКРИТТЯ

#### 2.1 Технологія відновлення деталей АТ

Схема електророзпилення складається з таких елементів: подача матеріалу покриття до температури плавлення; нагрівання до плавлення і диспергування; забезпечення швидкості розпилення частинок; вплив прискорених частинок на відновлену поверхню деталі, їх деформацію та ущільнення; охолодження відновленої поверхні.

Принципова схема процесу відновлення деталей електродуговими покриттями представлена на рисунку 2.1.

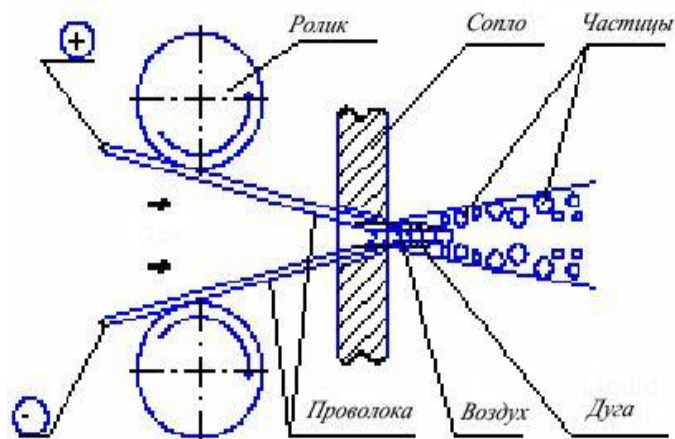


Рисунок 2.1 - Принципова схема процесу відновлення деталей електродуговими покриттями

Процес відновлення поверхонь деталей електродугового напилення АТ простий і може бути представлений в такий спосіб. За допомогою двох каналів на напрямній у розпилювальній головці подаються дротяні електроди, між кінцями яких збуджується електрична дуга. Порушення дуги відбувається через високу температуру (температура дуги вище  $6000^{\circ}\text{C}$ ), яка виникає через високий опір у місці контакту проводів. Це викликає



плавлення та часткове випаровування металу, що призводить до іонізації дугового проміжку, що дозволяє запалити дугу. Іонізація міжелектродного проміжку знижує струм дуги на 10...15%. Таким чином, самозаймається електричний дуговий розряд, збудження якого відбувається переважно за рахунок термічної іонізації.

При напрузі 15...25 В дуга має нестійкий, уривчастий характер. Як тільки напруга між електродами наближається до мінімуму, дуга гасне і кінці дроту сильно охолоджують. При високих значеннях напруги дуга стає стабільною та безперервною. Хороші результати дуги досягаються при невеликому дуговому проміжку, що становить приблизно 0,8 мм.

В апаратах для електродугового напилення кут між нагрітими дротиками зазвичай становить 30...60°. При кутах понад 60° процес осадження стає нестабільним.

Розпилювач може працювати як на постійному, так і на змінному струмі. При використанні змінного струму дуга горить нерівномірно та супроводжується великим шумом. При постійному струмі характер роботи стабільний, покриття має дрібнозернисту структуру, що забезпечує більш якісне відновлення поверхонь. .

Під час роботи апарату для електродугового напилення на постійному струмі дріт, що діє як анод, плавиться приблизно на 50% швидше, ніж катод (теоретично анод виділяє 66% теплової енергії дуги) [24]. Потім слід подати анодний дріт, а потім наступний катод. Однак на практиці це не потребує різних швидкостей подачі електродів. Таким чином, дріт подається з однаковою швидкістю.

Найбільш важливим для електродугового напилення є регулювання струму, яке дозволяє врівноважити швидкість подачі дроту зі швидкістю їхнього плавлення та, таким чином, забезпечити стабільність довжини дуги [24]. Правильне регулювання напруги та струму дуги, а також швидкості подачі дроту та виведення дуги потоком стисненого повітря запобігає

зварюванню дротів між собою. Окрім того, знімається частина тепла. Це призводить до стиснення дуги та підвищення її температури.

Розпилення розплавленого матеріалу покриття та нанесення його на відновлену поверхню ЕДН може здійснюватися стисненим повітрям, витрата якого становить 40...60 м<sup>3</sup>/год і залежить від конструкції розпилювального сопла [25]. Розпилення розплавленого матеріалу покриття також може бути захисним газом, при використанні якого окислення матеріалу, що напилюється, набагато менше, але повністю не виключається. Причина цього - косо перемішування струменя з навколишнім повітрям [27]. Струмінь стисненого повітря (газу), що закінчується центральним каналом головки апарату для електродугового напилення, розпорошує розплавлений металевий дріт і переносить його у вигляді потоку частинок на поверхню. Періодично відбувається відділення часток, що розлетілися. Це з в'язкістю розплавленого металу. Розплавлений метал приймає форму ниток і зберігає цю форму доти, поки поверхнєве натяг більше, ніж потік поточного газу, а потім ламається і роздавлюється під час польоту. Розмір частинок залежить в першу чергу від тиску газу, що розпилюється, швидкості подачі дроту і форми сопла [21].

Завершальним етапом процесу атомізації є вплив частинок [285]. За рахунок удару та деформації металевих частинок, отриманих в результаті і до впливу значної швидкості на поверхню, що реконструюється, металевого шару осадження. В результаті послідовного укладання дрібних розплавлених або нагрітих до розрахункового стану частинок відбувається утворення щільного покриття, що напилюється. Щоб отримати максимальну деформацію частинок у момент удару, слід стежити, щоб частинки падали нормально поверхню деталі.

Для вибору найбільш сприятливого способу електродугового напилення для досягнення максимальної якості та терміну служби відновлених поверхонь необхідно знати фізико-хімічні процеси, що відбуваються під час утворення металевих частинок та нанесення їх на деталі

поверхні. Структура покриття на відновленій поверхні характеризується наявністю меж між частинками порошку шарів покриття, а також межею між відновленою поверхнею деталі та покриттям. Кожна окрема частинка матеріалу, що розпилюється, має структуру, що відповідає неоднорідній кристалізації. Завдяки взаємодії частинок із середовищем вміст кисню в покритті майже на два порядки перевищує його вміст у вихідному матеріалі. Це викликано наявністю тонкого шару оксидів на меж між частинками. Формування меж між шарами має більш тривалий контакт з атмосферою. Нанесена товщина шару шару може становити 50 ... 100 мкм. Сприятливі умови адсорбції газів, поява мікропорожнин (пір) та осадження пилоподібних фракцій значно погіршують властивості зони покриття міжшарового покриття.

Таким чином, можна запропонувати основні підходи до вдосконалення технології ремонту деталей АТ електродугового напилення, що мають на меті збільшити ресурс частин АТ за допомогою управління:

- технологія відновлення дугових покриттів, зокрема параметрів газотермічного потоку (швидкість і температура газу і частинок, коефіцієнт концентрації потоку);
- вибір проектних параметрів обладнання для відновлення дугових покриттів;
- методи підготовки поновлюваної поверхні для нанесення електродугових покриттів;
- склад та властивості носія середовища та матеріалів для електродугових покриттів;
- методи обробки реконструйованих поверхонь;
- активізація процесу відновлення поверхонь деталей АТ, включаючи всі етапи процесу їх ремонту (технологію попередньої обробки відновлюваних поверхонь, вибір складу матеріалів для покриттів та конструктивні параметри обладнання для їх нанесення, режими покриття та способи їх подальшої обробки).

## 2.2 Моделювання технологічного процесу відновлення деталей АТ

Основними технологічними параметрами процесу відновлення електродугового розпилення є склад, діаметр і швидкість подачі розпилювальних дротів, потужність дуги, швидкість розпилюваного газу, відстань розпилення, швидкість переміщення кута розпилення кута падіння частинки над поверхню осадження.

Удосконалюючи технологію ремонту деталей ІМ шляхом відновлення їх поверхонь електродугового напилення, основні зусилля були спрямовані на вирішення проблеми регулювання параметрів теплового потоку: швидкості та температури газу і частинок, коефіцієнта концентрації потоку, гранулометричного складу, властивостей частинок і середовище перенесення.

характеристики контролю теплового потоку. Швидкість і температура руху покриваються покриттям, а розпилюючий газ дає можливість оцінити вплив параметрів осадження на якість відновленої поверхні. Тому запропоновано модель, яка передбачатиме технологічні параметри електродугового покриття (температуру та швидкість розпилюваного матеріалу та газу, що розпилюється) та дозволить аналітично оцінити вплив параметрів на якість покриття поверхні Ваноса.

Залежність швидкості розпилюваного матеріалу від відстані розпилення не враховує закінчення пробігу отвору на великій швидкості і відображається без урахування закономірностей зміни характеристик струминного розпилення як відстань від сопла розпилювального апарату. У запропонованій моделі використовуються наступні припущення:

- потік газу з сопла відбувається відповідно до теорії турбулентних струменів для асиметричних джерел і нерухомого середовища;
- в рамках теорії Прандтля турбулентний потік у своєму русі захоплює частинки рідини, піддані аеродинамічній силі тяги газу. Величина і напрям

гравітаційної сили визначаються відносною швидкістю потоку частинок як суцільного середовища. Інші сили мізерно малі;

- переміщення і передача тепла між газом і частинками здійснюються відповідно до теорії двофазних потоків, згідно з якою кожен збільшений обмін імпульсом і теплом відбувається швидко;

- частинки мають сферичну форму і, отже, теплове поле сферично-симетричне;

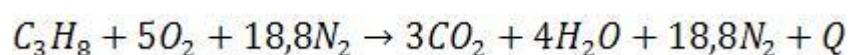
- частинки в потоці не взаємодіють між собою через низьку об'ємну концентрацію. Задача одновимірної, тобто розрахунок ведеться тільки по довжині осі струменя, оскільки швидкість частинки в напрямку, перпендикулярному до осі струменя, значно менша за осьову;

- шлях, який проходить частинка від сопла електродугового апарату в напрямку відновленої поверхні, розбивається на скінченну кількість відрізків. Їх кількість залежить від необхідної точності розрахункових параметрів. Розраховані параметри попереднього блоку є відправними точками для наступного. У межах невеликого відрізка основні теплофізичні параметри частинки та її середовища (струми) не змінюються і залишаються постійними. На невеликій площі частинка рухається рівноприскорено.

Температура горіння пропан-повітряної суміші і початкова швидкість струменя. У теплотехнічних розрахунках розрізняють:

- калориметрична температура горіння  $T_k$ , розрахована без урахування втрати тепла в результаті дисоціації продуктів згоряння;
- теоретична температура горіння  $T_m$ , визначена з урахуванням теплоти дисоціації продуктів згоряння при високих температурах.

Калориметричні та теоретичні температури горіння залежать від складу горючої суміші, температури повітря та газу. При розрахунку максимальної температури полум'я передбачається, що процес горіння є адіабатним і, таким чином, весь кисень повітря бере участь у реакції горіння [39]. Реакція горіння пропану виглядає наступним чином:



При температурі вище  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\text{CO}_2$  дисоціює з утворенням  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  дисоціює з утворенням  $\text{H}_2$  і  $\text{O}_2$ .

Обсяг продуктів згоряння за рахунок дисоціації  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  збільшується, але вміст вмісту в продуктах згоряння і часткова нестабільність при тій же температурі практично не змінюються через більш високу об'ємну теплоємність вихідних триатомів  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  в порівнянні з двоатомним теплом. . Оскільки при температурах до  $2100^{\circ}\text{C}$  дисоціює лише невелика частина  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ , для розрахунку температури горіння можна припустити, що добуток обсягу продуктів згоряння за їх середньозваженої температури в діапазоні температур від 0 до  $T_r$  не змінюються в результаті дисоціації  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ .

Графіки, що показують вплив співвідношення надлишку повітря на горючій суміші на температуру горіння, показано малюнку 2.2.

Температура димових газів має максимальне значення при  $\alpha \ll 1$  (коли окислювача недостатньо). Це пов'язано з тим, що продукти згоряння вуглеводнів  $\alpha < 1$  містять більше  $\text{CO}$ , які хоч і є продуктом неповного згоряння, але водночас відносно стійкі до подальшої дисоціації. Витрата тепла на дисоціацію зменшується, якщо  $\alpha < 1$ , що призводить до підвищення температури полум'я. А надлишок пропану створює відновлюючу захисну атмосферу в струмені, що розпилюється. Однак відомо, що неповне згоряння палива призводить до інтенсивного утворення оксиду вуглецю  $\text{CO}$ , який неминуче потрапляє до камери розпилення. При надлишку пропану утворюється вибухонебезпечна суміш і економічна ефективність електродугового напалення знижується.

Тому всі теплові розрахунки виробляються з коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha \geq 1$ . Струмінь, що виходить із сопла продуктів згоряння, є вільною та залитою, оскільки не обмежена твердими стінками та поширюється у просторі, заповненому такими ж фізичними властивостями, як і реактивна речовина. Таким чином, жиклер має дві секції – первинну та вторинну. При

цьому початкова частина параметрів струменя залишається незмінною і дорівнює параметрам струменя на виході із сопла [45].

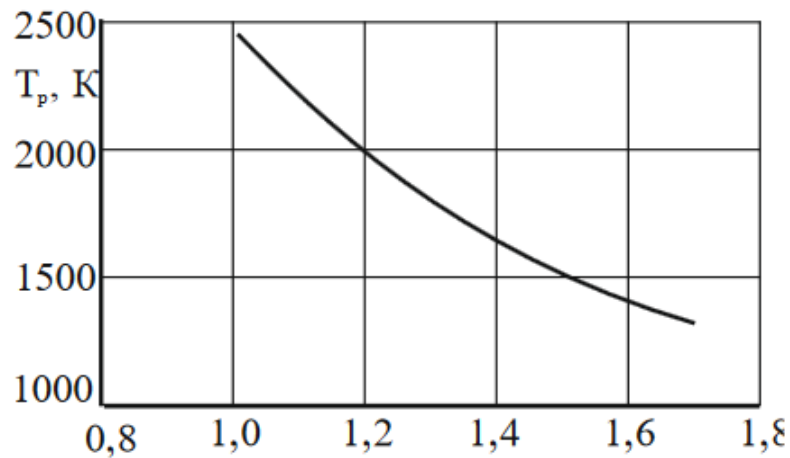


Рисунок 2.2 - Вплив коефіцієнта надлишку повітря вгорючої суміші на температуру продуктів горіння

Величина коефіцієнту турбулізації потоку дуже сильно впливає на затухання швидкості по мірі віддалення від сопла та залежить від довжини та діаметра повітряного сопла. Електродні дроти створюють додаткову турбулізацію струменя та підвищують ступінь загасання швидкості розпилювального потоку.

На рис.2.3 представлено залежність коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  від початкової швидкості струменя продуктів горіння.

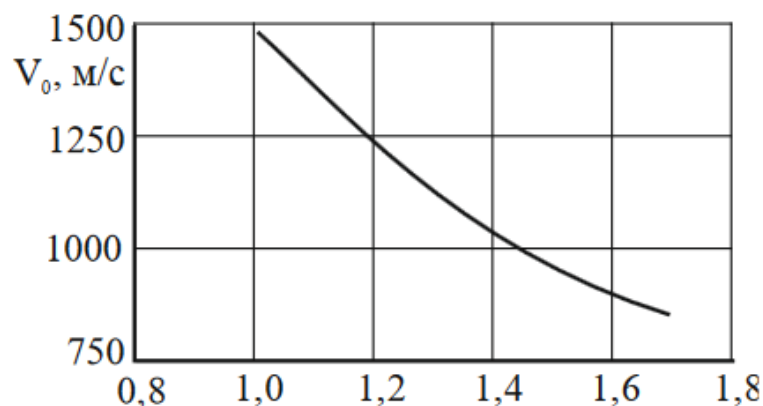


Рисунок 2.3 - Вплив коефіцієнт надлишку повітря ( $\alpha$ ) на початкову швидкість струменя продуктів горіння ( $V_0$ )

З метою покращення основних експлуатаційних характеристик електричних дугових покриттів (адгезія, пористість тощо) та відновлення поверхонь суттєве значення відіграє швидкість руху частинок та енергії їх зіткнення з поверхнею.

Залежність швидкості струменя від відстані розпилення визначається із закону падіння вздовж осі турбулентного газового кругового струменя

Швидкість руху частинок матеріалу покриття залежить від відстані розпилення. Взаємодія між частинкою і газом проявляється у вигляді аеродинамічної сили тяги, що діє на частинку в напрямку відносної швидкості потоку. Величина і напрямок тяги визначаються відносним споживанням частинок як суцільного середовища.

Залежність швидкості струменя і частинок від відстані розпилення з різним коефіцієнтом надлишку повітря в горючій суміші показано на рис.3.6. Видно, що чим більше швидкість струменя, тим більше швидкість частинки, а частка в кінці початкового перерізу швидкості газового струменя змінюється від малої інтенсивності, що обумовлено відносно великою масою газу. частинок.

Адекватність температур моделей окремого потоку розпилення та частинок можна перевірити лише побічно, змінивши положення відповідних ізотермічних ліній на графіках, оскільки в реальних умовах роботи дугового апарату неможливо виключити взаємний вплив розпилення. з розплавлених частинок. У процесі обприскування відбувається:

- краплі дисперсії на частинках різного розміру;
- дроблення частинок в польоті шляхом взаємодії з газом високого тиску рухається з великою швидкістю за фронтом ударної хвилі.

Модель газодинамічних та фізико-хімічних процесів дозволила визначити, що є одним із важливих технологічних параметрів відновлення поверхні деталей покриття дуги АТ. З одного боку, збільшення відстані може збільшити швидкість руху частинок, з іншого боку призводить до посилення окислення частинки і зниження її температури. Оптимальний діапазон



відстані осадження, згідно з дослідженнями, знаходиться в межах 80 ... 150 мм.

### **2.3 Експериментальні дослідження параметрів газотермічного потоку при нанесенні електродугових покриттів**

Розрахунок температури напилення матеріалу покриття в метало-повітряному факелі як функції часу [16] та експериментальні дослідження [17] показують, що температура частинок залежить від їх розміру, відстані від точки плавлення та режим розпилення. Зі збільшенням розміру частинок їх температура (за рівних умов) зростає. Збільшення перерізу полум'я (потіку стисненого повітря), зменшення напруги на дротяних електродах і відстані між соплом дугового апарату і відновленою поверхнею заготовки призводять до зниження температури напилюваних частинок покриття. Середня температура частинок швидко зменшується в міру їх віддалення від сопла, а потім зниження температури сповільнюється.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що оптимальним режимом нанесення дугових покриттів є забезпечення відносного надлишку повітря 1,0...1,1 та відстані розпилення 190...210 мм.

У роботі [24] було експериментально встановлено, що певна осьова швидкість газового потоку на ЕДН є величиною сталою, яка дорівнює швидкості виходу з сопла. Це центральна частина полум'я, яка називається ядром. Діаметр ядра полум'я зменшується зі зменшенням відстані від сопла і, нарешті, серцевина на деякій відстані зникає (рис.2.4). Довжину ядра полум'я називають початковою, а решту - основною площею.

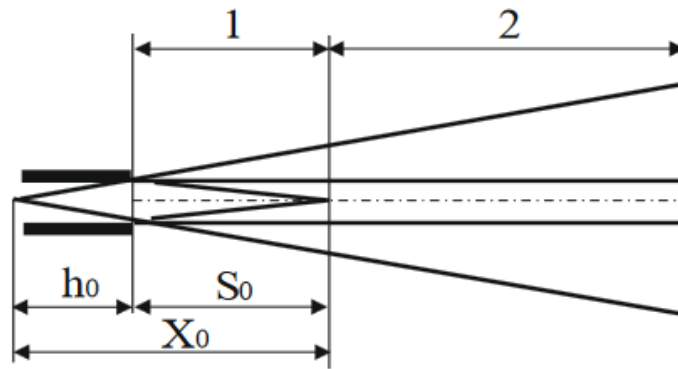


Рисунок 2.4 - Схема будови вільного полум'я при витіканні з сопла:

1 – початкова ділянка; 2 – основна ділянка;  $h_0$  – глибина полюса;  
 $S_0$  – довжина початкової ділянки;  $X_0$  – відстань від полюса полум'я до кінця  
 початкової ділянки

Експериментальні дослідження підтвердили, що різниця швидкостей на поверхні відновлюваної частини газового потоку та металевих частинок на ЕДН приймає невеликі значення.

Величина коефіцієнта турбулентності полум'я істотно впливає на загасання швидкості при його віддаленні від сопла та залежить від довжини та діаметру повітряного сопла.

У таблиці 2.1 представлені результати вимірювань швидкості частинок. Відносна похибка вимірювання швидкості частинок становить 8%. Висока витрата дугового нагнітача за допомогою дугового покриття забезпечує ефективне розсіювання крапель розплавленого металу [24] і збільшує швидкість їх польоту, оскільки дрібні частинки швидше прискорюються в потоці газу. Висока швидкість транспортування розплавлених частинок напилюваного матеріалу дозволяє підтримувати рідкий агрегатний стан частинки. Крім того, зі збільшенням швидкості частинок час контакту з газоподібною атмосферою зменшується. Обидва ці фактори пригнічують небажані хімічні перетворення в матеріалі для розпилення.

Порівняння теоретичних значень швидкості частинок розробленої моделі з відомими з літератури [24] та отриманими експериментальними

даними показало, що розбіжність між теоретичними та експериментальними даними становить 10 ... 15 %.

Таблиця 2.1 - Результати вимірювань швидкості частинок

Напилення	Швидкість частинок, м/с		
	Відстань від зрізу до сопла, мм		
	50	100	150
$\alpha$ -1,0	230 18	194±15	160±13
$\alpha$ -1,3	193±15	164±13	133±11
$\alpha$ -1,5	172±14	147±12	115±9
ЕДМ	98±8	75±6	61 ±5

В кінці потоку газу з дозвуковою швидкістю розмір розплавлених частинок дорівнює в середньому 200 мкм. При збільшенні швидкості потоку газу на 90 % розмір розплавлених частинок варіюєть ся в межах 30 ... 80 мкм. Але таке зменшення розмірів розплавлених частинок осадженого матеріалу приводить до інтенсивнішого спалювання легуючих елементів, особливо вуглецю, що викликає підвищену твердість покриттів при дозвукових швидкостях потоку повітря. Зміст легуючих елементів дроту зі збільшенням швидкості потоку повітря та дугового струму змінюється меншою мірою [24]. Проводи-електроди, що знаходяться в газовому потоці, викликають додаткову турбулентність полум'я і підвищують ступінь загасання швидкості потоку газу.

З аеродинамічної точки зору краще використовувати більш тонкі дроти, оскільки осьова швидкість повітряного потоку зменшується, тому що відстань від сопла є інтенсивним і постійним, немає жорсткого дотримання відстані між насадкою і поверхнею. частина необхідна. Результати досліджень розподілу частинок за фракціями, отримані шляхом напилення дротом, представлені в таблиці 2.2.

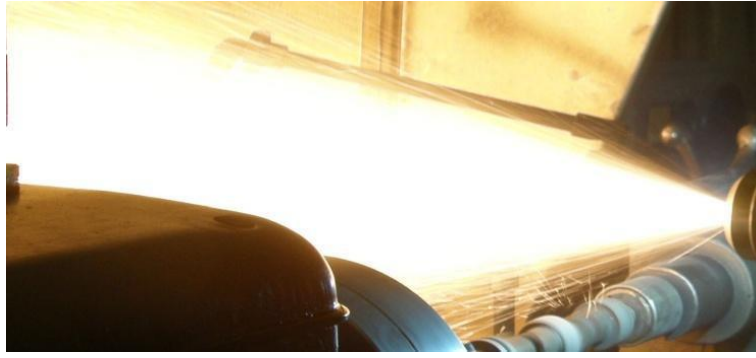
Таблиця 2.2 - Масова частка частинок різної фракції

№	Фракція, мм	Маса, г	Масовая частка, %
1	Більше 0,63	0,081	0,10
2	0,63...0,40	1,204	1,52
3	0,40...0,315	1,012	1,28
4	0,315...0,20	11,930	15,14
5	0,20...0,16	11,000	14,00
6	0,16...0,10	22,021	28,00
7	0,10...0,063	21,450	27,25
8	Менше 0,063	10,012	12,70
<b>Сума</b>		<b>78,710</b>	<b>100,00</b>

У випадку, коли частинки напилюваного матеріалу покриття падають на відновлюючу поверхню під різними кутами: чим більший кут розкриття полум'я метал-повітря, тим більше частинок падає на поверхню заготовки під гострими кутами атаки і тим менше ступінь деформації частинок. В умовах високошвидкісного напилення відбувається зміна концентрації матеріалу в струмені у бік її збільшення (таблиця 2.3, рис. 2.5), оскільки кут розбіжності двофазних надзвукових струменів менший за дозвуковий і становить  $5...7^\circ$ . В результаті діаметр плями розпилення зменшується, а коефіцієнт використання матеріалу збільшується до 0,85.

Таблиця 2.3 - Результати розрахунку конусу розпилу

Метод нанесення покриття	Кут між утворюючими конусу розпилу, град
Електродугове напилення при розпиленні дротяних сталей стисненим повітрям	65
Електродугове напилення при $\alpha = 1$	35



а)



б)

Рисунок 2.5 - Фотографії газових струменів при розпиленні дротяних сталей:

а) повітрям;

б) продуктами згоряння пропано-повітряної суміші  $\alpha = 1,0$ .

Завдяки покращенню процесу ремонту деталей АМ за допомогою електродугового розпилення, можливості керування процесом були розширені за рахунок зміни складу газу, що транспортується, що впливає на температуру, швидкість та окислювальну здатність газового потоку. Щоб запобігти або контролювати утворення оксидного шару навколо частинок матеріалу покриття, необхідно знизити парціальний тиск кисню в атмосфері розпилення до досить низького значення.

Заміна в процесі нанесення захисних газів стисненим повітрям (аргон, азот тощо) відкриває широкі технологічні можливості для отримання практично будь-яких оксидів з високими фізико-механічними властивостями. Однак під час ревальоризації частини аеропорту використання дорожніх

інертних та захисних газів економічно недоцільно [25] через високу витрату цих газів (від 1,0 до 1,5 м<sup>3</sup>/хв).

Використання димових газів у вигляді розпиленої пропан-повітряної суміші значно зменшує окислення розпиленого металу і вигорання легуючих елементів. Змінюючи витрати пропану і повітря, можна створити інертну або відновну атмосферу в зоні плавлення електродного дроту, зменшуючи тим самим окислення металу і вигорання легуючих елементів. Таким чином, при коефіцієнті згоряння  $\beta = 0,4$  кількість вуглецю в покритті, отриманому з проводів СВ-08 і 40X13, практично не відрізняється від його вмісту в вихідному дроті. Якщо повітряно-пропанове покриття вуглецю в покритті вдвічі менше, ніж у вихідного матеріалу, а при розпиленні чистим повітрям вміст вуглецю майже втричі, відсутність кисню як окислювача палива значно знижує вартість нанесеного покриття, і підвищує надійність і безпеку виконуваної роботи.

Наявність кисню в електродугових покриттях навіть при надлишку палива через наявність оксидного покриття на поверхні проводів, що надходять у покритий шар окислених частинок з периферії потоку розпилення, окислення писаного шару, інтервал часу між нанесення початкового шару та наступних [26].

Вміст вуглецю в дугових покриттях становить приблизно 50% від початкового вмісту вуглецю в сталевому дроті. При відношенні надлишку повітря в горючій суміші в межах від 0,8 до 1,0 відбувається насичення вуглецевим покриттям. Отримані результати зміни хімічного складу повністю узгоджуються з опублікованими результатами інших досліджень [25].

Зазвичай відстань від сопла до поверхні, що відновлюється, становить 50...350 мм. Якщо він встановлений на 50...80 мм, такий виклик ЕН гарячий. Завдяки такому віддаленому управлінню, коли розміри виробу забезпечують достатнє відведення тепла і не перегріваються, що може деформувати виріб. Перевага відновлення EDEN на відстані полягає в тому, що зменшені втрати

розсіяних металевих частинок падають на поверхню у більш теплому стані. Метод гарячого ETN не рекомендується для відновлення виробів, чутливих до деформації та навантажень. Візьміть нормальну відстань 80 ... 200 мм, а нижня межа, рекомендована для відновлення деталей, не буде чутлива до перенапруг та напруг, а також малоефективних пристроїв. Оновлення поверхневого покриття рекомендується починати з невеликої відстані, а потім проводити процес на відстані. Для збільшення енергії попадання частинок на поверхню відновлюваної деталі, якою повинен бути АДН, камеру слід розташовувати на відстані від 75 до 100 мм від поверхні.

Час між нанесенням окремих шарів має бути якомога коротшим, щоб уникнути утворення оксидів та пилу, які перешкоджають злипанню між частинками.

Швидкість роботи електродугового апарату вибирається таким чином, щоб за один прохід наносити шар покриття завтовшки до 0,2...0,3 мм. Занадто повільний рух верстата призводить до перегріву покриття та відновлення поверхні, що погіршує їхню якість. Товсті покриття слід розпорошувати з високою швидкістю. За високої вартості, тобто. При струмах від 400 А і вище відносно високої швидкості роботи пристрою для обприскування відновлюваної поверхні.

Перевагою ремонтних деталей є можливість нанесення покриття на холодний основний метал. При розпиленні молібдену або ніхрому іноді доречно нагріти до 200 ° С. Температура напилюваного покриття не повинна перевищувати 200 ° С, щоб не виникали високі напруги (через ризик розтріскування).

#### **2.4 Структурутворення і властивості відновлених поверхонь**

Контролюючі фактори, пов'язані з наплавленими матеріалами дроту, такі як діаметр, хімічний склад і швидкість подачі дроту, можуть покращити якість і термін служби відновлених поверхонь. Згідно з дослідженнями, діаметр наплавленого покриття дроту впливає на умови утворення струменя

метал-повітря на ЕДН. Збільшення турбулентності струменя спостерігається при збільшенні діаметра дроту понад 1,8 мм і збільшенні перепаду тиску в зоні транспортного перехрестя. При зменшенні діаметра дроту менше 1,2 мм стабільність процесу нанесення покриття EDN погіршується через мінливість положення точки перетину проводів. Оптимальний діаметр діаметрів 1,2 ... 1,8 мм.

При заповненні нелегованими проводами низьковуглецеві матеріали мають погані механічні властивості. Твердість металу і оксидів різна і становить - 210 ... 280 ГВ і 400 ... 560 ГВ відповідно. Покриття характеризуються високою внутрішньою крихкістю за рахунок великої кількості оксидів (20%), високим коефіцієнтом тертя  $f = 0,4 \dots 0,6$  і низькою стійкістю до стирання. Враховуючи вищевикладене, з метою покращення фізико-механічних властивостей покриттів із дротяних сталей запропоновано підхід, заснований на створенні та використанні фазово-структурних перетворень у покриттях при їх наповненні та обробці та їх контролі для забезпечення підвищення зносостійкості та експлуатаційні властивості відновлених поверхонь. Для реалізації запропонованого підходу в якості матеріалів для покриття обрано дріт із сталі 40X13 та Ст-08, що пов'язано з особливостями структурно-фазових перетворень у них під час заповнення. Експериментально встановлено, що структура покриттів відбувається за рахунок нагрівання сталевого дроту електродуговим розпиленням і надзвуковим потоком продуктів згоряння. ... При напиленні дротів 40X13 утворюється 30 ... 50% залишкового аустеніту. Однією з причин появи «ефекту аустеніту» в покритті сталі 40X13 є висока концентрація легуючих елементів (хрому та вуглецю) внаслідок повного розчинення карбідів хрому при плаві дроту та насичення крапель розплаву вуглецем від полум'я факела.

Таким чином, шляхом контролю процесів формування структури під час нанесення покриттів із дротяних сталей СВ-08 і 40X13 методом дугового



напилення отримують реконструйовану поверхню з потрібними експлуатаційними властивостями.

## **2.5. Вплив попередньої підготовки відновлюваних поверхонь на їх властивості після нанесення покриття**

Спосіб додавання шорсткості залежить від необхідної товщини покриття, напружень у ньому, конфігурації та габаритних розмірів виробу, а також подальшої обробки нанесеного шару.

Попередня обробка робить поверхню заготовки відновлюваною до того, як покриття стане шорстким, що підвищує температуру контакту під розпиленими частинками на виступах шорсткості і збільшує загальну площу зварюваних ділянок. Шорстка поверхня має велику площу ділянок зварювання в порівнянні з гладкою поверхнею, що підвищує адгезійну міцність. Недостатня шорсткість при великій товщині покриття може призвести до відшарування, а шорстка поверхня з тонким покриттям може викликати ранню корозію.

Знижуючи ступінь шорсткості відновлюваної поверхні заготовки, можна зменшити її газопроникність [16]. Це слід враховувати при проектуванні процесу та виборі способів попередньої підготовки поверхні.

Найбільш широко використовується реактивна абразивна обробка відновлюваних поверхонь. Простота та ефективність цього методу зумовили його широке застосування в промислових процесах нанесення покриттів. Реактивна абразивна обробка проводиться за допомогою машин, що підривають рушниці, пристроїв, що піддаються вогню, або подібного обладнання, що забезпечує необхідну шорсткість поверхні. Тиск стисненого повітря при вибухових роботах залежить від типу використовуваного обладнання, деталей матеріалу, товщини його стінок і становить 0,1 ... 0,6 МПа. Як матеріал для струминно-абразивної обробки використовуються: електрокорунд марки 13 А і 15 А або зерна карбіду кремнію 80 ...150; подрібнена сталева крупа або залізна крупа розміром 0,8 ... 1,6 мм. фракція зі

сферичними частинками створює необхідну шорсткість і тому може використовуватися лише для попереднього видалення накипу. Чим більше абразивних частинок, тим більша шорсткість поверхні [41].

При обробці тонкостінних деталей (0,5 мм) необхідно дотримуватися запобіжних заходів, щоб уникнути великих засмічень і перекосів. Відстань від виходу сопла дромотропного апарату до поверхні деталі має бути 60 ... 150 мм в залежності від застосовуваного способу, підготовка кута між віссю полум'я і поверхнею деталі може приймати в діапазоні від 65 до 90 °.

При виході на поверхню під час вибухових робіт наноситься сильний удар під гострим кутом до поверхні, під таким же кутом слід проводити розпилення. Після струминно-абразивної обробки стисненим повітрям продувають деталі для видалення абразивних частинок з поверхні. Оброблена поверхня повинна бути матовою, сірою, без блискучих ділянок. Тривалість впливу повинна бути трохи довшою за час, після якого зовнішній вигляд поверхні не зміниться. За рахунок ефекту відлущування, струювання та обробки підвищується втомна міцність деталей. Параметр шорсткості після струминно-абразивної обробки повинен становити  $Rz = 10 \dots 150$  мкм і залежить від товщини покриття, властивостей дротяних матеріалів і деталей [23].

При підготовці моделі до призначення досвідчені учасники розробки технологій відновлення витратні фракції діаметром 0,6...1,2 мм відправляються на поверхню зі швидкістю до 100 км/год. Шорсткість поверхні при досягненні значень  $RZ = 20-40$  мкм і забезпечують механічне перемикання часток, що випали в осад з максорою основою.

## **2.6 Методи обробки відновлених поверхонь на якість деталей**

Електродугові покриття завжди виготовляються з деяким запасом і підлягають обов'язковій механічній обробці. Основними видами механічної обробки є різання та шліфування. Для фінішної обробки покриття

використовуються свинки та твердосплавні інструменти. Конструктивні особливості та фазовий склад покриттів визначають вибір методів і способів обробки [31]. Спосіб обробки покритого покриття залежить від його твердості. Покриття з твердістю від 35 до 40 HRC можна обробляти на металорізальних верстатах, твердосплавних інструментах. Використання карбіду забезпечує кращу обробку поверхні

Покриття твердістю до 40 HRC обробляються фрезами з пластинами твердих сплавів BK2, відеоконференцсв'язью, BK4 і САУ в режимах [24]: подача  $S = 0,05 \dots 0,25$  мм / глибина обертання  $t = 0,1 \dots 0,4$  мм; швидкість різання  $V = 20 \dots 30$  м / хв. Оптиміальними геометричними параметрами фрез є: передній кут  $\gamma = 0 \dots (-5^\circ)$ ; зазорний кут  $\alpha = 6 \dots 8^\circ$ ; кут  $\nu = 30 \dots 90^\circ$ ; радіус  $r = 0,1 \dots 0,2$  мм. При використанні фрези з твердосплавними пластинами умови процесу можуть бути більш жорсткими:  $V = 75 \dots 90$  м / хв подача  $S = 0,15$  мм / об. Попередня обробка:  $V = 90 \dots 105$  м / хв подача  $S = 0,08$  мм / об / хв. Результати досліджень режимів обробки після електророзпилення зведені в таблицю 2.4.

Наполеновое покриття при свердлінні, струганні, фрезеруванні та напиленні не може мати синусоїдальних і розтягуючих напружень і навантажень, які зазвичай відривають покриття від основи. Якщо вам потрібно просвердлити отвір в деталях з покриттям, можна почати з основного металу. Для цього отвору в покритті потрібні зенкерки під кутом  $45^\circ$ .

Таблиця 2.4 - Режими механічної обробки електродугових покриттів

Режим обробки	Швидкість різання, Vм/хв	Подача, Sмм/об	Глиби нарізання, t мм
Чорнова обробка	40...60	0,06...0,1	0,1...0,3
Чистова обробка	40...60	0,06...0,08	0,06...0,1

Обробку покриттів твердістю понад 40 HRC або фінішне покриття виконують інструментом з гексаном-R [38]. Поширеним правилом при обробці покриттів є установка фрези трохи вище центру деталі, що мінімізує

кут нахилу різця. Величина зміщення різця над центром деталі експериментально визначається для отримання задовільної якості обробки. Для підвищення чистоти обробленої поверхні необхідно обробити ці матеріали теплоносієм (розчинним) [4].

Шліфування покритих покриттів здійснюється карбідним або алмазним інструментом [47]. Для подрібнення карбіду кремнію використовують кола КЗ крупни М25, М40 і твердості СМ1-СС1. Попереднє шліфування алмазного інструменту виконується дисками АРТ на металевих зв'язках М016, М013, МВ1 з алмазами ASCM, ask, ASV зерна 250/200, 200/160, які забезпечують шорсткість 0,32. Для фінішної обробки використовуються круглі алмазні чашки з органічного сполучного В1 з алмазами ASO Grit 40/28, 28/20. Режими циліндричного подрібнення: діапазон швидкостей 30 ... 35 м / с; деталі швидкості - 25 ... 32 м / хв; поздовжня подача - 1,0 ... 1,5 м / хв; поперечний потік 0,006 ... 0,15 мм / хв для переміщення (0,016 - до подрібнення; 0,006 - під час обробки). Режими плоского подрібнення: діапазон швидкостей - 30 ... 35 м / с, поздовжня подача 18 м / хв; поперечний потік - 1,8 мм / об; глибина шліфування - 0,01 мм. Подрібнення проводять при рясному охолодженні.

При шліфуванні використовуються алмазні круги з розміром зерна 147 ... 27 мкм, глибиною різку 2,5 і 12,5 мкм при обтіканні кола в поперечному коливанні з амплітудою 1 ... 2 мм, окружна швидкість кругова 5 ... 33 км/год. Фінішні поверхні (0,2 мкм) покриті алмазною пастою. Подрібнення під тиском 0,14 ... 0,175 МПа, швидкість подрібнення 30,5 ... 91,5 [8]. Структура та властивості поверхневого шару в результаті механічної обробки, зміна середньої глибини від 0,1 до 0,7 мм. Структура в цьому випадку набуває спрямовану структуру, а твердість збільшується на 30 ... 40%.

Крім механічної обробки деталі після електронапилення піддають хіміко-термічній і термомеханічній обробці. Термооброблена сталь має твердість HRC 40 ... 45, а в процесі зміцнення збільшують її на 5-10%. Шляхом об'ємної пластичної деформації можна збільшити модуль пружності

матеріалу покриття. Теплові та хімічні ефекти сприяють поширенню структурних перетворень у глибині поверхні відновлюваного матеріалу [19].

Одним з найефективніших методів механічної та хімічної обробки (МТО) є електроконтактне очищення (ЕКЗ) [13]. Перевагою ЕКЗ є максимальна відтворюваність механічних властивостей покриттів. Встановлено, що в результаті ЕКО міцність клейового покриття з відновлюваною поверхнею підвищується до 160 ... 220 МПа. Технологія IVF дозволяє збільшити товщину електродугового покриття в межах 0,2...3,0 мм. Електроконтактна обробка дугових покриттів характеризується: високою продуктивністю (до 0,01...0,015 м<sup>2</sup>/хв), низьким споживанням енергії (0,25...0,60 кВт/год), малою площею термічного впливу металевих частин електроприладів. струм (0,2 ... 1.0 мм), не потрібно використовувати захисні середовища, можливість отримання рівномірних шарів товщиною від 0,5 до 4 мм, високий ступінь автоматизації та сприятливі санітарно-гігієнічні умови для виробничого процесу. Найкраща швидкість обробки - 0,014 ... 0,02 м / с.

## Висновки до розділу 2

Запропоновано підхід до вдосконалення технології ремонту деталей ВАТ з електродуговими покриттями, який полягає у збільшенні ресурсу деталей ВАТ шляхом управління: технологією відновлення електродугового покриття, зокрема параметрами потоку газу (швидкістю та температурою газу та часток, параметрами конструкції). обладнання для відновлення EDN), методи підготовки відновлюваної поверхні до нанесення електродугових покриттів, склад і властивості матеріалу покриття та його розпилювального середовища - методи обробки відновлених поверхонь.

Доведено, що підвищити ресурс деталей АНТ можна шляхом удосконалення технології їх ремонту електродуговими покриттями шляхом керування моделями газодинамічних та фізико-хімічних процесів. Вирішено задачу регулювання газотеплових параметрів потоку: швидкості та температури газу та частинок, коефіцієнта концентрації потоку, гранулометричного складу, властивостей частинок і носія.

## РОЗДІЛ 3

### ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НАНЕСЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ

#### **3.1. Розробка технологічного процесу відновлення деталей АТ електродуговими покриттями**

Технологічний процес ремонту комплектуючих ЗАТ включає: демонтажні, демонтажні та мийні роботи; миття та прибирання; прибирання; моніторинг та дефектоскопія; деталі сортування [38].

Демонтаж та миття - найбільш трудомісткі та недостатньо оснащені найсучаснішим обладнанням. На їхню частку припадає 9...13% від загальної кількості запчастин для ремонту АКПП. За рахунок оптимізації робіт з демонтажу та очищення знижуються витрати на ремонт на 5...6%.

Огляд, огляд та сортування деталей є характерним елементом технологічного процесу ремонту деталей АНТ і проводиться з метою визначення стану деталей та їх розбивання на відповідні деталі без ремонту, що ремонтуються, неремонтопридатні. Контрольні роботи проводять шляхом зовнішнього огляду, вимірювання жорстким або універсальним приладом, огляду спеціальних приладів та ламп.

Загальна схема технологічного процесу. Конструктивно-технологічний процес (ТП) відновлення деталей можна розглядати певним чином, що відноситься до сукупності способів усунення їх дефектів, пошкоджень, поломок.

Процес відновлення напилених деталей шляхом покриття електричною дугою складається з наступних операцій: чищення та промивання деталей; перевірка вхідних даних; розширена обробка; ізоляція перед підривними роботами; дробоструминна обробка; керма після дромotropної обробки; ізоляція від розбризкування; електродугове напилення; кермо відновлено з

покриттям; обробка відновлених поверхонь; остаточний огляд відновленої деталі; зберігання предметів для зберігання.

Очищення деталей від забруднень (знежирення). Очищення виробляє деталі видалення бруду, масел і відкладень смоли. Спосіб очищення регенованої поверхні залежить від типу забруднення (таблиця 3.1), конструкції та матеріалу деталі, обсягу виробництва та інших факторів.

Таблиця 3.1 - Клас та тип забруднень

<b>Клас забруднень</b>	<b>Тип забруднень</b>
Залишки палива, мастил	Залишки масел, консистентні мастила, масло грязьові відкладення
Грязьові відкладення	Пилегрязьові відкладення, залишки добрив і отрутохімікатів, рослинні залишки
Вуглецеві відкладення	Лакові відкладення, вигорання
Неорганічні відкладення, забруднення	Накип, продукти корозії і механічного зносу
Захисні покриття	Старі лакофарбові покриття

Забруднення за хімічним складом поділяють на органічні (нафтожирові відкладення, плівки, покриття, консервація, мастильні матеріали), неорганічні (окалина, продукти корозії) та змішані (сажа, промислові забруднення). Забруднення нафтою становить до 70% покриттів - до 22%, інші види забруднень (окалина, корозія, забруднення тощо) - до 8% загальної площі забруднених поверхонь. Різні види домішок і різні значення їх адгезії та когезії вимагають диференційованого підходу до призначення технологічних наслідків для видалення цих забруднень.

При механічних способах очищення забруднення видаляють струменями води, скребками та щітками (ручні або моторизовані - металевий пісок, віброабразивний метод, у обертових барабанах. Очищення струменем води - традиційний метод. Для підвищення ефективності такого очищення необхідно водяний струмінь вводиться абразивом. В якості абразиву використано водоструминне очищення деталей, забруднених корозією,



окалиною, забрудненнями кварцовий пісок, оксид алюмінію, карбід бору та кремній

Серед фізико-хімічних методів використовуються: миття деталей шляхом занурення у ванни з миючими розчинами; струменеве прання з миючими рідинами.

Основою термохімічних методів очищення є використання тепла та агресивних лужних середовищ. Цей метод видаляє стару фарбу, відкладення вуглецю (відкрите полум'я) шляхом очищення деталей у розплавлених солях і лугах.

Операцію знежирення рекомендується видаляти маслом, яке запотіло поверхню після випалу та після стирання. Загальне знежирення деталей проводять гарячими парами розчинника шляхом промивання органічними розчинниками, миючими засобами, лужними розчинами та емульсіями. Знежирення в лужному середовищі можна проводити за допомогою спринцювання або розпилення. Після знежирення водними розчинами або емульсіями проводять промивання водою.

Травлення, на відміну від знежирення, використовується для видалення забруднень, сильно пов'язаних з частиною матеріалу (окалини, корозії, вапняного схоплювання тощо).

Найбільші труднощі створює очищення поверхонь від твердих домішок (мулу і накипу). Відкладення вуглецю видаляють механічним способом: механізованим або ручним інструментом, дробленням крихти з грудкуватою або подрібненою металеву фракцією.

Для багатьох деталей АНТ єдиним способом видалення масла з пор основного матеріалу є відпал при температурі 300 ... 350 ° С в муфельних або шахтних печах.

Рекомендується використовувати миючі засоби для очищення деталей заздалегідь, оскільки органічні розчинники токсичні і зазвичай не працюють гладко в середовищі аеропорту. Сушку деталей АТ після миття слід

проводити в сушильних печах при температурі 60 ... 150 ° С або продуванням стисненим повітрям, очищеним від масла і вологи.

Нагріті частини. Попередній підігрів необхідний для видалення конденсату з відновленої води заготовки. Нагрівання поверхні заготовки перед розпиленням до температури 100 ... 120 °С достатньо для повного видалення конденсату. Можна використовувати струмінь продуктів згоряння робочих газів у камері згоряння розпилювального апарату без подачі розпилюваного матеріалу, як джерело опалення. Температура попереднього нагріву повинна бути нижчою за температуру, при якій на поверхні утворюється видима оком оксидна плівка, і знаходиться в межах 90 ... 150 ° С ... Контроль температури можна здійснювати за допомогою термоіндикаторних олівців або за допомогою спеціальних швидкодіючих пірометрів.

Попередній підігрів деталі можна використовувати разом з охолодженням, яке необхідно зробити, якщо температура деталі під час розпилення перевищує 250 ° С. Деталь охолоджується шляхом вдування стисненого повітря (або аргону, вуглекислого газу тощо) під час процесу розпилення або тимчасово припинення розпилення. У разі вимушеного переривання процесу напилення деталей необхідно нагріти перед її відновленням.

### **3.2 Попередня обробка відновлюваних поверхонь**

Попередня обробка. Механічна обробка виконується, як правило, на комерційному серійному обладнанні і призначена, насамперед, для виправлення дефектів (відхилень), виявлених у контролі.

Попередню обробку слід проводити без використання МПА. Попередня обробка найменшої глибини повинна бути достатньою для забезпечення мінімально необхідної товщини покриття та зносостійкості. У тих випадках, коли поверхня зношена нерівномірно, виконується ступінчаста обточування. При нанесенні покриття на поверхню, призначену для

стаціонарних посадок, мінімальну глибину попереднього витка вибирають згідно з таблицею 3.3, без додаткового припуску на знос. По можливості ширина попередньо обробленої поверхні повинна бути на 15-20 мм більшою за ширину робочої поверхні. У всіх випадках гострі кути і краї обробленої ділянки повинні бути закруглені або скошені.

Раковини, тріщини та інші дефекти поверхні необхідно зробити у вигляді «ластівчиного хвоста» або клина. Раковину вирізають зубилом, а її поверхню очищають і готують до напилення струминно-абразивною обробкою. Раковину слід армувати, щоб матеріал наносив для заповнення без утворення пустот.

Раковини, тріщини та інші дефекти поверхні необхідно зробити у вигляді «ластівчиного хвоста» або клина. Раковину вирізають зубилом, а її поверхню очищають і готують до напилення струминно-абразивною обробкою. Раковину слід розширити, щоб нанесений матеріал заповнював її без порожнин.

Рівні поверхні вимагають спеціальної обробки кромки або додаткової фіксації нанесеного шару. Ці дії необхідні при нанесенні покриттів товщиною більше 1 мм.

Таблиця 3.2 - Рекомендована мінімальна товщина покриттів на деталях різних діаметрів

Діаметр деталі, мм	Мінімальна товщина покриття, мм
≤ 25	0,25
25 до 50	0,40
50 до 75	0,50
75 до 100	0,65
100 до 125	0,75
125 до 150	0,90
150	1,00

Після обробки відновлених поверхонь необхідно провести огляд поверхні за допомогою дефекту або лупи. Предмети викидаються, якщо вони зламані.

Підготовка поверхні до розпилення. Існують такі методи підготовки поверхні перед процесом нанесення покриття: механічний; хімічні; електричні розряди, що залишаються на поверхні частинок наповнювача; вибухові роботи; напилення тонкого підшару молібдену.

Необхідною умовою міцного з'єднання покриття з деталлю є необхідність активізації і формування шорсткості відновлюваних поверхонь.

У тих випадках, коли товщина покриття перевищує 1,0 мм, а деталі мають поверхневі обриви (шпонкові пази тощо), обов'язково потренуйтеся нарізати рвані різьблення або пази. При підготовці поверхні до ЕДН різьблення може бути шорсткою трикутною, із заокругленими вершинами, шорсткими полотнами пилки, нахилом полотна пилки в протилежну сторону і ламаним півколом. У випадках, коли знос є досить рівномірним, можливе поєднання попереднього обертання і нарізання зірваної різьби.

Для сильно навантажених деталей використовується метод нарізання пазів або «рваної різьби» за допомогою накатного ролика. Забезпечує високу адгезійну міцність покриттів до основи. Підготовка поверхні проводиться в два етапи. Першим кроком є вирізання канавок. Глибина пазів повинна бути 0,5 ... 0,7 мм. Другим кроком є виконання роликової поверхні з вирізаними пазами, щоб надати внутрішній стороні пазів форму «голуба». Для пробігу використовуйте пряму або сітчасту пластину з кроком 0,5 ... 0,6 мм. Інструменту необхідно надати рівномірне зусилля і прокатати по осі деталі 2 ... 3 рази. Після запуску ширина виступів повинна дорівнювати ширині зазору між ними.

Під час напилення покриття на поверхню, підготовлену вищевказаним способом, зробіть кілька перших проходів розпилювального пристрою, направляючи струмінь напилюваного матеріалу під кутом 45° до деталей поверхні, які змінюються після кожного проходу, кут, на який розпилюється.

матеріал міг добре заповнити пази. Цей спосіб напилення застосовується для поверхонь з твердістю, що дозволяють обробляти фрезою.

У багатьох випадках для економії часу не потрібна велика товщина покриття і міцна адгезія, використовують метод нарізання «рваної нитки» пропущеної колони, подібний до способу нарізання пазів накатним валиком. Після нанесення «рвана нитка» проходить по поверхні валиків до повного згортання верхівок ниток.

Пристрій забезпечує універсальне пластичне деформування поверхневого шару заготовки на різну глибину і значну шорсткість поверхні. Заготовка, оброблена цим методом, має більш активну поверхню, ніж після інших методів обробки. Такий спосіб підготовки забезпечує збільшення адгезійної міцності електродугових покриттів зі сталеву основою до відриву в 1,4...1,6 рази, зрізу - в 2,0...2,5 рази в порівнянні з дробеструйною обробкою і нарізанням «рваною ниткою». Крім того, цей метод дозволяє одночасно готувати поверхню і розпилювати на одному обладнанні, що підвищує продуктивність процесу і підвищує міцність адгезії за рахунок скорочення часу між підготовкою поверхні і напиленням покриття. Наявність залишкових стискаючих напружень на поверхні основи після підготовки поверхні підвищує втомну міцність заготовки.

Перед нанесенням покриття товщиною менше 0,2 мм і для підготовки поверхні деталей з товщиною стінки менше 0,5 мм проводять травлення розчинами різних кислот. Для травлення рекомендуються такі розчини кислот:

- для вуглецевої сталі - 10 ... 15 % розчин сірчаної кислоти при температурі 55 ... 80 °С;

- для нержавіючої сталі - 15% розчин азотної і 5% плавикової кислоти при температурі 65 °С.

Протравлення слід проводити до тих пір, поки не почнеться зміна кольору поверхні. Після травлення деталь ретельно промивають окропом, висушують і напилюють покриття, при цьому потрібно мінімізувати час між

висиханням і нанесенням покриття. Не рекомендується доводити хімічну обробку до стадії пасивування.

У випадках, коли твердість поверхні перевищує 50 частин HRC або коли деталі не можуть бути піддані механічному чи вибухонебезпечному впливу, їх готують електричним іскровим напиленням. Для цього використовуються пучки нікелевого дроту, які виконують роль електродів. У місці контакту електродів з поверхнею в результаті міграції металу від електрода до деталі утворюються виступи висотою 0,1...0,8 мм. Для підготовки поверхні електроскопа використовують установку іскрового легування, а також звичайні зварювальні трансформатори. Максимальна напруга на вторинній обмотці трансформатора 9 В, струм 340 А.

Реактивна абразивна обробка використовується перед нанесенням тонких корозійно-стійких покриттів і для обробки поверхонь легко навантажених деталей машин. Для обробки деталей із легованих сталей струминно-абразивну обробку необхідно поєднувати з різьбленням «рвані нитки» або пазами. Це пов'язано з тим, що такі деталі часто не в змозі отримати якісну «рвану нитку». Розмір абразивних частинок повинен бути менше кроку різьблення або канавок. Відновлена поверхня, яка не буде покрита, покривається захисною мильно-графітовою пастою і захищає від абразивних частинок спеціальними щитками з тонких листів металу або іншого абразивного струминного матеріалу (гуми, PTFE тощо). покриття 2-3 мм з кожного боку. Встановлено, що для досягнення найкращих результатів активація абразивного струменя відновлюваної поверхні повинна бути сталевим (DSC) або дробленим чавуном (DCC) з розміром частинок електрокорунду 0,8 ... 1,6 мм (800 ... 1500 мкм). Електрокорунд після повторного використання необхідно висушити при температурі 200 ... 250 ° С протягом 3,5 год і відокремити дрібну фракцію (до 100 мкм). Під час абразивоструйної обробки рекомендується формувати шорсткість поверхні з висотою мікросистеми, що дорівнює трьом чвертям діаметра частинок

порошку ( $Rz = 20...40$ ) [15]. Для отримання такої шорсткості необхідно застосувати параметри струминно-абразивної обробки.

Дробеструйну обробку застосовують для деталей з діаметром або товщиною стінки до 15 мм, деталей з відносно низькою механічною міцністю або низькою межею втоми деталей складної конфігурації, для закладення тріщин на парах тертя чавунних деталей і підготовки деталей перед нанесенням тепла. - стійкі, антикорозійні та декоративні.

Вибухові вибухи здійснюються на або детонуючих колісних системах. Для вибуху використовуються два види пристроїв: пневматичні та відцентрові (відцентрові).

Вибухові вибухи перед процесом нанесення покриття здійснюють за допомогою дромотропного пістолета в шафі або спеціального камерного дромотропного пристрою. Перед обробкою заготовки отвори масляних каналів необхідно закупорити дробом. Для цього використовують дерев'яні або гумові конічні заглушки, які вставляються в отвори так, щоб їх виступ над поверхнею становив 0,3 ... 0,5 мм.

Для обробки полірованого луцення - фракція охолодженого чавуну і сталі діаметром 0,4-2,0 мм за ГОСТ 11964-81. Дрібна фракція (0,4 ... 1,0 мм) використовується для обробки кольорових металів, чавуну, кераміки та тонкостінних виробів. Фракція 1,5 мм використовується для обробки м'яких сталевих виробів і для нанесення антикорозійних покриттів товщиною 0,04 ... 0,2 мм. Рекомендована шорсткість підготовленої поверхні при формуванні антикорозійного покриття становить 10 ... 20 мкм. Велике значення має правильний вибір шорсткості при нанесенні антикорозійних покриттів, оскільки в цьому випадку товщина шару може бути співмірна з висотою відновлених нерівностей. Більшу фракцію (до 2,0 мм) використовували для обробки твердих поверхонь. Чим твердіше матеріал і чим дрібніше фракція, тим менш шорстка поверхня повертається. Твердість вистрілу сталі з вмістом вуглецю 0,7% через 40 годин роботи збільшується при HRC 36 HRC 37 42 ... 44, а через 300 годин - до HRC 48 ... 50. Сталева дроб має високу стійкість,

витрата менше, ніж чавун. При нанесенні зносостійких покриттів рекомендується отримати максимальну шорсткість поверхні, досягти рекомендованої швидкості фракції 60...70 м/с, тиску стисненого повітря 0,5...0,6 МПа (для листового матеріалу 0,1 .. 0,15 МПа), кут атаки 30 ... 90 °, відстань обробки (відстань між насадкою і реставраційною поверхнею) 80 ... 150 мм. Контроль поверхні, підготовленої після напилення після дробеструйної обробки, здійснюється зовнішнім оглядом. Сліди масла, вологи та корозії не допускаються.

Підготовлені деталі зберігають у приміщенні при температурі не нижче 18 °С і відносній вологості повітря понад 75%. Не допускається вміст у повітрі корозійних елементів і бризки води та інших рідин на поверхню деталей. Час між підготовкою поверхні та розпиленням не повинен перевищувати 2 годин.

### **3.3 Нанесення електродугових покриттів з дротяних сталей**

Для захисту поверхонь від частинок пилу використовуються щити та накладки, металеві, азбест або інші негорючі матеріали, подібні до тих, що використовуються при абразивоструйній обробці. Для невеликої поверхні деталі використовують спеціальні екрани з загнутими в бік руху металевих частинок краями. Екрани встановлюють на відстані не більше 50 мм від поверхні бризок. Інший спосіб ізоляції — нанесення антиадгезивного складу [1], який містить шелак (20 ... 50 %), хлорид амонію (35 ... 45 %), етиловий спирт. Хлорид амонію відганяють при контакті з частинками розпиленого матеріалу. Сублімація газів забирає частинки розплавленого металу і покриття на огороженій ділянці, не утворене товщиною від 0,3 до 0,5 мм. Деструктоїд шелаку контактує з частинками розплавленого порошку, що запобігає утворенню розсіяного покриття. Щоб запобігти зчепленню напиленого металу на поверхнях деталей, які не можна обточувати або прилягати до місця осадження, покрийте тонким шаром захисної пасти



наступного складу: графіт - 10%, крейда - 20% мила до 70%. зазначену суміш розводять водою в пропорції 3:1 і наносять на поверхню. Після висихання пасти покриття наноситься.

Нанесення металевого підшару. Перед нанесенням покриття, матеріал якого відрізняється від матеріалу, коефіцієнтом теплового розширення і який працює в умовах змінних теплових і динамічних навантажень, слід використовувати рdark для забезпечення плавного переходу властивостей реконструйованої поверхні від покриття до основи [41]. ]. В якості матеріалу рекомендується використовувати ніхром або молібден, а його товщина не повинна перевищувати 0,05...0,15 мм [22].

Молібден з високою температурою плавлення (2600 °С) дозволяє частинкам досягати відновленої поверхні з температурою вище 2500 °С. Через велику тепловіддачу відбувається точкове зварювання на деяких невеликих ділянках частинок молібдену до основного металу. Покритий молібден міцно кріпиться до основного металу, а його шорстка поверхня забезпечує зчеплення з наступним шаром. Молібден сильно окислюється на повітрі, тому при використанні його в якості підшару необхідні наступні умови: розпилення на невеликі відстані (60...90 мм) для підвищення коефіцієнта використання матеріалу; відновлення абразивної продувної поверхні для видалення оксидів і домішок і підвищення міцності зчеплення; розпилення молібдену в розпилювачі повітря низького тиску для отримання крупнозернистого покриття, яке має кращу адгезію, ніж дрібне; попередньо розігріти поверхню до 100 ... 200 ° С, щоб виключити вплив шару конденсованої води, що погіршує захоплення; обрізати «обірвану нитку» перед нанесенням товщини молібденового покриття більше 1 мм; частка молібдену бажано повністю покривати відновлену поверхню.

Ніхром використовується в нормальних режимах аж до середнього розпилення. Однак слід зазначити, що ніхром і молібден є особливо дорогими і дефіцитними матеріалами. Тому їх слід використовувати при використанні пдарко тільки в крайніх випадках, найважливіших частин АТ,

від яких залежить безпека експлуатації АТ і, отже, безпека. Первинне покриття. В результаті експериментальних і теоретичних досліджень у розділах 3 і 4 нами встановлені оптимальні режими процесу відновлення електродугових покриттів, незважаючи на це можна отримати рівномірне і якісне покриття. Зокрема, встановлено, що для досягнення оптимальних результатів необхідно працювати при тиску стисненого повітря 0,45 ... 0,6 МПа і тиску пропан-бутану 0,25 ... 0,4 МПа.

Напруга дуги встановлюється згідно з рекомендаціями, наведеними в таблиці 3.3. Дуга робочої напруги в діапазоні 35...40 В є найбільш досяжною з економічної точки зору, оскільки при зростанні потужності дуги (при постійній продуктивності) втрати матеріалу електрода через випаровування можуть досягати 20% [13]. Робочий струм дуги встановлюється автоматично залежно від швидкості подачі дроту.

Швидкість подачі дроту встановлюється якомога вищою при заданій напрузі дуги, щоб забезпечити стабільне плавлення електродів відповідно до рекомендацій. Кут напилення повинен дорівнювати 90 °, так як відхилення від нього збільшує пористість покриття, знижує використання матеріалу і міцність зчеплення з основою. Швидкість обертання деталі і поздовжню подачу електродугового апарату вибирають на підставі рекомендацій по електричному

Таблиця 3.3 - Напруга на дузі встановлюється залежно від матеріалу покриття

Матеріал, що використовується	Напруга, В	Діаметр дроту, мм	Максимальна продуктивність, кг/год	Струм, А
Цинк	18...24	1,6	6,40	110...130
Алюміній	22...28	2,0	10,2	140...200
Сталь	26...32	2,0	6,60	140...300
Мідь	34...38	2,0	18,6	180...400
Бронза-латунь	30...34	2,0	21,2	260...360

Крім робочих параметрів використовуваного апарату, на процес відновлення ЕДН також впливають відстань між форсункою апарату та

відновлюваною поверхнею, продуктивністю апарату, ступенем різання дроту, кутом розпилювання, тривалість перерв між розпиленням окремих шарів, температурою виробу та покриття, швидкістю руху апарату. Найбільш оптимальний режим обприскування показаний у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Оптимальні параметри електродугового напилення сталевих покриттів

<b>Параметр режиму напилення</b>	<b>Значення параметра</b>
Робоча напруга дуги, В	35...40
Тиск стисненого повітря, МПа	0,45
Витрат астисненого повітря, м <sup>3</sup> /хв	1,0
Тиск пропану, МПа	0,35
Витрата пропану, м <sup>3</sup> /хв	0,04
Дистанція напилення, мм	180...220
Швидкість подачі дротів, м/хв	2,5
Швидкість обертання деталі, об/хв	15...20
Поздовжня подача апарату, мм/об	110

Проаналізуємо порядок нанесення електродугових покриттів: включити ротатор із нерухомою частиною; включити подачу повітря до електричного апарату; увімкнути джерело живлення дуги та подати провід (відключення відбувається в зворотному порядку); увімкнути електричний апарат і розпорошіть зразок, як показано на рис. 3.1.

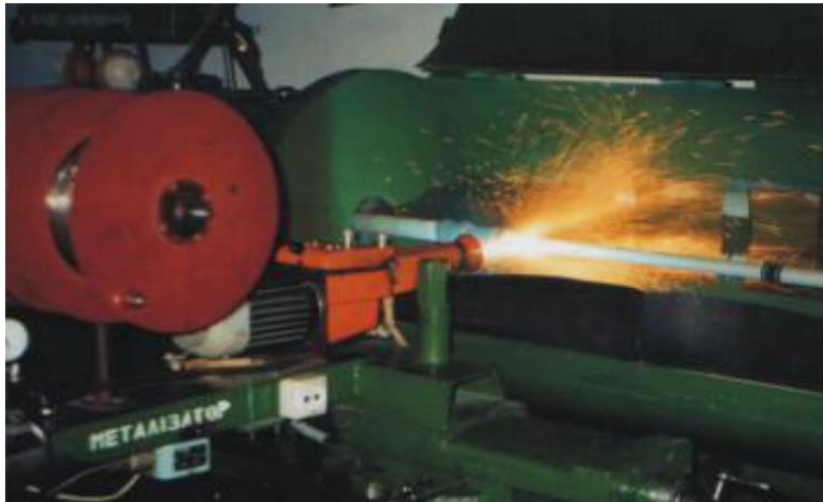


Рис.3.1. Нанесення електродугових покриттів

Товщина напиленого шару за один прохід повинна дорівнювати в межах 0,10 ... 0,25 мм. Після напилення трьох шарів покриття провести контроль товщини шару вимірюваннями трьох перетинах, виконуючи по три виміру в кожному перетині.

### 3.4 Устаткування для відновлення поверхонь ЕДН

Для реалізації технології ЕДН рекомендується використовувати обладнання, що включає пристрій для дугового наплавлення ЕДН-10 у вигляді розпилювальної головки, джерело живлення електричної дуги, пульт керування, газову установку та комплект шлангів (рис. 3.2).

Система живиться від трифазного змінного струму 220, частотою 50 Гц. Пристрій джерела постійного струму з жорсткою характеристикою струму напруги ВДУ-506, комплектується з'єднувальними кабелями з розподільною коробкою і пультом управління. Джерело струму ВДУ-506 слід розташовувати на відстані 3...4 м від електродугового апарату. Блок управління пристроєм для електричного розпилення призначений для контролю швидкості подачі та займання суміші повітря з горючим газом.

Джерело живлення призначене для охолодження та перемішування, вироблення стисненого повітря, зварювального струму та високої напруги в

електродуговому апараті. Котушка запалювання міститься в монтажний блок і підключається високовольтний провід запалювання суміші.

а)



б)

Рис.3.2. Апарат для електродугового напилення ЕДН-10 з джерелом постійного струму ВДУ-506, зі з'єднувальними кабелями і комутуючою коробкою (а), і пультом управління (б)

Загальний вигляд апарата для електродугового напилення представлений на рис.3.3.

Таблиця 3.5 - Технічна характеристика ЕДН-10

№ п/п	Показник	ЕДН-10
	Напруга, В	8...40
	Сила струму, А	80...380
	Номінальна потужність електродвигуна приводу подачі дроту – 0,09 кВт; потужність дуги, кВт	5...20
	Температура часток матеріалу, К	1100...6100 200
	Робочий тиск газів, МПа пропан повітря	0,30...0,45 0,45...0,80
	Витрата повітря при 0,6 МПа, м <sup>3</sup> /год Витрата пропан-бутана, кг/год	не більше 60 не більше 0,011
	Швидкість подачі дроту, м/с	0,05...0,63
	Дистанція напилення, мм	60...150
	Продуктивність розпилення матеріалу при дроті діаметром 2 мм по сталі, кг/год	18,4
.	Швидкість переміщення плями напилення, м/с	0,5...0,8
.	Кут зустрічі потоку частинок з поверхнею напилення,	45...90
.	Коефіцієнт використання напилюваного матеріалу	0,8...0,85
.	Відстань від сопла до поверхні, що напиляється, мм	150...180
.	Діаметр дроту, мм	1,6...2,0
.	Частота обертання валу, об/хв	до 60
.	Швидкість поздовжнього переміщення апарата, мм/об	5...10

Установка ЕДМ-10 дозволяє ремонтувати зношені поверхні, наносити зносостійкі та інші покриття. З його використанням ми відновили колінчасті вали, колінчасті вали, вали компресорів і насосів технологічного обладнання, посадочні місця для підшипників на різних валах, осі та корпуси блоків вузлів технологічного обладнання.

До проводів, які використовуються при реставрації деталей методом дугового покриття, пред'являються наступні вимоги:

- поверхня дроту повинна бути гладкою, без слідів корозії, плям будь-яких домішок;
- провід не повинен мати зламів. Вм'ятини та зламки проводу необхідно усунути;
- рекомендується використовувати тільки намотування дроту на котушки;

- з зовнішньої сторони котушки провід повинен бути змотаний вільно;
- перед використанням дріт необхідно очистити та висушити.

Дріт очищають від консервуючого жиру шляхом відпалу при температурі 200 ... 250 ° С протягом 11,5 годин гальванічним зварюванням або в розчині сірчаної кислоти (70 ... 80 г на 1 л води) при температурі 70 ... 80 ° С протягом 1 року [28]. Режим сушіння: нагрівання до 150 ° С зі швидкістю 50 ... 100 ° С / год витримка 2 години, охолодження на повітрі. При дотриманні режиму сушіння поверхня дроту набуває солом'яного кольору.

### 3.5 Обробка поверхонь, відновлених ЕДН

Механічна обробка. Зусилля, що виникають при різанні, не повинні бути спрямовані на відділення шару покриття від відновлюваної поверхні, шар завжди повинен бути притиснутий до основи. Припуск напиленого шару на механічну обробку становить 1...2 мм в залежності від товщини покриття (табл. 3.6). За рахунок усадки напилюваного матеріалу подрібнення проводять через 48 годин. Вибір режиму механічної обробки поверхонь, відновлених електродуговим напиленням, слід здійснювати за методичними рекомендаціями, викладеними в [28].

Таблиця 3.6 - Припуск на механічну обробку шліфуванням покриття

Діаметр деталі, мм	Припуск, мм
до 30	0,35-0,4
30-50	0,4-0,45
50-70	0,45-0,5
70-100	0,5-0,55
100-120	0,55-0,65
120-150 и більше	0,65-0,75

Низьковуглецеву сталь обробляють шліфуванням або фрезеруванням, якщо твердість не перевищує 40 ... 42 HRC. Швидкість різання при чорновій обробці доцільно вибирати плавну  $V = 30 \dots 38$  м / хв подача  $S = 0,15$  мм / об. Глибина пропилу не повинна перевищувати 0,1 мм. При обробці покриттів  $V = 38 \dots 53$  м / хв;  $S = 0,08$  мм.

Необхідний кінцевий розмір поверхні формується після обробки, як правило, шліфування. Ця операція виконується при необхідності. Режими цих операцій слід вибирати так, щоб вони не викликали розсипання або розтріскування покриття. Шліфувальні свинцеві круги із зеленого карбиду кремнію або корунду, наприклад, типу 24А 60ПС23.К5 крупини 150 ... 200 мкм [23], зі швидкістю подрібнення від 35 до 48 м / с, витрата 0,06 ... 0,08 мм / об., а глибина різки менше 0,1 мм / об.

Шліфування є остаточним фінішним покриттям. Для підвищення технологічності використовуються ріжучі рідини. Шорсткі шліфувальні поверхні, відновлені електродуговими покриттями, мають твердість 60 HRC і більше, рекомендується в таких режимах: діапазон швидкостей 30...35 м/с; деталі швидкості 20 ... 32 мм / хв; поздовжня подача з глибиною подрібнення 1...3 м/хв становить не більше 0,01...0,03 мм [26]. Шліфувальні круги з корунду або карбиду кремнію середньої твердості (СМ-1, СМ-2, СТ, СТ-1, СТ-2) шліфуються. Режими шліфування: глибина для грубого шліфування становить 0,1 ... 0,5 мм; глибина остаточного шліфування 0,01 ... 0,03 мм, шліфування використаного скла (Амель, ІЧО-101, ПЦР). Шорсткість обробленої поверхні після шліфування не повинна перевищувати  $Ra = 0,63$ .

### **3.6 Контроль якості поверхонь, відновлених електродуговим напиленням**

Поверхня, яка відновлена електродуговими покриттями, контролюється за зовнішнім виглядом з використанням лупи 10-кратного збільшення L13, L14 за ГОСТ 8309-75, ГОСТ 7594-75. Покриття має бути



однорідним, однорідним за кольором. Не допускаються тріщини, відколи, здуття і лущення.

Діаметр відновленої поверхні перевіряють штангенциркулем ШЦ-2-160-0,05 ГОСТ 166-89 або за допомогою МРТ-мікрометра 150-0,002 ГОСТ 43810-87 на відповідність номінальному розміру.

Товщину нанесеного електропокриття на відновлювану поверхню контролюють штангенциркулем СК 0-250 ГОСТ 166-80 шляхом вимірювання зовнішнього діаметра заготовки. Товщина нанесеного покриття не повинна перевищувати 5 мм.

Готова поверхня, яка відновлюється електродуговим напиленням, не повинна містити мікротріщин, відшарування, потертостей, вм'ятин, опіків при шліфуванні та інших дефектів. При виявленні дефектів нанесений шар необхідно видалити і повторити струйні, знежирювальні, нанесені та фінішні операції.

Відновлені поверхні деталей після остаточної механічної обробки змастити консервуючим маслом К17 ГОСТ 10877-76. Консервовані відновлені частини зберігають у спеціально відведеному місці, закритому від опадів.

### **Висновки по розділу 3**

На основі проведених досліджень досліджено можливість та доцільність підвищення зносостійкості та ресурсостійкості деталей ВАТ шляхом експериментального вдосконалення технології ремонту цих деталей та відновлення їх робочих поверхонь ЕРН. Ефективність удосконалення технології ремонту деталей ВАТ «ЕДН» підтверджується на прикладі відновлення валу розподільника 740.1006015.04 паливного бака ТЗ-7-4310.

## **РОЗДІЛ 4**

### **ОХОРОНА ПРАЦІ**

Під час виконання магістерської роботи велику кількість часу відводилось роботі з електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ): обробка отриманих результатів, будування графіків, набір тексту та інше. Тому розділ охорони праці ми присвячуємо техніці безпеки при роботі на ЕОМ.

#### **4.1 Небезпечні та шкідливі фактори при обробці статистичних даних на ЕОМ**

Облаштування робочих місць, обладнаних видеотерміналами, повинно забезпечувати:

- належні умови освітлення приміщення і робочого місця, відсутність відблисків;
- оптимальні параметри мікроклімату (температура, відносна вологість, швидкість руху, рівень іонізація повітря);
- належні ергономічні характеристики основних елементів робочого місця, а також враховувати такі небезпечні і шкідливі фактори: наявність шуму та вібрації; м'яке рентгенівське випромінювання; електромагнітне випромінювання; ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання; електростатичне поле між екраном і оператором; наявність пилу, озону, оксидів азоту й аероіонізації [22].

#### **4.2 Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих факторів**

Вимоги до приміщення. Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ЕОМ та виконуються їх обслуговування, повинні відповідати вимогам:

- СНиП 2.09.02-85, СНиП 2.09.04-87, ПУЭ-86, ДНАОП 0.00-1.21-98,

ДСанПіН 3.3.2.-007-98 “Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин” затверджених МОЗ України 10.12.98, та вимогам нормативно-технічної експлуатаційної документації заводу-виробника ЕОМ, чинних санітарних норм, санітарних норм і правил, правил у сфері охорони праці та цих Правил; площу приміщень, в яких розташовують відеотермінали, визначають згідно з чинними нормативними документами з розрахунку на одне робоче місце, обладнане відеотерміналом: площа – не менше 6,0 м<sup>2</sup>, обсяг – не менше 20,0 м<sup>3</sup>;

- стіни, стеля, підлога приміщень, де розміщені ЕОМ, повинні виготовлятися з матеріалів, дозволених для оздоблення приміщень органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду;

- у приміщеннях з ЕОМ слід щоденно проводити вологе прибирання;

- у приміщеннях з ЕОМ повинні бути медичні аптечки першої допомоги [23].

Вимоги до освітлення. Приміщення з ЕОМ повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до СНиП II-4-79 “Естественное и искусственное освещение”:

- природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %;

- при виробничій потребі дозволяється експлуатувати ЕОМ у приміщеннях без природного освітлення за узгодженням з органами державного нагляду за охороною праці та органами і установами санітарно-епідеміологічної служби;

- вікна приміщень з відеотерміналами повинні мати регульовальні пристрої для відкривання, а також жалюзі, штори, зовнішні козирки тощо;

- штучне освітлення приміщення з робочими місцями, обладнаними відеотерміналами ЕОМ персонального користування, має бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. Допускається вживати систему комбінованого освітлення;

- загальне освітлення має розміщуватися збоку від робочих місць (переважно зліва) паралельно лінії зору працівників;
- для загального освітлення необхідно застосовувати світильники із розсіювачами та дзеркальними екранними сітками або віддзеркалювачами, укомплектовані високочастотними пускорегулювальними апаратами (ВЧ ПРА). Застосування світильників без розсіювачів та екранних сіток забороняється;
- як джерело світла при штучному освітленні повинні застосовуватися, як правило, люмінесцентні лампи типу ЛБ;
- яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від  $50^\circ$  до  $90^\circ$  відносно вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше  $200 \text{ кд/м}^2$ , а захисний кут світильників повинен бути не більшим за  $40^\circ$ ;
- коефіцієнт запасу (Кз) відповідно до СНиП П-4-79 для освітлювальної установки загального освітлення слід приймати рівним 1,4;
- коефіцієнт пульсації повинен не перевищувати 5 % і забезпечуватися застосуванням газорозрядних ламп у світильниках загального і місцевого освітлення;
- рівень освітленості на робочому столі в зоні розташування документів має бути в межах 300-500 лк. Допускається застосування світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрану та збільшення освітленості екрану більше ніж 300 лк;
- світильники місцевого освітлення повинні мати напівпрозорий відбивач світла з захисним кутом не меншим за  $40^\circ$ ;
- необхідно передбачити обмеження прямої блискості від джерела природного та штучного освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що світяться (вікна, джерела штучного світла) і перебувають у полі зору, повинна бути не більшою за  $200 \text{ кд/м}^2$ ;
- необхідно обмежувати відбиту блискість шляхом правильного вибору типів світильників та розміщенням робочих місць відносно джерел

природного та штучного освітлення. При цьому яскравість відблисків на екрані відеотермінала не повинна перевищувати  $40 \text{ кд/м}^2$ , яскравість стелі при застосуванні системи відбивного освітлення не повинна перевищувати  $200 \text{ кд/м}^2$ ;

- необхідно обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору осіб, що працюють з відеотерміналом, при цьому відношення значень яскравості робочих поверхонь не повинно перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколишніх предметів (стіни, обладнання) – 5:1;

- для забезпечення нормованих значень освітлення в приміщеннях з відеотерміналами ЕОМ загального та персонального користування необхідно очищати віконне скло та світильники не рідше ніж 2 рази на рік, та своєчасно проводити заміну ламп, що перегоріли [24].

Вимоги до рівнів шуму та вібрації:

- у приміщеннях з ЕОМ рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003-83 “ССБТ Шум. Общие требования безопасности”, СН 3223-85 “Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях”, затверджених Міністерством охорони здоров’я СРСР, ГР № 2411-81 “Гігієнічні рекомендації по встановленню рівнів шуму на робочих місцях з урахуванням напруженості та тяжкості праці”, затверджених Міністерством охорони здоров’я України. Рівні шуму на робочих місцях осіб, що працюють з відеотерміналами та ЕОМ, визначені ДСанПіН 3.3.2.007-98;

- для забезпечення нормованих рівнів шуму у виробничих приміщеннях та на робочих місцях застосовуються шумопоглинальні засоби, вибір яких обґрунтовується спеціальними інженерно-акустичними розрахунками;

- як засоби шумопоглинання повинні застосовуватися негорючі або важкогорючі спеціальні перфоровані плити, панелі, мінеральна вата з максимальним коефіцієнтом звукопоглинання в межах частот 31,5 – 8000 Гц, або інші матеріали аналогічного призначення, дозволені для оздоблення

приміщень органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду. Крім того, необхідно застосовувати підвісні стелі з аналогічними властивостями;

- рівні вібрації під час виконання робіт з ЕОМ у виробничих приміщеннях не повинні перевищувати допустимих значень, визначених в СН 3044-84 “Санитарные нормы вибрации рабочих мест”, затверджених Міністерством охорони здоров’я СРСР, та ДСанПіН 3.3.2.007-98 [23].

Вимоги до вентиляції, опалення та кондиціювання, мікроклімату:

- приміщення з ЕОМ повинні бути обладнані системами опалення, кондиціювання повітря або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до СНиП 2.04.05-91 “Отопление, вентиляция и кондиционирование”;

- параметри мікроклімату, іонного складу повітря, вміст шкідливих речовин на робочих місцях, оснащених відеотерміналами, повинні відповідати вимогам пункту 2.4 СН 4088-86 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”, затверджених Міністерством охорони здоров’я СРСР, ГОСТ 12.1.005-88 “ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны” (пункт 1.4, таблиця 2.1), СН 2152-80 “Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень”, затверджених Міністерством охорони здоров’я СРСР (таблиця 4.2);

- для підтримки допустимих значень мікроклімату та концентрації позитивних та негативних іонів необхідно передбачити установки або прилади зволоження та/або штучної іонізації, кондиціювання повітря [15].

Вимоги щодо рівня неіонізуючих електромагнітних випромінювань, електростатичних та магнітних полів:

- рівні електромагнітного випромінювання та магнітних полів повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.006-84 “ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля”, СН № 3206-85 “Гранично допустимі рівні магнітних полів частотою 50 Гц” та ДСанПіН 3.3.2.007-98;

Таблиця 4.1 - Нормовані параметри мікроклімату для приміщень з ВДТ та ПЕОМ

Пора року	Категорія робіт згідно з ГОСТ 12.1.005-88	Температура повітря, °С оптимальна	Відносна вологість повітря, % оптимальна	Швидкість руху повітря, м/с оптимальна
Холодна	легка - 1а	22-24	40-60	0,1
	легка - 1б	21-23	40-60	0,1
Тепла	Легка – 1а	23-25	40-60	0,1
	Легка – 1б	22-24	40-60	0,2

Таблиця 4.2 - Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ВДТ та ПЕОМ (відповідно до СН 2152-80)

Р і в н і	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup> повітря	
	$n^+$	$n^-$
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

- рівні інфрачервоного випромінювання не повинні перевищувати граничних відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 та СН № 4088-86 з урахуванням площі тіла, яка опромінюється, та ДСанПіН 3.3.2.007-98;

- рівні ультрафіолетового випромінювання не повинні перевищувати допустимих відповідно до СН № 4557-88 “Санітарні норми ультрафіолетового випромінювання у виробничих приміщеннях”, затверджених Міністерством охорони здоров’я СРСР, та ДСанПіН 3.3.2.007-98;

- гранично допустима напруженість електростатичного поля на робочих місцях не повинна перевищувати рівнів, наведених в ГОСТ 12.1.045 “ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля”, СН № 1757-77 “Санитарно-гигиенические нормы допустимой напряженности электростатического поля” та ДСанПіН 3.3.2.007-98;

- потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрана та корпусу відеотерміналу при будь-яких положеннях регульовальних пристроїв відповідно до Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97), затверджених постановою державного санітарного лікаря Міністерства охорони здоров'я України від 18.08.97 № 58, не повинна перевищувати  $7,74 \cdot 10^{-12}$  А/кГ, що відповідає еквівалентній дозі 0,1 мбер/год (100 мкР/год);

- відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 вміст озону в повітрі робочої зони не повинен перевищувати 0,1 мг/м<sup>3</sup>; вміст оксидів азоту – 5 мг/м<sup>3</sup>; вміст пилу – 4 мг/м<sup>3</sup> [24].

Вимоги електробезпеки:

- ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ, електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПВЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів;

- ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення, штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника;

неприпустими є підключення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв;

- заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”;

є неприпустимими: експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;



застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПВЕ до переносних електропроводок; користування пошкодженими розетками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затепнення або випинання; підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками; використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам підприємств-виготовлювачів [25].

Вимоги до обладнання:

- відеотермінали, ЕОМ, ПЕОМ, спеціальні периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні відповідати вимогам чинних в Україні стандартів, нормативних актів з охорони праці та цих Правил. Відеотермінали, ЕОМ, ПЕОМ, спеціальні периферійні пристрої ЕОМ закордонного виробництва додатково повинні відповідати вимогам національних стандартів держав-виробників і мати відповідну позначку на корпусі, в паспорті або іншій експлуатаційній документації;

- за способом захисту людини від ураження електричним струмом відеотермінали, ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні відповідати 1 класу захисту згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75 “ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности” та ГОСТ 25861-83 “Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования электрической и механической безопасности и методы испытаний” або повинні бути заземлені відповідно до ДНАОП 0.00-1.21-98 [25];

- вимоги до відеотерміналів наведені в таблиці 4.3;

- вимоги щодо допустимих значень неіонізуючого електромагнітного випромінювання:

- напруженість електромагнітного поля на відстані 50 см навкруги ВДТ за електричною складовою не повинна перевищувати: у діапазоні частот

5 кГц – 2 кГц – 25 В/м; у діапазоні частот 2 кГц – 400 кГц – 2,5 В/м;

- щільність магнітного потоку не повинна перевищувати: у діапазоні частот 5 кГц – 2 кГц – 250 нТл; у діапазоні частот 2 кГц – 400 кГц – 25 нТл;

- поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500 В;

- потужність дози рентгенівського випромінювання на відстані 5 см від екрану та інших поверхонь ВДТ не повинна перевищувати 100 мкР/год [26].

Таблиця 4.3 - Вимоги до відеотерміналів

Найменування параметрів	Значення параметра
Яскравість знака (яскравість фону), кд/м <sup>2</sup>	від 35 до 120
Зовнішня освітленість екрана, лк	від 100 до 250
Контраст (для монохромних зображень)	від 3:1 до 1,5:1
Нерівномірність яскравості в робочій зоні екрана	не більше 1,7:1
Відхилення форми робочої зони екрана від прямокутності :	
- по горизонталі та вертикалі	не більше 2%
- по діагоналі	не більше 4% відношення суми коротких сторін до суми довгих
Різниця довжин рядків або стовпчиків	не більше 2% середнього значення
Розмір мінімального елемента зображення (пікселя) для монохромних зображень, мм	0,3
Допустима тимчасова нестабільність зображення (мигання)	не повинна бути зафіксована у 90 відсотків спостерігачів
Відбивна властивість, дзеркальне та змішане відображення (відблиск), % (допускається виконання вимог при застосуванні приєкранного фільтра)	не більше 1
Відношення ширини знака до його висоти для великих літер	від 0,7 до 0,9
Мінливість розміру знака	не більше 5% висоти
Ширина лінії контуру знака	0,15-0,1 висоти знака
	не більше 0,4

Вимоги до організації робочого місця користувача ЕОМ:

- організація робочого місця користувача відеотерміналу та ЕОМ повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам ГОСТ 12.2.032-78 “ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”; характеру та особливостям трудової діяльності; площа, виділена для одного робочого місця з відеотерміналом або персональною ЕОМ, повинна складати не менше 6 м<sup>2</sup>, а обсяг – не менше 20 м<sup>3</sup>.

- робочі місця з відеотерміналами відносно сітлових прорізів повинні розміщуватися так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва;

- при розміщенні робочих місць з відеотерміналами та персональними ЕОМ необхідно дотримуватись таких вимог: робочі місця з відеотерміналами та персональними ЕОМ розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами; відстань між бічними поверхнями відеотерміналів має бути не меншою за 1,2 м;

- організація робочого місця користувача ЕОМ повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам відповідно до ГОСТ 12.2.032-78 “ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”; конструкція робочого місця користувача відеотерміналу (при роботі сидячи) має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками: ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг; стегна – в горизонтальній площині; передпліччя – вертикально; лікті – під кутом 70° - 90° до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20° відносно горизонтальної площини, нахил голови – 15° - 20° відносно вертикальної площини;

- висота робочої поверхні столу для відеотерміналу має бути в межах 680-800 мм, а ширина – забезпечувати можливість виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – 600 – 1400 мм, глибина - 800 – 1000 мм;

- робочий стіл для відеотерміналу повинен мати простір для ніг

висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм;

- робочий стіл для відеотерміналу, як правило, має бути обладнаним підставкою для ніг шириною не менше 300 мм та глибиною не менше 400 мм, з можливістю регулювання по висоті в межах 150 мм та кута нахилу опорної поверхні – в межах 20°. Підставка повинна мати рифлену поверхню та бортик на передньому краї заввишки 10 мм;

- робоче сидіння користувача відеотерміналу та персональної ЕОМ повинно бути підйомно-поворотним, таким, що регулюється за висотою, кутом нахилу сидіння та спинки, за відстанню спинки до переднього краю сидіння, висотою підлокітників;

- регулювання кожного параметра має бути незалежним, плавним або ступінчатим, мати надійну фіксацію. Хід ступінчатого регулювання елементів сидіння має становити для лінійних розмірів 15 - 20 мм, для кутових – 2° - 5° ;

- ширина та глибина сидіння повинні бути не меншими за 400 мм. Висота поверхні сидіння має регулюватися в межах 400 - 500 мм, а кут нахилу поверхні – від 15° вперед до 5° назад;

- висота спинки сидіння має становити  $300 \pm 20$  мм, ширина – не менше 380 мм, радіус кривизни в горизонтальній площині – 400 мм. Кут нахилу спинки повинен регулюватися в межах 0° – 30° відносно вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння повинна регулюватись у межах 260 – 400 мм;

- для зниження статичного напруження м'язів рук необхідно застосовувати стаціонарні або знімні підлокітники довжиною не менше 250 мм, шириною – 50 – 70 мм, що регулюються по висоті над сидінням у межах  $230 \pm 30$  мм та по відстані між підлокітниками в межах 350 – 500 мм;

- екран відеотерміналу та клавіатура мають розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 600 мм, з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків та символів;

- розташування екрану відеотерміналу має забезпечувати зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом  $\pm 30$  від лінії зору працівника;

- клавіатуру слід розміщувати на поверхні столу або на спеціальній, регульовуваній за висотою, робочій поверхні. Кут нахилу клавіатури має бути в межах 5-15 ;

- розміщення принтера або іншого пристрою введення-виведення інформації на робочому місці забезпечувати добру видимість екрану відеотерміналу, зручність ручного керування пристроєм введення-виведення інформації в зоні досяжності моторного поля: по висоті 900-1300 мм, по глибині 400-500 мм [27].

Вимоги безпеки під час експлуатації ЕОМ:

Користувачі ЕОМ повинні слідкувати за тим, що відеотермінали, ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ були справними і випробуваними відповідно до чинних нормативних документів;

- щоденно перед початком роботи необхідно проводити очищення екрану відеотерміналу від пилу та інших забруднень;

- під час виконання роботи відеотермінал та персональна ЕОМ повинні бути відключені від електричної мережі;

- у разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно відключити відеотермінал та ЕОМ від електричної мережі;

- при використанні з ЕОМ та відеотерміналами лазерних принтерів потрібно дотримуватись вимог Санітарних норм та правил устрою та експлуатації лазерів № 5804-91, затверджених Міністерством охорони здоров'я СРСР в 1991 р.;

- при потребі, для захисту від електромагнітних, електростатичних та інших полів можуть застосовуватися спеціальні технічні засоби, що мають відповідний сертифікат або санітарно-гігієнічний висновок акредитованих органів щодо їх захисних властивостей;

- є неприпустимими дії: виконання обслуговування, ремонту та зберігання біля відеотермінала та ЕОМ паперу, дискет, інших носіїв інформації, запасних блоків, деталей тощо, якщо вони не використовуються для поточної роботи; робота з відеотерміналами, в яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані [28].

Відпочинок оператора ЕОМ:

- режим праці та відпочинку тих, хто працює з ЕОМ, визначається залежно від виконувальної роботи до ДСанПіН 3.3.2.007-98;

- якщо проводиться психологічне розвантаження працівників, що виконують роботи з застосуванням ЕОМ, то воно повинно проводитись у спеціально обладнаних приміщеннях (кімната психологічного розвантаження) під час регламентованих перерв до методики проведення психофізіологічного розвантаження, викладеної в додатку 9 до ДСанПіН 3.3.2.-007-98;

- приміщення для відпочинку осіб, які працюють з ЕОМ, призначені для приймання їжі, психологічного розвантаження, та інші побутові приміщення повинні обладнуватись відповідно до вимог СНиП 2.09.04-87 "Административные и бытовые здания", з урахуванням максимальної кількості працівників, що одночасно працюють у зміні [28].

#### **4.3 Забезпечення пожежної та вибухової безпеки**

Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ЕОМ та виконуються їх обслуговування повинні відповідати вимогам:

- СНиП 2.01.02-85 "Противопожарные нормы";  
- ГОСТ 12.1.004-91 "ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования безопасности";

ДНАОП 0.01-1.01-95 правил пожежної безпеки в Україні;

- СНиП 2.08.02-89 "Общественные здания и сооружения" з доповненням, затвердженими наказом Держкоммистобудування України від

29.12.94 № 106;

- для всіх споруд і приміщень, в яких експлуатуються відеотермінали та ЕОМ, повинна бути визначена категорія з вибухопожежної і пожежної безпеки відповідно до ОНТП 24-86 “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности”, затверджених МВС СРСР 27.02.86, та клас зони згідно з ПВЕ. Відповідні позначення повинні бути нанесені на вхідні двері приміщення;

- будівлі і ті їх частини, в яких розташовуються ЕОМ, повинні мати не нижче II ступеня вогнестійкості. Якщо відповідно до СНиП 2.09.02-85 ці приміщення повинні бути відокремленими від приміщень іншого призначення пртипожежними стінами, то межа їх вогнестійкості визначається відповідно до СНиП 2.01.02-85;

- стіни виготовляються з негорючих матеріалів. Дозволяється виготовляти їх зі скла та металевих конструкцій;

- над і під залами електронно-обчислювальної машини (ЕОМ), а також у сміжних з ними приміщеннях не дозволяється розміщення приміщень категорій А та Б по вибуховій безпеці;

- сховища інформацій, приміщення для зберігання дискет і компактдисків треба розміщувати у відокремлених приміщеннях, які обладнанні негорючими стілажами та шафами. Зберігати дискети та компактдиски на стілажах потрібно у металевих касетах;

- простір під знімною підлогою розділяють негорючими діафрагмами на відсіки площею не більше 250 м<sup>2</sup>. Межа вогнестійкості діафрагми повинна бути не меншою за 0,75 год. Комунікації прокладають крізь діафрагми в спеціальних обоймах з застосування негорючих ущільнювачів для запобігання проникненню вогню з одного відсіку в інший, а також з підпільного простору в приміщення;

- підпільний простір під знімною підлогою має бути оснащений системою автоматичної пожежної сигналізації та засобами пожежогасіння відповідно до вимог Переліку однотипних за призначенням об'єктів, які

підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації, СНиП 2.04.09-84, з використанням димових пожежних сповіщувачів;

- для промивки деталей необхідно застосовувати негорючі миючі засоби. Промивка ячіюкта інших з'ємних обладнаньгорючими рідинами допускається тільки в спеціальних приміщеннях, які обладнані приточно-втяжною вентиляцією;

- у випадку необхідності проведення невеликого ремонту і технічного обслуговування ЕОМ безпосередньо в машинному залі та неможливістю застосування негорючих миючих засобів дозволяється мати в залі не більше 0,5 літрів легко запальної рідини в міцній та щільно закритій тарі;

- приміщення, в яких розміщуються персональні ЕОМ та дисплейні зали (де обладнання систем автоматичного пожежогасіння не обов'язково), треба облаштувати переносними вуглекисневими вогнегасниками з розрахуванням 2 шт. на кожні 20 м<sup>2</sup> площі приміщення з урахуванням гранично допустимої концентрації вогнегасної речовини;

- підходи до засобів пожежогасіння повинні бути вільними;

- персональні ЕОМ після завершення роботи на них повинні бути відключені від мережі;

- не рідше одного разу в квартал необхідно виконувати очистку від пилу агрегатів та вузлів, кабельних каналів та міжпідлогового простору;

- не дозволяється: розміщувати машинні зали ЕОМ в підвалах; виконувати роботи по ремонту вузлів (блоків) ЕОМ безпосередньо в машинному залі; зберігати постійно в залах ЕОМ дискети та компактдиски, інші носії інформації, запасні блоки і деталі (зберігатися там можуть тільки носії інформації, необхідні для поточної роботи); залишати без нагляду увімкнену в мережу ЕОМ, яка використовується для випробування і контролю ЕОМ [29].



#### **Висновки до розділу 4**

Таким чином при виконання досліджень по визначенню властивостей товщини масляної плавки та обробці даних на комп'ютерах необхідно строго підтримувати рекомендації при роботі за комп'ютером. В протилежному випадку наступить помітне зменшення працездатності людини від втому під час обробки досліджень.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### 5.1 Аналіз екологічної небезпеки експлуатації та ремонті літака

На сьогоднішній день охорона навколишнього середовища є однією із важливих проблем людства. Загальною метою охорони навколишнього середовища є ефективні заходи направлені на збереження чистоти середовища проживання людини, більш ефективне використання природних ресурсів.

В експлуатаційних та ремонтних підприємствах ЦА найбільш актуальним напрямком діяльності по зменшенню впливу на навколишнє середовище є наступне:

- зниження забрудненості атмосферного повітря шкідливими речовинами від двигунів повітряних суден та наземної техніки;
- виключити подразнюючий вплив авіаційних та інших промислових шумів;
- захист від впливу електричних полів, утилізація відходів діяльності скорочення викидів неочищених стічних вод та шкідливих викидів на території авіапідприємств.

Для запобігання забрудненню ґрунту при технічному обслуговуванні на місцях стоянки повітряних суден передбачаються резервуари для збирання відстою мастила і спеціальних піддонів для виключення протікання мастила при заміні агрегатів шасі .

Шкідливими продуктами згорання авіаційних палив в двигуні повітряного судна та спецавтотранспорту є: окис вуглецю, не згорівший вуглець, окис азоту та сірки, сажа та кіптява.

Суворе виконання правил зберігання, транспортування та використання ПММ може попередити потрапляння в атмосферу та ґрунтові води тяжких вуглецевих фракцій, двоокису азоту, сірководню.

На площадках періодичного технічного обслуговування повітряних суден передбачаються стічні канавки зі стоком у резервуари, куди разом з паливом, хімічними рідинами стікають опади, змиті з поверхні площадки.

Збір відпрацьованого ПММ в спеціальні ємності та наступна їх переробка дозволить раціонально використовувати природні ресурси землі.

## **5.2 Розрахунок контрольного параметру емісії двигуна на відповідність емісійним вимогам ІСАО**

Вміст інгредієнтів  $\text{CO}$  і  $\text{C}_x\text{H}_y$  у відпрацьованих газах авіадвигунів обумовлений неповним згоранням палива в двигуні, яке залежить від характеристики його камери згорання (величини коефіцієнта повноти згорання  $\eta$ ) і режиму роботи двигуна [30].

Максимальна повнота згорання палива в двигуні має місце на розрахунковому режимі – злітному (режимі максимальної тяги двигуна).

На цьому режимі сучасні двигуни мають  $\eta = 0,97 \dots 0,99$ . ( $\eta = 1,0$  при абсолютно повному згоранні, чого в дійсності досягнути неможливо). На всіх інших режимах величина  $\eta$  нижча, тобто повнота згорання менша, ( $\eta = 0,75 \dots 0,85$ ), у двигуна в атмосферу викидається більше продуктів неповного згорання ( $\text{CO}$  і  $\text{C}_x\text{H}_y$  та інших), і забруднення повітря збільшується.

Вміст інгредієнта  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах авіадвигуна залежить від величини температури суміші в камері згорання (чим вона вища, тим більше утворюється  $\text{NO}_x$ ), а вона максимальна (досягає 2500 – 3000 К) на злітному режимі, і часу перебування суміші в камері згорання (чим він більший, тим більше утворюється  $\text{NO}_x$ ), а це має місце на невеликих швидкостях літака. Тобто, максимальний викид  $\text{NO}_x$  має місце на злітному режимі двигуна і висоти польоту.

Очевидно, що в зоні аеропорту емісія двигуна залежить від режиму його роботи і тривалості роботи на цьому режимі.

Під зоною аеропорту будемо розуміти простір, обмежений висотою 100 м. і розмірами аеродрому. Двигуни сучасних авіалайнерів працюють в зоні аеропорту на таких режимах і такій тривалості роботи.

$$\bar{R} = \frac{R}{R_0}, \quad (5.1)$$

де  $R$  – тяга двигуна на заданому режимі;

$R_0$  – тяга двигуна на злітному режимі (максимальна тяга).

В таблиці наведені середньостатистичні значення параметрів ( $\bar{R}$  и  $t$ ) для великих аеропортів світу.

Як видно з таблиці, найбільш тривалим і екологічно небезпечним є режим малого газу. Значення величини тяги на цьому режимі для сучасних авіадвигунів складає 3 %...9 % від її максимального значення  $R_0$ . цей режим використовується під час руління повітряного корабля перед зльотом і після посадки, а також під час прогрівання двигуна після запуску. Тривалість режиму руління залежить від розмірів аеропорту, часу доби вильоту і прильоту, інтенсивності польотів і метеоумов.

Для типового сучасного двигуна залежність емісії шкідливих речовин від режиму його роботи має такий вигляд (рисунок 5.1).

Визначаючи під час сертифікаційних випробувань індекси емісії шкідливих речовин на відповідних режимах роботи двигуна, знаходять контрольний параметр емісії  $\frac{M_i}{R_0}$  випробуваного двигуна, по якому

установлені норми ІСАО:

Цей параметр, кажуть, характеризує, “ступінь шкідливості” двигуна.

В ньому:

$$\left[ \frac{M_i}{R_0} \right] = \frac{g}{\kappa H}, \quad (5.2)$$

де:  $M_i$  – маса в грамах викинутої  $i$ -тої шкідливої речовини (інгредієнта) за деякий визначений час роботи двигуна;

$R_0$  – злітна тяга двигуна в кілоньютонах.

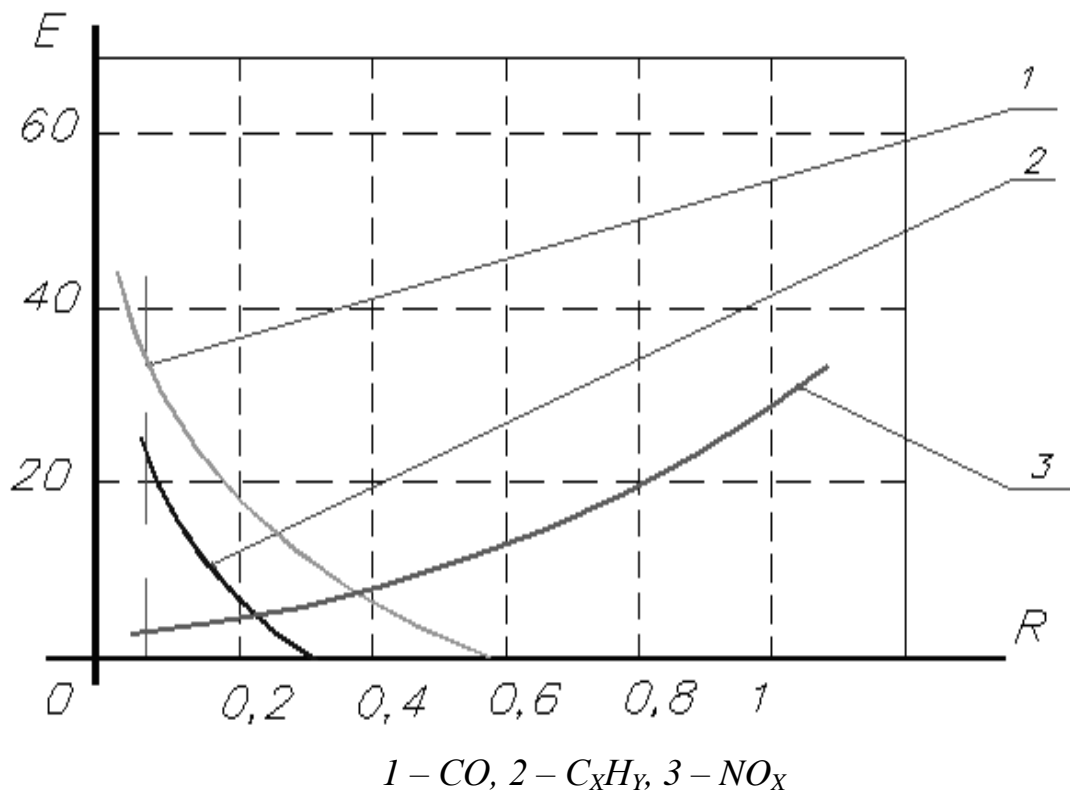


Рисунок 5.1 - Залежність емісії шкідливих речовин від режиму роботи АД

Норми ІСАО по контрольному параметру емісії для двигунів на сьогоднішній день такі:

$$\frac{M_{CO}}{R_0} = 118 \frac{г}{кН};$$

$$\frac{M_{C_xH_y}}{R_0} = 19.6 \frac{г}{кН};$$

$$\frac{M_{NO_x}}{R_0} = (40...80) \frac{г}{кН}$$

Емісія двигунів повітряного корабля буде не однакою в зоні аеропорту і під час польоту по маршруту, так як двигуни в цих випадках працюють на принципово різних режимах. В цьому плані, як видно з графіка наведеного на рисунок 5.1, забруднення в зоні аеропорту є “більш шкідливим” (на маршруті  $\bar{R}=0,6...0,8$ ). Крім того, локальне забруднення

приземного шару повітря в зоні аеропорту, де працює багато людей є більш концентрованим і більш стійким, ніж загальне забруднення верхніх шарів тропосфери на маршруті польоту, яке швидко розсіюється. І за цими обставинами забруднення в зоні аеропорту є “більш шкідливим”. Тому і розрахунок емісії двигунів повітряних кораблів в зоні аеропорту є більш важливим, і ми приділимо йому більш уваги, ніж розрахунку під час польоту по маршруту.

“Ступінь шкідливості ” кожного авіадвигуна характеризується, як було сказано вище, його контрольними параметрами емісії за різними інгредієнтами -  $\frac{M_i}{R_0}$ . Тобто, задача розрахунку емісії двигуна зводиться до визначення маси кожного інгредієнта, викинутого з двигуна за деякий визначений час його роботи, -  $M_i$  (тому що  $R_0$  - тяга двигуна на злітному режимі – величина, відома з документації, зокрема з формуляра двигуна).

Будемо розраховувати величини  $M_i$  для зони аеропорту (з наведених вище міркувань), тобто  $M_i = M_{iA}$  на тих режимах і за той період часу його роботи, поки повітряне судно знаходиться в цій зоні з працюючими двигунами.

А повітряне судно в зоні аеропорту щонайменше здійснює зльотно-посадковий цикл польоту, який складається з таких етапів: запуск та прогрівання двигунів, руління на виконавчий старт, зліт, набір висоти 1000 м, зниження з висоти 1000 м, пробіг, руління до зупинки двигунів.

Проте двигуни корабля на цих етапах працюють на різних режимах. Тому для зручності розрахунку розділимо злітно – посадковий цикл повітряного корабля на два види операцій: наземні операції і операції зліт – посадка, тобто:

$$V_{ian} = V_{iy} + M_{ip-g} \quad (5.3)$$

Наземні операції – це запуск двигунів, їх прогрівання, руління корабля перед злетом і після посадки. Головною характеристикою цих операцій (з точки зору розрахунку емісії двигуна) є те, що двигуни повітряного корабля

працюють на одному режимі – режимі малого газу (холостого ходу) – і за часом – це самі тривалі операції в зоні аеропорту. Ця обставина спрощує розрахунок.

$M_{in} = K_{in} \cdot G_{nn}$ ,  $K_{in}$  – коефіцієнт викиду і-го інгредієнта під час наземних операцій (таблиця 5.2).

$G_{nn}$  – маса пального (кг), витраченого двигуном ПК під час наземних операцій злітно-посадкового циклу.

$$G_{gy} = C_{gbn/vu} \cdot R_{vu} \cdot t_{vu} \quad (5.4)$$

де  $C_{нит.мг}$  – питома витрата пального під час роботи двигуна на режимі МГ, (кг/Н·год);

$R_{мг}$  – тяга двигуна на режимі МГ, (Н);

$t_{мг}$  – напрацювання двигуна на режимі МГ, (годин).

$M_{із-п}$  – сумарний викид і-их шкідливих речовин (ШР) при операціях зліт-посадка, кг. Операції зліт посадка – це зліт, набирання висоти 1000 м, зниження з висоти 1000 м і посадка.

В даному випадку для розрахунку емісії двигунів ПК, який знаходиться в повітрі, емісійною характеристикою є масова швидкість емісії  $W_i$  (кг.інгр./год), яка показує, скільки даної шкідливої речовини виділяється на даному режимі роботи двигуна за одиницю часу.

Маса викидів ШР при злітно-посадкових операціях :

$$M_{із-п} = W_{i1} \cdot T_{1з-п} + W_{i2} \cdot T_{2з-п} + W_{i3} \cdot T_{3з-п}, \quad (5.5)$$

де  $T_{1,2,3 з-п}$  - режимне напрацювання двигуна відповідно на зльоті, під час набирання висоти 1000 м і під час зниження з висоти 1000 м, (год);

$W_{i1,2,3}$  - масова швидкість емісії і-го інгредієнта при відповідних режимах роботи двигуна відповідно на зльоті, під час набирання висоти 1000 м і під час зниження з висоти 1000 м, (кг/год). Дані зведені в таблицю 5.3, 5.4.

Таблиця 5.1 - Технічні характеристики двигуна

№ режиму	Найменування режиму роботи двигуна	Відносна тяга, $\bar{R}$	Тривалість режиму t, хв
1	Запуск, прогрів, руління (режим земного МГ)	0,07	2
2	Зліт	1	0.6
3	Набір висоти 1000 м	0,85	2.2
4	Захід на посадку	0,3	4
5	Руління після посадки	0,07	6

Таблиця 5.2 - Норми ІСАО по контрольному параметру емісії

№ режиму	Найменування режиму Роботи двигуна	Відносна тяга, $\bar{R}$	Тривалість режиму t, хв
1	Режим малого газу під час руління перед зльотом	0,07	15
2	Злітний режим	1	0,7
3	Режим набору висоти (1000 м.)	0,85 – 0,9	2,2
4	Режим заходу на посадку	0,3 – 0,42	4
5	Режим малого газу під час руління після посадки	0,07	7

Таблиця 5.3 - Норми ІСАО по контрольному параметру емісії

Шкідливі речовини	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>
K <sub>ін</sub> , (кг інгр./кг палива) для двигуна Д-30КУ-154	0,035	0,015	0,005



Таблиця 5.4 - Норми ІСАО по контрольному параметру емісії

Масова швидкість емісії, кг інгр./год	Режим роботи двигуна		
	Зльотний	Крейсерський	Номінальний
$W_{CO}$	2,65	2,4	2,4
$W_{CH}$	0,5	0,55	0,5
$W_{NO}$	3,5	2	2,5

Дані для розрахунків контрольних параметрів емісії двигунів літака за інгредієнтами  $CO$ ,  $C_xH_y$ ,  $NO_x$ :

Технічні характеристики двигуна:

$$R_o = 4200 \text{ Н};$$

$$R_{\text{мг}} = 378 \text{ Н};$$

$$C_{\text{пт.мг}} = 0,069 \text{ кг}/(\text{Н} \cdot \text{год});$$

З таблиці маємо:

$$T_{\text{мг}} = 2\text{хв} = 0,367 \text{ год};$$

$$T_{1\text{з-п}} = 0,7\text{хв} = 0,0117 \text{ год};$$

$$T_{2\text{з-п}} = 2,2\text{хв} = 0,0367 \text{ год};$$

$$T_{3\text{з-п}} = 4\text{хв} = 0,067 \text{ год};$$

$$\text{тоді } G_{\text{пн}} = 0,069 \cdot 378 \cdot 0,033 = 0,86 \text{ кг};$$

Визначаємо масу кожного інгредієнту, яка була викинута двигуном при роботі на землі:

$$M_{CO} = 0,035 \cdot 0,86 = 0,03 \text{ кг};$$

$$M_{CH} = 0,015 \cdot 0,86 = 0,013 \text{ кг};$$

$$M_{NO} = 0,005 \cdot 0,86 = 0,0043 \text{ кг};$$

$$M_{\text{СОЗ-П}} = 2,65 \cdot 0,01 + 2,4 \cdot 0,0367 + 2,4 \cdot 0,1 = 0,35 \text{ кг};$$

$$M_{\text{NOЗ-П}} = 3,5 \cdot 0,01 + 2 \cdot 0,0367 + 2,5 \cdot 0,1 = 0,358 \text{ кг};$$

Розраховуємо масу шкідливих викидів в зоні аеропорту:

$$M_{CO} = 0,03 + 0,35 = 0,38 \text{ кг};$$

$$M_{CH} = 0,013 + 0,075 = 0,088 \text{ кг};$$

$$M_{NO} = 0,0043 + 0,358 = 0,362 \text{ кг};$$

Норми ІСАО по контрольному параметру емісії для авіаційних

двигунів на сьогоднішній день такі :

$$M_{CO}/R_o=118 \text{ г/кН}; M_{CH}/R_o=19.6 \text{ г/кН}; M_{NO}/R_o=80 \text{ г/кН};$$

де  $R_o$  – злітна тяга двигуна в кН;

$$M_{CO}/R_o=380/4,2=90,4 < 118 \text{ г/кН};$$

$$M_{CH}/R_o=88/4,2=20,9 > 19.6 \text{ г/кН};$$

$$M_{NO}/R_o=362/4,2=86,2 > 80 \text{ г/кН.};$$

### Висновки до розділу 5

Для зменшення емісії продуктів згоряння палива  $CH$  при конструюванні необхідно збільшити  $\eta_r$ . Цього можна досягти завдяки застосування систем попереднього випаровування палива, збагаченням паливно-повітряної суміші в зоні згоряння та збільшення числа зон згоряння в КЗ, шляхом включення або відключення частини форсунок. Ці конструктивні заходи приводять до зниження  $C_{уд}$ , і до зниження індексу емісії.

Для зниження емісії  $NO$  застосовують наступні конструктивні рішення: вприскування води в зону згоряння; застосування дво- або багатозонних КЗ; застосування в КЗ каталітичного горіння, при якому температура газів в зоні згоряння зменшується. У двозонних КЗ паливо згоряє в два етапи в різних частинах камери, при цьому в першій зоні забезпечується оптимальне згоряння палива на режимі МГ, у другій зоні забезпечується оптимальний процес згоряння та необхідна тяга.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. У сучасному машинобудуванні та авіабудуванні сьогодні повсюдно використовуються захисні покриття, без яких неможливо уявити сучасні технології. Найбільше покриття сьогодні - газотермічні. Ці покриття мають низку переваг перед іншими методами нанесення покриттів.

2. Пропонується підхід до вдосконалення технології ремонту деталей ВАТ електродуговими покриттями, що полягає у збільшенні ресурсу деталей ВАТ керівництвом. конструктивні параметри обладнання відновлення EDN; методи підготовки поновлюваної поверхні до нанесення електродугових покриттів; склад та властивості матеріалу покриття та середовища-носія для його розпилення; методи обробки відновлених поверхонь; активація процесу відновлення поверхонь, включаючи всі етапи процесу їх ремонту (попередня обробка поновлюваних поверхонь, нанесення електродугових покриттів та їх подальша обробка).

3. Обґрунтовано можливість збільшення ресурсу деталей АНТ за рахунок удосконалення технології їх ремонту електродуговими покриттями за рахунок керування моделями газодинамічних та фізико-хімічних процесів. Розв'язано завдання управління параметрами газотермічного потоку: швидкістю та температурою газу та частинок, коефіцієнтом концентрації потоку, гранулометричним складом частинок, властивостями частинок та несучого середовища.

4. На підставі проведених досліджень досліджено можливість та доцільність підвищення зносостійкості та ресурсостійкості деталей ВАТ шляхом експериментального вдосконалення технології ремонту цих деталей та відновлення їх робочих поверхонь ЕРН.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антипенко А.М. Властивості та якість паливо-мастильних матеріалів – Харків: ЧП Червяк, 2006. – 213 с.
2. Баурова Н.И. Повышение эффективности ремонта машин за счет обоснования видов и технологических методов применения полимерных материалов: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Моск. автомоб. – дор. ин-т (гос. техн. ун-т), Москва, 2004, 23 с.
3. Башуров Б.П. Трибологические отказы – фактор, определяющий функциональную надежность транспортных систем / Б.П. Башуров // Сб. докл. Междунар. конгр. «Механика и трибология транспортных систем – 2003», Ростов на Дону, 10–13 сент. 2003, Т.1. Ростов на Дону: Изд-во Рост. гос. ун-та путей сообщ., 2003. – С. 72–74.
4. Бобровицкий В. П. Совершенствование системы ТО и Р оборудования в условиях централизации ремонтной службы предприятия // Вибрация маш.: измер., сниж., защита. – 2011. – № 1. – С. 23-28.
5. Бородай А.В. О всеобщей механической модели трения тел и механизме процессов фрикционного массопереноса / А.В. Бородай // Пробл. синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: Матер. 2 Междун. научн.– практ. конф., Новочеркасск, 6 ноябр., 2003. Ч.1. Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2003. – С. 9–16.
6. Брусило Ю.В. Особливості використання авіаційної наземної техніки під час оперативного технічного обслуговування повітряних суден / Ю.В. Брусило, Т.Ю. Крамаренко // Вісник Національного авіаційного університету. – Київ: НАУ, 2011. – № 1(46). – С. 112-116.
7. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах (Транспортная техника) / Н.А. Буше. – М.: Транспорт, 1997. – 223 с.
8. Вавапов В.В. Автомобильные пластичные смазки. – М.: Транспорт, 1986. – 144 с.
9. Васильева Л.С. Автомобильные автоэксплуатационные

материалы: Учебн. Для ВУЗов. – М.: Транспорт, 1986. – 279 с.

10. Верхотуров А.Д. Повышение износостойкости покрытий за счет формирования специального микрорельефа при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров, Ю.И. Мулин, В.Д. Власенко // ФиХОМ. – 2003, № 2. – С.70–75.

11. Войнов К.Н. Триботехника и надёжность механических систем: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 74 с.

12. Громановский Д.Г. Проблемы кинетики изнашивания / Д.Г. Громановский // Сб. докл. Междунар. конгр. «Мех. и трибология транспортных систем – 2003», Ростов на Дону, 10–13 сент., 2003. Т. 1. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. гос. ун-та путей сообщ., 2003 – С. 252–257.

13. Димаков С.С. Влияние детационного напыления твердосплавных порошков на усталостную прочность титанового сплава ВТ8. /В сб.: Теория и практика газотермического нанесения покрытий, -Рига, “Зинатис”, 1990. с.75-79.

14. Дубинин Е.А. Анализ полноты проведения ТО и Р тракторов Т-150К в реальной эксплуатации // Вестник ХНАДУ: Сб. науч. трудов, Вып. 30. – Харьков, 2005. – С. 152-154.

15. Дубинин Е.А. Совершенствование методов нормирования ремонтпригодности автотракторной техники // Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов, ХНАДУ, Вып. 16. – Харьков, 2005. – С. 103-105.

16. Дуговая и электрошлаковая наплавка валков прокатных станов. Кондратьев И.А., Рябцев И.А., Кусков Ю.М. Сварщик. 2004, № 1. –С. 7-9.

17. Ильинский И.И. Методика определения параметров микротекучести листовых материалов. /Проблемы прочности, 1993, №2. с.105-109.

18. Использование электроискрового легирования для реновации деталей автомобильного транспорта / Коваленко Е. С., Мулин Ю. И., Власенко В. Д. (681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27) // Теория и практика механической и электрофизической обработки материалов:

Материалы Международной научно-технической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 28-10 окт., 2009. Ч. 2. – Комсомольск-на-Амуре, 2009. – С. 47-50.

19. Казаков В.М. Способ обработки новых или восстанавливаемых цилиндрических поверхностей деталей типа поршней двигателей внутреннего сгорания: Пат. 2147272 Россия, МПК7 В 23 Р 6/02. № 97109704/02; Заявл. 10.06.1997; Опубл. 10.04.2000. Бюл. № 10.

20. Карабан Г.Л. Машины для содержания и ремонта автомобильных дорог и аэродромов. – М.: Машиностроение, 1975. – 368 с.

21. Кравченко И. Н. Комплексный анализ методик выбора рациональных способов восстановления деталей машин. (Военно-технический университет при Федеральном агентстве специального строительства РФ, Балашиха). Ремонт, восстанов., модернизация. 2007, №3.- С. 40-44.

22. Марков Д.П. Адгезионно–инициируемые типы катастрофического изнашивания // Трение и износ. – 2002. – Т. 23. – № 5. – С. 483–493.

23. Маслаков В.П. Разработка методов и средств прогнозирования льдообразования на аэродромных покрытиях. Дис. канд. техн. наук. – К.: КИИГА, 1987. – 318 с.

24. Матвеевский Р.М. Влияние температуры на разрушение смазочного слоя при трении в условиях граничной смазки /Р.М. Матвеевский, А.В. Чичинадзе, И.А. Буяновский, А.Г. Гинзбург, С. Г. Яшвили / Теоретические и прикладные задачи трения, износа и смазки машин. – М.: Наука, 1992. – С. 167–172.

25. Материалы 11-я Международная научно-практическая конференция “Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструментов и технологической оснастки от нано- до макроуровня”, Санкт-Петербург, 14-17

апреля 2009: Отчет. Иванова Н. Л. Современная электрометаллургия. 2009, № 3. – С. 46-47.

26. Наплавка заготовок из конструкционной стали быстрорежущей сталью / Паварас А.Э., Амброза П.И., Виллис И.С., Ходочинская С.А., Квядарайте Л.П., Чюплис В.А. // Конструкц., инструм. порош. и композиц. матер.: Матер. науч. – техн. конф. / О-во «Знание» РСФСР. Ленингр. дом науч. – техн. проп. – Л., 1991. – С. 92-93.

27. Окоча А.І., Білоконь Я.Ю. Автотракторні витратні матеріали: Довідник. – К.: Фаза, 2002. – 102 с.

28. Опыт работ по замене твердого гальванического хромирования на напыление износостойких покрытий / Аржакин А.Н., Коньков, Хорошенин А.И. (ОАО «Пермский моторный завод», Пермь, Россия) Сварка. Контроль. Реновация – 2001: Труды 1 Международной научно-технической конференции. Уфа, 30 окт. – 2 нояб. 2001 Уфа: Гилем. 2001. – С. 143-153.

29. Павлов В.Н., Палков А.Т., Цымбалюк А.А. Детали машин: Методические указания и задания на курсовой проект. –К.: КИИГА, 1994. – 52с.

30. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення / В.Я. Чабанний, В. А., Павлюк-Мороз В.А., С.О. Магопечь та ін. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2005. – 449 с.

31. Плитман И.Б. Справочное пособие для работников автозаправочных и автомобильных газонаполненных станций. – М.: Недра, 1990. – 155 с.

32. Полянский А.С., Дубинин Е.А. Комплексная оценка ремонтпригодности тракторов // Тракторная энергетика в растениеводстве: Сб. науч. трудов, ХГТУСХ, Вып. 5. – Харьков, 2002. – С. 95-102.

33. Полянский А.С. Анализ и классификация показателей ремонтпригодности средств транспорта // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Тракторна енергетика в рослинництві: Зб. наук. праць, Вип. 60. – Харків, 2007. – С. 165-169.

34. Полянский А.С. Повышение ремонтпригодности автотракторной техники // Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов, ХНАДУ, Вып. 18. – Харьков, 2006. – С. 27-30.

35. Пономарев А.И. Разработка технологии восстановления поверхностей качения электроконтактной наваркой проволокой: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Моск. гос. техн. ун-т, Москва, 2004, – 16 с.

36. Примеры обработки и восстановления поврежденных деталей. Puranto enjinia-Plant Eng. 2007. 39, №9. – С. 9-14.

37. Разработка технологии повышения антифрикционных свойств деталей из титановых сплавов и сталей методом поверхностного легирования: Отчет / КИСМ; Руководитель темы П.И. Мельник. – Тема № 462.-Кировоград, 1980.

38. Решедько В.В. Повышение эксплуатационных свойств деталей машин термопластической обработкой при восстановлении: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Сиб. гос. ун-т путей сообщ., Новосибирск, 2001, 22 с.

39. Салий В.И. Повышение эффективности газоструйных тепловых машин путем использования двухфазной струи для удаления гололеда с искусственных покрытий аэродромов. Дис. канд. техн. наук. – К.: КИИГА, 1989. – 195 с.

40. Синергические аспекты физико-химических методов обработки / А.И. Гордиенко, М.Л. Хейфец, Л.М. Кожуро, Е.Д. Эйдельман, И.А. Сенчило. – Мн.: ФТИ; Полоцк: ПГУ, 2000. – 172 с.

41. Современные достижения в области нанесения защитных и упрочняющих покрытий / Борисов Ю.С. // Порош. металлургия (Киев). – 1993. – № 7. – С. 5-14.

42. Спосіб нанесення дискретних зносостійких покриттів. Патент 33410, Україна. Бюл. 2001, № 1.



43. Спосіб формування зносостійкої поверхні металевих виробів. Патент на винахід 79336 Україна, МПК Е 21 Д 21/00, В 23 Н 9/00/ В.Г. Гончаров, О.П. Клімова (Україна), –200505863; Заявлено 14.06.05, Опубл.17.10.05. Бюл. № 10 – 17 с.

44. Способ электроэрозионного упрочнения. А.С. 1262827 СССР, С 23 С 9/00.

45. Стратулат М. П. Получение прочносцепленных толстослойных хромовых покрытий для восстановления деталей машин. (Орловский государственный технический университет). Ремонт, восстановл. модернизация. 2006, № 5. – С. 16-19.

46. Тарасов Ю.С. Электроконтактное напекание как способ восстановления деталей. – В кн.: Повышение надежности деталей машин, восстановленных механизированными способами наплавки. Уфа, 1973, – С. 132 – 133.

47. Топливо, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / К.М. Базыштова, Я.А. Берштад, Ш.К. Богданов и др.; Под ред. В.М. Школьников. – М.: Химия, 1989. – 432 с.

48. Федченко В.Ю. Восстановление шпиндельных узлов ремонтно-технологического оборудования полимерными материалами (на примере токарно-винторезного станка 1А616): Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Мордов. гос. ун-т, Саранск, 2002, 17 с.

49. Хромов В.Н. Упрочнение и восстановление полых цилиндрических деталей термоупругопластическим деформированием при производстве и ремонте машин. Производство и ремонт машин: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 28 февр.-6 марта, 2005. Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС». 2005. – С. 78-88.

50. Цыгулев О.В. Методы повышения долговечности элементов конструкций многофункциональными упрочняющими покрытиями: автореф.

дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук / О.В. Цыгулев. – Киев, ИПП АН УССР, 1989 – 32 с.

51. Электрошлаковая наплавка ленточным электродом. *Riscattura an eleffroscoria? Parliamone / Gregorio Giuseppe // Mess. oggi. – 1991.- 3, № 24. – С. 74-76.*

52. Эффективное восстановление корпусов насосов коксохимического и горнорудного производства современными полимерными материалами: Докл. [9 Metallургический саммит, Москва, 7-8 июня, 2011] / Ищенко А.А., Гришко В.П. (49070, Украина, г. Днепропетровск, ул. Гоголя, 15-а) // *Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2011. – №3 – С. 83-85.*