

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ
СУДЕН

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

канд. техн. наук, доц.

_____ О.В. Попов

«__» _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН І
АВІАДВИГУНІВ»

Тема: «Дослідження характеристик газотермічних покриттів для відновлення
деталей газотурбінних двигунів»

Виконав: _____ В.Г. Бувайлик

Керівник: канд. техн. наук, доц. _____ А.М. Хімко

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

охорона праці: ст.викладач _____ О.О. Козлітін

охорона навколишнього середовища:
канд. біол. наук, доц. _____ А.О. Падун

Нормоконтролер _____

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет
Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден
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.

_____ О.В. Попов
«___» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи БУВАЙЛИКА В'ЯЧЕСЛАВА ГРИГОРОВИЧА

1. Тема роботи: «Дослідження характеристик газотермічних покриттів для відновлення деталей газотурбінних двигунів» затверджено наказом ректора від 29 вересня 2022 року № 1785/ст.

2. Термін виконання роботи: з 26 вересня 2022 року по 30 листопада 2022 року.

3. Вихідні дані до роботи: аналіз ефективності використання газотермічних покриттів на зносостійкість.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: аналіз дефектів деталей авіаційної техніки в результаті зносу; ефективність застосування методів газотермічного напилення покриттів для захисту деталей авіаційної техніки від зносу; методики проведення досліджень на зносостійкість; Аналіз використання зносостійких покриттів для відновлення деталей авіаційної техніки від зносу; аналіз охорони праці та навколишнього середовища при роботі з пластичними змазками.

5. Перелік графічного матеріалу: аналіз пошкодження деталей авіаційної техніки в результаті зносу; аналіз методів газотермічного напилення; методика проведення досліджень на зносостійкість газотермічних покриттів; аналіз результатів досліджень покриттів на зносостійкість.

Графічний (ілюстративний) матеріал виконано з використанням Microsoft Office Excel, Power Point та представлено у вигляді презентацій.

6. Календарний план-графік

Завдання	Строк виконання	Відмітка про виконання
Видача завдання на кваліфікаційне досліджування	26.09.2022-30.09.2022	
Пошук матеріалу до кваліфікаційної роботи	01.10.2022 – 15.10.2022	
Аналіз технологічного процесу і обладнання виконання роботи	16.10.2022 – 20.10.2022	
Забезпечення охорони праці при виконання дослідження	21.10.2022 – 27.10.2022	
Дослідження зносостійкості газотермічних покриттів на зносостійкість	28.10.2022 – 10.11.2022	
Обробка результатів дослідження	11.11.2022 – 14.11.2022	
Оформлення кваліфікаційної магістерської роботи:	15.11.2022 – 18.11.2022	
Охорона праці та навколишнього середовища	19.11.2022 – 22.11.2022	
Основні висновки та рекомендації	22.11.2022 – 24.11.2022	

7. Консультанти з окремих розділів роботи

Розділ	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Ст. викладач Козлітін О. О.		
Охорона навколишнього середовища	Канд. біол. наук, доц. Падун А.О.		

8. Дата видачі завдання: « ___ » _____ 2022 року.

Керівник кваліфікаційної роботи _____

Завдання прийняв до виконання _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: «Дослідження характеристик газотермічних покриттів для відновлення деталей газотурбінних двигунів»:

107 ст., 16 рис., 9 табл., 32 джерел

Метою роботи є аналіз газотермічних методів відновлення деталей авіаційної техніки та вибір покриття для відновлення деталей авіаційної техніки.

Об'єктом дослідження є процеси зносостійкості та аналіз мікротвердості газотермічних покриттів.

Предметом дослідження є газотермічні покриття, які використовуються для відновлення та захисту деталей авіаційної техніки від зношування.

Методи досліджень.

Для вирішення поставлених задач використовувались дослідження мікротвердості та зносостійкості покриттів. Застосовувалась методика яка дозволяє визначити характеристики покриттів при терті ковзання.

Практичне значення результатів дипломної роботи визначається в використанні характеристик пластичних змазок у лабораторних роботах студентами, та у співвідношенні результатів експерименту до існуючих

ПОКРИТТЯ, ГАЗОТЕРМІЧНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ГАЗОТУРБІННИЙ ДВИГУН, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ВІДНОВЛЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА	
ІНДЕКСІВ	8
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДЕФЕКТІВ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ	
1.1 Вибір об'єкта та предмета дослідження. Закономірності зміни стану технічних об'єктів при зношуванні	12
1.2 Аналіз експлуатаційних дефектів трибосистеми авіаційної техніки	20
1.3 Обґрунтування вибору об'єкта та предмета проектування	25
Висновки до розділу 1	28
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ	
2.1 Сучасні технології відновлення деталей авіаційної техніки	29
2.2 Характеристика процесів газотермічного напилення	32
2.3 Аналіз виникнення дефектів та методи їх усунення на прикладі двигуна Д-36	33
2.4 Оцінка ремонтпридатності деталі для розробки технології відновлення	41
2.5 Проектування технологічних процесів відновлення деталей	44
2.6 Технологічні процеси газотермічного напилення покриттів	50
2.7 Методи газотермічного напилення покриттів	59
2.8 Обробка покриттів після нанесення	66
2.9 Рекомендації по зниженню коефіцієнта тертя газотермічних покриттів	70
Висновки до розділу 2	74

РОЗДІЛ 3. СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ПОКРИТЬ

3.1 Перспективне сучасне устаткування для нанесення зносостійких та антикорозійних покритть	75
3.2 Використання зносостійких та корозійностійких покритть	79
3.3 Особливості процесів напилення алюмінієвих та цинкових покритть	83
Висновки до розділу 3	88

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів на ділянці відновлення деталей	89
4.2 Організаційні технічні заходи по виключенню або зменшенню рівня небезпечних і шкідливих факторів на ділянці відновлення деталей	89
4.3 Розрахунок механічної вентиляції на ділянці відновлення деталей	91
4.4 Забезпечення пожежної та вибухової безпеки на ділянці відновлення деталей	93
4.5 Основні правила техніки безпеки при газотермічному напиленні	95
Висновки до частини 4	97

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Аналіз екологічної небезпеки ділянки відновлення лопаток газотурбінних двигунів газотермічним напиленням	98
5.2 Розробка заходів, що підвищують екологічну безпеку ділянки відновлення деталей	98

5.3 Визначення величини платежів за викид в атмосферу забруднюючих речовин стаціонарним джерелом забруднення	99
Висновки до розділу 5	102
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ З РОБОТИ	103
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	104

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

АВП	- антивібраційні полки
АД	- авіаційний двигун
АТ	- авіаційна техніка
ГТД	- газотурбінний двигун
ДСанПіН	- Державно-санітарні правила і норми
ЕОМ	- електронно-обчислювальна машина
ЕПВ	- електронний потенціометр
ККД	- коефіцієнт корисної дії
КПО	- коефіцієнт природньої освітленості
МВС	- Міністерство внутрішніх справ
МОЗ	- Міністерство охорони здоров'я
НРБУ	- норми радіаційної безпеки України
НТП	- науково-технічний прогрес
ООН	- організація об'єднаних націй
ПАР	- поверхнево-активні речовини
ПДК	- предельно-допустима концентрація
ПС	- повітряне судно
САІ	- авіаційна акумуляторна батарея
СН	- санітарні норми
СНіП	- санітарні норми і правила
ТО	- технічне обслуговування
ЦА	- цивільна авіація

P	– тиск
$V_{\text{ков.}}$	– швидкість ковзання
V_{Σ}	– сумарна швидкість кочення
λ	– характеристика режиму змащування
$P_{\text{пог.}}$	– погонне навантаження
E'	– приведений модуль пружності
ρ	– приведений радіус кривизни
M	– момент тертя
E_k	– кинетична енергія
ω_0	– кутова швидкість обертаючих деталей
Δt	– величина часу
F	– площа контакту зразків, які труться
t_p	– температура початку руйнування
Δ	– товщина змащувального шару
λ_0	– довжина молекул рідини
σ_H	– контактна напруга робочих роликів

ВСТУП

Вся діяльність цивільної авіації спрямована на задоволення потреб у пасажирських та вантажних перевезеннях, у виконанні народно – господарських робіт.

У теперішній час цивільна авіація оснащена сучасною вітчизняною та зарубіжною авіаційною технікою, проводиться реконструкція ремонтних заводів, авіаремонтні підприємства переходять на нові форми господарювання, що дають змогу доцільно використовувати свій багатий досвід і накопичений потенціал.

Основними задачами науки та виробництва щодо використання ремонту авіаційної техніки є:

- Забезпечення повної безпеки відремонтованої авіаційної техніки;
- Скорочення тривалості ремонту;
- Скорочення витрат на запасні частини;
- Підвищення продуктивності праці;
- Скорочення матеріальних витрат на ремонт.

Для вирішення даних задач розроблені цільові програми, які стали основою діяльності авіаремонтних заводів та науково – дослідницьких організацій цивільної авіації.

В практиці ремонтних заводів цивільної авіації, крім традиційних методів відновлення деталей авіаційної техніки (зварювання, електролітичне і хімічне покриття), значне поширення та застосування здобули методи наплавлення, детонаційного напилювання покриттів деталей виготовлених із титанових сплавів.

Через економічні реалії, що склалися, на ремонтні підприємства випадає додаткове навантаження в повному циклі ремонту авіаційної техніки, а у використанні методів, газотермічного напилювання велике майбутнє як у найперспективніших методах відновлення спрацьованих деталей.

У даній дипломній роботі пропонується обладнання та засоби для відновлення пошкоджених поверхонь деталей виготовлених із титанових сплавів методом газотермічного напилення напилювання покриттів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ДЕФЕКТІВ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Вибір об'єкта та предмета дослідження. Закономірності зміни стану технічних об'єктів при зношуванні

Під час експлуатації деталі вузлів тертя змінюються. Їх розміри, геометрична форма, макро-та мікроструктура, властивості і напружений стан поверхневих шарів. Ці зміни можуть відбуватись повільно або швидкоплинно. Характер змін залежить від зовнішніх факторів, що діють на деталь і трибосистему в цілому. В залежності від характеру та ступеню впливу зовнішніх чинників зазначені зміни приводять до стабілізації процесів тертя та зношування, або спричиняють виникнення неприпустимих явищ пошкоджуваності.

У загальному випадку тертя є результатом поєднання різних видів взаємодії механічних, хімічних, фізичних, електричних та інших процесів, які виникають при контактуванні та відносному переміщенні тіл. Співвідношення інтенсивності цих процесів визначається властивостями матеріалу пари тертя та характеру впливу зовнішніх факторів.

Основні види тертя в машинах та механізмах можна класифікувати за наступними ознаками [1]. За кінематикою руху розрізняють тертя ковзання, кочення та обертання; за участю змащування – рідинне тертя, граничне тертя, тертя без змащування, еластогідродинамічне тертя; за динамічними умовами контакту – тертя спокою, або статичне тертя та тертя руху; за умовами контактування з контртілом – тертя в вузлах та спряженнях машин і тертя при контакті виконавчих органів машин з робочим середовищем; за галуззю службового застосування – тертя антифрикційних спряжень та тертя фрикційних пар; за службовими характеристиками надійності та довговічності – нормальні і патологічні процеси тертя.

При всьому різноманітті умов роботи пари тертя (матеріалів, впливу зовнішніх факторів і т. п.) у переважній більшості деталей у поверхневих

шарах в процесі тертя істотно змінюються фізико – хімічні властивості, відмінні від початкових властивостей серцевини. Це зумовлено активізацією субструктурних ефектів та процесів фазових перетворень, розвитком дефектів кристалічної структури (точкових, лінійних, поверхневих), зміною орієнтації зерен і макродефектів, формуванням об'ємних недосконалостей (скупчення вакансій, порожнин розриву матеріалу). При цьому змінюється фазова будова, відбуваються поліморфні перетворення, утворення та розчинення часток хімічних з'єднань, дифузія елементів з одного тіла в інше і т.п., на поверхнях тертя виникають адсорбційні плівки та хімічні з'єднання як результат взаємодії матеріалу з оточуючим середовищем (оксиди, фториди, сульфід, хлориди).

Сукупність вказаних ефектів трансформації структури і властивостей в активному шарі матеріалів в парі тертя їх певна суперпозиція зумовлюють кінетику поверхневої пошкоджуваності і певний вид механізму поверхневого зношування. Зв'язок між структурним розривленням, пошкоджуваністю та механізмом зношування представлений на рисунці 1.1

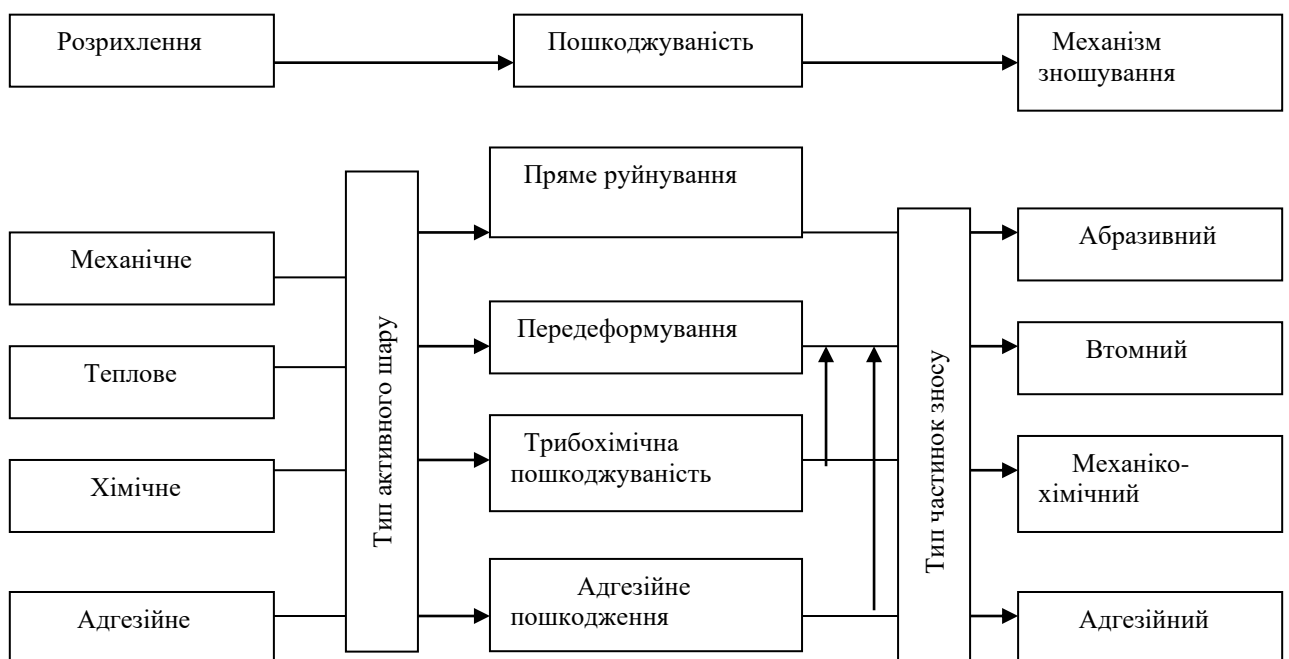


Рисунок 1.1 - Зв'язок між структурним розривленням, пошкоджуваністю та механізмом зношування.

Трибологічні системи (трибосистеми) як складові частини складних технічних систем можуть перебувати як у справному, так і несправному стані, бути працездатними і непрацездатними, а також переходити у граничний стан. Взаємозв'язок технічних станів елементів трибо систем (деталей трибо спряжень) та подій, що зумовлюють перехід їх з одного стану в інший, можна зобразити схемою, показаною на рисунці 1.2 [2].

Втрата працездатності елементів трибо систем та перехід їх зі справного стану в несправний та граничний стан під час експлуатації зумовлені небажаними змінами деяких установлених параметрів та властивостей робочих поверхонь унаслідок розвитку процесу зношування. Критерій граничного стану може бути технічним і економічним.

Економічним критерієм граничного стану може бути збільшення питомих витрат на підтримування працездатності об'єкта (деталі, вузла, агрегату) шляхом впливів, що здійснюються під час технічного обслуговування (ТО), або зниження загальної економічної ефективності експлуатації машини.

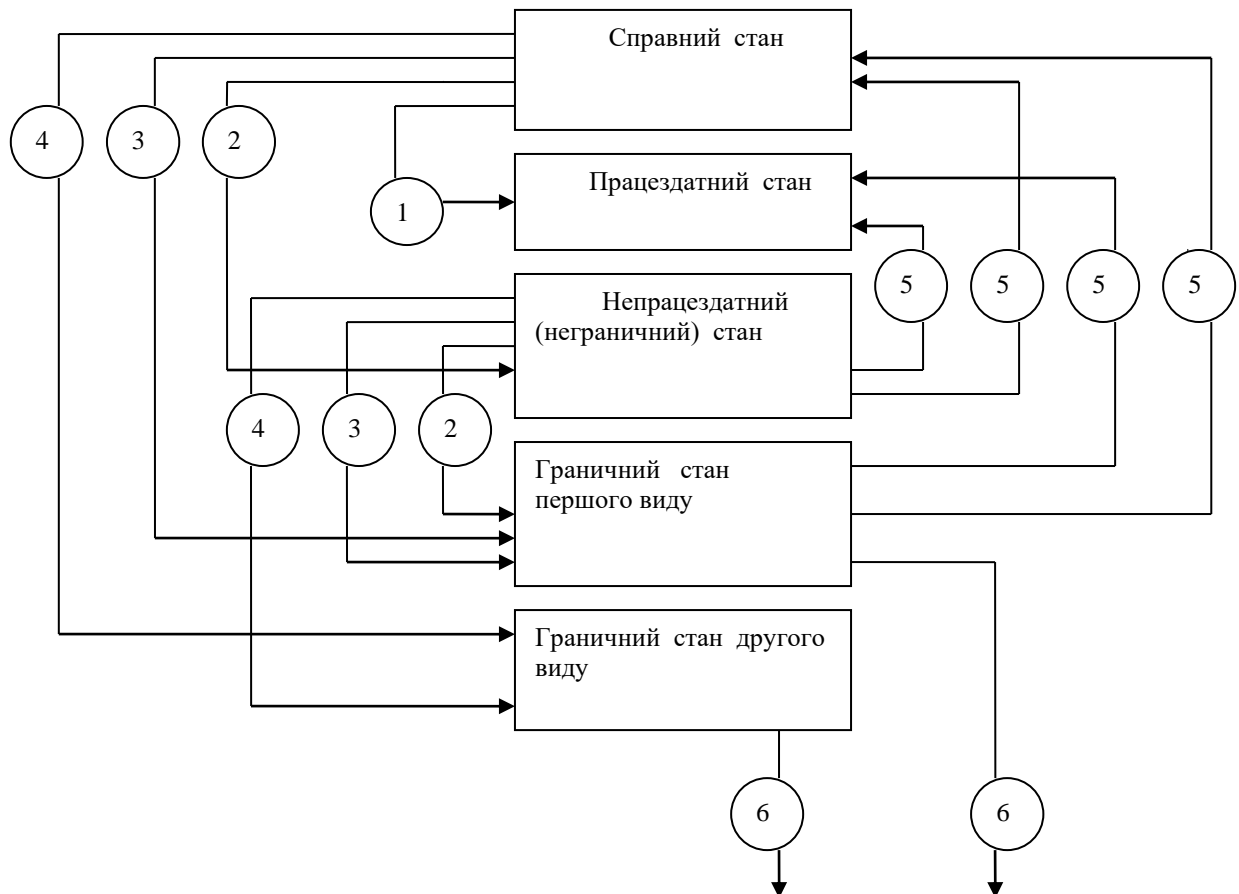
Для спряжень технічним критерієм граничного стану є граничний зазор або гранична величина натягу, які утворюються деталями з граничним зносом.

У багатьох дослідженнях встановлено, що інтенсивність зростання зносу деталей і зміна зазорів у рухомих і номінально-нерухомих трибо спряженнях залежно від тривалості їх роботи відбуваються з певною закономірністю. У загальному випадку динаміку зростання зносу деталей і збільшення зазору у трибо спряженні можна подати закономірністю, яку показано на рисунку 1.3.

Залежності, що відображають зростання зносу деталей, і збільшення зазору у трибо спряженні зі збільшенням тривалості напрацювання мають три характерні ділянки.

Перша ділянка (період T1) характеризує зношення деталей у початковий період, коли відбувається припрацювання тертьових поверхонь. Процеси

фрекційно- контактної взаємодії на початковій стадії періоду припрацювання характеризуються високою ефективністю зношування деталей і відповідно високою швидкістю зростання зазору (або втрати натягу) у трибоспряженні .



1 – пошкодження; 2 – відмова; 3 – перехід у граничний стан першого виду;
 4 – перехід у граничний стан другого виду; 5 – відновлення працездатного стану;
 6 – списання та утилізація деталі

Рисунок 1.2 - Взаємозв'язок технічних станів елементів (деталей) трибо систем та подій, що зумовлюють перехід їх з одного стану в інший (події)

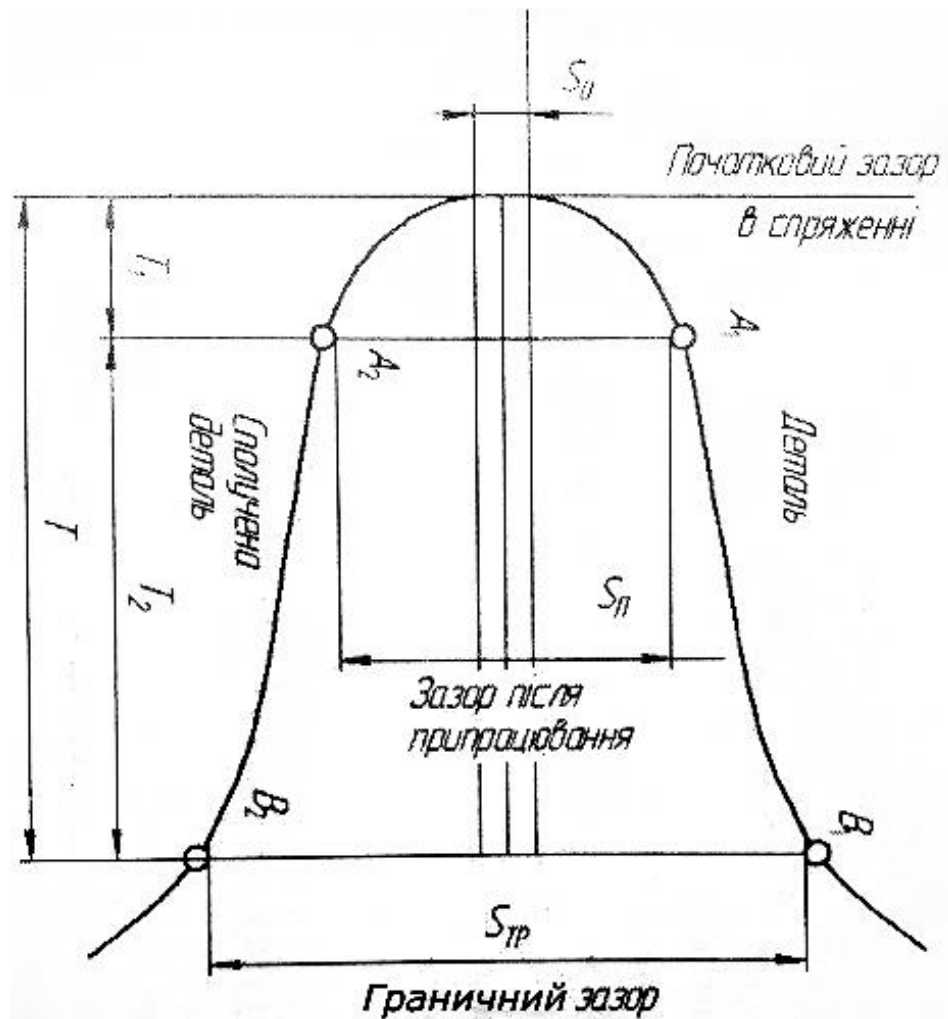


Рисунок 1.3 - Динаміка зростання зносу деталей і зміни зазору у трибо спряженні

У цей період у результаті інтенсивної пластичної деформації і фізико – хімічної взаємодії металу з активними компонентами навколишнього середовища поступово трансформуються поверхні контакту , знижується інтенсивність зношування. Основним наслідком такої трансформації, що визначає перехід роботи пари тертя в режим усталеного зношування (період T_2) , є формування оптимальної для заданих умов тертя фактичної площини контакту і утворення захисних поверхневих плівок вторинних структур за механізмами явища структурного пристосування.

Друга ділянка (ділянка, що лежить за точками B_1 B_2 кривих зносу) характеризуються різким підвищенням інтенсивності зношування деталей і збільшенням зазору (зменшенням натягу) у трибо спряженні. Зазор (натяг) і знос деталей, що відповідають точкам B_1 B_2 називають граничними.

Досягнення граничної величини зазору (натягу) супроводжується порушенням умов нормальної роботи трибоузлів і часто закінчується відмовою та аварійним руйнуванням деталей .

Допустимий знос – це такий знос деталей, за якого трибо спряження може нормально функціонувати протягом терміну , не меншого ніж термін наступного міжремонтного строку служби виробу . Деталі з допустимим зносом признаються придатними до подальшої експлуатації і під час ремонту переустановлюються. Деталі із граничним зносом підлягають вибракуванню і заміни на деталі першої категорії, або відновлюють .

З огляду на можливість відновлення розрізняють граничний стан (граничний знос) деталі першого і другого виду . Із досягненням граничного стану першого вигляду деталь може бути відновлена . У разі досягнення граничного стану другого виду відновлення деталі неможливо. Наприклад, відновлення деталі технічно неможливе в результаті не примусової втрати міцності, у випадку нагромадження не зворотних явищ циклічної , або термічної втомленості , старіння , міжкристалічної корозії , втрати міцності зі зменшенням робочого перерізу через надмірний знос тощо.

Деталям, що відновлюються механічним обробленням на новий ремонтний розмір, призначається ремонтний допуск . Ремонтним допуском називають максимальну товщину поверхнього шару робочої частини деталі, яку дозволяється видаляти під час ремонту виробу , у який входить деталь .

Обмеження цієї товщини пов'язано з гранично доступним розміром робочої деталі, за якого забезпечується збереження її запроектованої міцності.

Граничні зазори (зноси) призначаються конструкторам на основі теоретичних розрахунків, а також досвіду експлуатації попередніх конструктивних аналогів . Існують аналітичні методи розрахунку граничного зазору, міжремонтного і загально технічного ресурсів спряжень, що працюють в умовах рідного і напіврідинного тертя, а також граничного натягу для нерухомих з'єднань. Аналіз цих методів, що теоретично можливо визначити граничний зазор або натяг, необхідний для нормального функціонування

трибо спряжень. Але швидкість (інтенсивність) зношування, необхідна для оцінювання як міжремонтного, так і загального ресурсу відповідно до установленого граничного зносу чи гранично допустимого розміру деталі, залежить від умов роботи трибо спряження і не може бути визначено суто теоретичним шляхом [3].

Граничний зазор, або граничний знос і гранично допустимий розмір елементів (деталей) трибо спряжень є основним, але не вичерпними критеріями і граничного стану. У ряді випадків перехід у граничний стан може визначатись наявністю інших дефектів, обумовлених технічними умовами на вибракування (утомні тріщини, місцеве викришування, подряпини і т.п.). Призначаючи граничні зноси і зазори, необхідно враховувати, що погіршення технічного стану одного вузла чи агрегату унаслідок зносу може призвести до підвищення інтенсивності зношування інших, послідовно зв'язаних з ним вузлів і агрегатів. Так, наприклад, через знос зубців редуктора гелікоптера збільшується навантаження навал хвостового гвинта, хрестовини шарнірів, хвостовий редуктор і навпаки коефіцієнт тертя матеріалів контактної пари та об'єм продуктів зношування, що утворюються цими матеріалами унаслідок фретинг-корозії.

Велике значення коефіцієнту тертя в трибо спряженні, де розвивається фретинг – корозія, може відігравати як негативно так і позитивно роль. Підвищенням коефіцієнта тертя і відповідно сили тертя можна знизити амплітуду відносного переміщення, а одже інтенсивність зношування деталей трибо спряження. Одночасно велике значення коефіцієнта тертя для деталей, що піддаються фретинг-корозії і об'ємному циклічному навантаженню, може спричиняти зниження їх втомної міцності і пришвидшення утомного руйнування.

Об'єм продуктів зношування є основним критерієм працездатності для трибо спряжень, коли продукти зношування не мають вільного виходу із зони контакту і їх нагромадження може призвести до збільшення тиску між

контактними поверхнями деталей. Наслідком збільшення тиску може стати заклинювання деталей трибо спряжень та їх утомне руйнування.

Продуктами зношування унаслідок фретинг-корозії, як правило, є оксиди основного металу та металів, що входять до складу сплавів конструктивних елементів (деталей) трибо спряження. Об'єм продуктів зношування у такому випадку буде визначатись інтенсивністю зношування матеріалів контактної пари, хімічним складом їх компонентів і співвідношенням об'єму зношеного матеріалу до питомого об'єму оксидів, що утворились у процесі окиснення, яке з певним наближенням можна визначити за критерієм Піллінга – Бедфорда [4].

Класичним прикладом трибо спряжень ,для яких визначальним критерієм працездатності є схильність до схоплення матеріалів спряжених деталей в умовах вібропереміщення, можуть бути презеційні пари тертя агрегатів паливних і гідравлічних систем. Умовою нормальної роботи таких пар є низьке значення і висока стабільність сили тертя у трибо спряженні, а втрата їх працездатності у більшості випадків спричинена підвищенням тертя і виникненням заклинення деталей внаслідок утворення осередків схоплення. За таких умов поряд з високою зносостійкістю і низьким коефіцієнтом тертя під час вибору матеріалів пар тертя необхідно враховувати також схильність їх до схоплення.

Характер руйнування поверхонь (ямковий, борозенчастий, макроямковий) визначає ступінь зниження втомної міцності деталей під дією фретинг – корозії. Із характером руйнування також пов'язана товщина структурно – зміненого дефектного шару робочої поверхні деталі, який необхідно видалити під час відновлення деталі на ремонтний розмір , або підготовки до відновлення на початковий розмір одним із методів нарощування зношених поверхонь за допомогою додаткового матеріалу.

1.2 Аналіз експлуатаційних дефектів трибосистеми авіаційної техніки

Різноманітність умов експлуатації деталей різних вузлів , систем та агрегатів повітряних суден (ПС) і авіаційних двигунів (АД) призводять до різних процесів , які відбуваються на їх родових поверхнях, так і в об'ємі деталей і створюють різні за характером пошкодження та дефекти .

Досвід експлуатації з ремонту авіаційної техніки (АТ) свідчить, що в загальній кількості дефектів деталей ПС і АД які обумовлюють виникнення несправностей і відмов та спричиняючи необхідність заміни чи відновлення деталей при ремонті значне місце посідають дефекти , виникаючи процесами тертя та зношування [5].

Узагальнені результати з виникнення відсоткового розрахунку деталей за видом експлуатаційних дефектів отриманні за даними дефекації під час ремонту середньо магістральних літаків в сімействі Ан будуть наведені. У групі літаків відсоток деталей, виникнення дефектів в яких зумовлено зношуванням становить близько 25 % і у залежності й кількості дефектних деталей займає третє місце після дефектів типу «Тріщина, руйнування» (38,2 %) та «корозія» (26 %). Сумарна доля інших дефектів, які виявляються на деталях літаків складає 11,14 % .

У загальній кількості дефектних деталей газотурбінних двигунів (ГТД) деталі з дефектами від зношування складають приблизно 1/3. Значний відсоток мають також такі дефекти, як «забоїни, спори» (21,6 %), «тріщини,руйнування» (21,3 %). Сумарна доля інших дефектів таких як «оплавлення» «прогар», «деформація», «корозія» тощо. Не перевищує 30,1 %.

Аналіз номенклатури деталей вузлів тертя , літаків старого покоління на поверхнях яких в процесі експлуатації виникають недопустимі з огляду подальшого їх використання , пошкодження і знос і які потребують заміни або відновлення при ремонті за останні роки практично не змінюються.

Відсутність динаміки нарощування номенклатури дефектних деталей вузлів тертя в даному випадку поєднується значною тривалістю експлуатації зазначених таких літаків , протягом якої всі можливі дефекти мали змогу проявитись і бути зафіксовані при дефекації. Слід сказати , що подальше розширення номенклатури відновлюваних деталей вузлів тертя для літаків старшого покоління майже вичерпано, головним чином із за обмеження по ремонтній технологічності деталей і недопустимості об'ємної міцності , яка може бути порушена при відновленні крім цього такі літаки відносяться до старіючого парку літаків , яка вичерпує свій ресурс.

Аналіз стану проблеми пошкодження деталей і вузлів тертя літаків нового покоління показує, що даний час такі літаки які надходять у ремонт , мають не великий термін експлуатації , за час якого в повному обсязі дефекти можуть не проявитися . Їх ремонт проводиться по формі виконання регламентних робіт без повного розбирання , що обмежує можливість дефекації деталей. Разом с цим, уже зараз не рідко виникає необхідність заміни або відновлення при ремонті по причині перевищення допустимої величини зносу таких деталей, як монорейси системи механізації крила.

Монорейки механізація крила сучасних літаків сімейства «АН», в тому числі також як АН72, АН74 та АН124, виготовляються із високоміцного титанового сплаву ВТ-22 і відносяться до категорії найбільш складних для виробництва і дорогих деталей [6]. В процесі експлуатації на робочій поверхні рейсів в місцях контакту з роликами каретки при крайніх випущених і ввібраних положеннях виникають зони виробітки, які за своєю конфігурацією нагадують відбитки роликів.

Для різних типів літаків спряження «рейс-ролик» в системі механізації мають близькі конструктивні рішення. Аналіз характеру пошкодження і умов контактної взаємодії робочої поверхні рейсу з роликами показує, що виробітка винила в результаті розвитку процесів взаємодії при фретинг-корозії і процесів , визваних багаторазовим динамічним контактним навантаженням при ударі спровокованим.

В системі механізації крила літаків АН72 та АН74 переміщення закрилків по монорейсу здійснюється за допомогою каретки , яка має 7 опорних роликів. Навантаження від закрилку передається на рейс через два передніх і один задній силові ролики . Під час руління по злітній полосі і пробі двигунів перед злетом, закрилок висунутий у злітне положення. Під власної вагою закрилка контакт з моно рейсом відбувається через два передніх і два задніх не силових ролика. Аналіз місць розташування величини і характеру пошкоджень дозволяє зробити висновок, що найбільше зношування відбувається при злітному положенні закрилки під час руління по злітній полосі і пробі двигунів. В цих умовах ,очевидно, має місце найбільш очевидне вібраційне навантаження , яке викликає взаємне проковзування і динамічне контактне навантаження спряженій парі «рейс –ролік» . Зважаючи на перспективи розвитку ремонту цих літаків і надходження в ремонт літаків з більшим напрацюванням , проблема відновлення моно рейсів може стати актуальною з точки зору заощадження витрат на придбання запасних частин.

Аналіз дефектів деталей вузлів тертя ГТД, виконаний на прикладі двигун ДЗ6 ,групи деталей , які мають недопустимі з точки зору подальшої експлуатації величини зносу і потребують розборки , або удосконалення технології і їх поверхневого зміцнення чи відновлення при ремонті.

До першої групи відносяться деталі , зношування яких відбувається по контактних поверхнях в номінально нерухомих з'єднаннях і пов'язане з розвитком фретинг - корозії . З цієї групи деталей значимими за кількістю , величинами зносу і впливу на показники надійності та вартості витрат при необхідності їх заміни при ремонті, являються робочі лопатки вентилятора і компресора зношування робочих лопаток вентилятора проходить по контактних поверхнях антивібраційних полиць (АВП) внаслідок відновного циклічного вібропереміщення під дією вібрації, яка виникає за причини в не урівноваження маси ротора і пульсації газового потоку. Величина зносу по АВП за період напрацювання до надходження в ремонт може досягти 1мм і більше.

В процесі виробництва контактні поверхні АВП робочих лопаток вентилятора з ціллю підвищення зносостійкості зміцнюється нанесенням карбидовольфрамового покриття шляхом електроіскрового легування. Незважаючи на високу твердість і зносостійкість такого покриття, його товщина не перевищує 20...30мкм, що, очевидно не забезпечує необхідного рівня зносостійкості контактним поверхням АВП на тривалий ресурс. Після зношування покриття в контакт вступають не зміцнені поверхневі шари титанового сплаву з якого виготовлені лопатки, що призводить до більш інтенсивного зношування контактних поверхонь АВП. При досягненні величин зносу, за яких в стиках лопаток АВП втрачається натяг і з'являється зазор, процеси взаємодії контактних поверхонь АВП переходять від режиму тертя ковзання при циклічному вібропереміщенні (фретинг) до динамічного контактного навантаження в режимі удару sprokovaniam. Такий режим характеризується по періодичним розкриттям стику з частотою, відповідною власними частоті коливань лопаток площині, перпендикулярні контакти поверхням АВП. Розкриття стику сприяє видаленню продуктів зношування з зони контакту полиць. В умовах тертя ковзання при мікро – переміщеннях наявність в зоні тертя прошарку продуктів зношування в більшості випадків сприяє стабілізації процесу тертя і зменшенню інтенсивності зношування [3]. В цьому разі перехід взаємодії контактних поверхонь АВП робочих лопаток вентилятора від умов зношування при фретинг - корозії до зношування при ударі sprokovaniam буде супроводжуватись більш швидким наростанням величини зносу.

В даний час при ремонті ГТД Д-36 лопатки із зносом контактних поверхонь АВП до одного міліметра відновлюються плазмовим напиленням порошкового матеріалу ПКХТ-30. При повторному надходженні у ремонт помітного зносу відновлених лопаток, що відпрацювали міжремонтний період, не спостерігалось, що свідчить про достатньо високу зносостійкість покриття.

Характерним дефектом ,що стає причиною заблокування деталей ГТД є пошкодження і ізнос контактних поверхонь в місцях замкового з'єднання робочих лопаток компресора з диском .

Особливістю роботи цих вузлів є високий рівень постійно діючих контактних навантажень від цинтробіжних сил і вібрація , що спричиняє розвиток в стиках роз'ємів замкових з'єднань лопаток з диском фретинг – корозії. Вібрація і дія згинаючих сил обумовлюють нерівномірність навантажень і концентрацію напружень і деформацій біля країв хвостовика , де частіше всього і спостерігається утворення осередків пошкоджень фретинг – корозією. Фретинг пошкодження стає причиною втомного руйнування лопаток по замковій частині і між пазових виступів дисків компресорів ГТД при їх експлуатації. Електролітичне сребріння поверхонь хвостовика лише на певний час відстрочує розвиток фретинг – корозії в сполученні лопатка – диск . Під дією високих контактних навантажень і вібропереміщень стійкість функціонування антифракційного срібного покриття швидко порушується.

До деталей першої групи , зношування яких пов'язане з розвитком фретинг – корозії по поверхням в номінально нерухомих з'єднаннях відносяться також лопатки і кільця спрямляючі і направляючих апаратів вентилятора і компресора, робочі лопатки турбіни, корпуси компресора низького і високого тиску, перехідники , тощо,для яких вібрація і знакозмінне навантаження в процесі експлуатації є постійно діючим фактом.

На даний час відновлення лопаток спрямляючого апарату при ремонті ГТД застосовується технологічний процес , який включає аргоннодугове наплавлення поверхонь спорідненим з матеріалом лопатки титановим сплавом з наступною механічною обробкою до необхідної товщини з подальшим електроіскровим легуванням карбід вольфрамовим електродом. Але , як було зазначено вище , при роботі в умовах вібропереміщення таке покриття і за малої товщини не забезпечує захисту від зношування при тривалому ресурсі роботи деталі . Враховуючи те, що при електроіскровому легуванні процес масопереносу матеріалу електрода має затухаючий характер з наближенням

до межі зростання , подальше збільшення товщини покриття для даних матеріалів електрода і деталі за рахунок тривалості легування практично унеможливується. Перспективним напрямком запобігання зношування , в даному випадку, може бути використання для електроіскрового легування в якості електрода матеріалів, які здатні формувати рівні або більш зносостійкі у порівнянні з карбід вольфрамом електродом покриття і які мають більш високий масоперенос і відповідно , можуть забезпечити більшу товщину захисного шару.

Другу величину групи деталей ГТД які виготовляються із титанових сплавів складають деталі , зношування яких відбувається в наслідок тертя ковзання . Найбільшу кількість деталей цієї групи складають лопатки компресора низького і високого тиску. Причиною вибракування при ремонті спільною для цих деталей є знос торців як результат тертя по ущільнюючому покритті та , як наслідок , зменшення висоти лопаток яка за міжремонтний період експлуатації досягає 0,2мм і більше на даний час торці лопаток не піддаються зміцненню з метою підвищення їх зносостійкості. Дослідні роботи у напрямку відновлення лопаток при ремонті газотермічним напиленням , гаргонодуховим і лазерним наплавленням не дали позитивного результату . Одним із напрямів пошуку технології поверхневого зміцнення і відновлення торцевих поверхонь лопаток КНТ і КВТ може бути напаявання зносостійких композицій [5].

1.3 Обґрунтування вибору об'єкта та предмета проектування

Із проведеного вище аналізу дефектів деталей вузлі тертя АТ можна виділити декілька груп деталей , виготовлених із титанових сплавів знос яких за міжремонтний період експлуатації може виходити за гранично допустимий і які потребують розробки чи вдосконалення технологічного процесу відновлення. Із числа таких деталей ГТД найбільш масовим і значним за впливом та економічні показники ремонту у разі їх заміни на деталі першої категорії є бондажовані робочі лопатки вентилятора і компресора .

Зношуванню піддаються контактні поверхні антивібраційних полиць в наслідок їх циклічного мікропереміщення під дією вібраційних навантажень, що викликає розвиток такого виду зношування, фретинг – корозія. Величина зносу лопаток по антивібраційним полицям може досягати 1мм і більше. Із збільшенням зносу з ростом годин напрацювання зменшується натяг між лопатками по стикам антивібраційних полиць. Так як результат підвищується динамічна завантаженість лопаток в замковому з'єднанні, що може спричинити їх втомне руйнування. На сьогодні для відновлення лопаток на ДП Завод 410 ЦА впроваджено тимчасовий технологічний процес плазмового напилення покриття із порошкового матеріалу на основі карбідів з нікелевого зв'язного. Разом з цим, аналіз вітчизняного та закордонного досвіду технологій газотермічного напилювання покриттів показує що більш ефективним в даному випадку може бути детонаційне напилювання. Метод плазмового напилення у порівнянні з детонаційним забезпечує меншу міцність зчеплення покриття з основою, а також більш високу температуру розігріву деталі що може призвести до локального знеміцнення лопатки [6, 7].

За рахунок відпуску і зменшення залишкових стискуючих напружень від попереднього на гартувань поверхневим пластичним деформуванням.

Із числа деталей вузлів тертя літаків до найбільш дорогих з точки зору заміни при ремонті і найбільш відповідальних за функціонуванням призначенням відносяться рейки механізації крила. На робочій поверхні рейок в місцях контакту з роликками коретки утворюються зони випрацювання матеріалу приблизно 1мм і більше, у зв'язку з цим виникає необхідність їх заміни або відновлення при ремонті. Аналіз умов роботи спряження «рейка – ролик» і характеру пошкодження свідчить, що зношування робочої поверхні рейок відбувається в результаті розвитку фретинг – корозії при відносному циклічному вібропереміщенні ніж у контакті або ударі з проковзуванням. На сьогодні як метод відновлення рейок розглядається нанесення покриттів газотермічним напилюванням, зокрема плазмових і детонаційних [8].

Як альтернатива газотермічному напилюванню покриттів для відновлення зношених деталей із титанових сплавів. За значної величини зносу розглядаються також методи аргонодугового і лазерного наплавлення. Наплавлення у порівнянні з іншими методами дає можливість нарощувати більш великі за товщиною шари матеріалу і широко використовується для відновлення і підвищення зносостійкості деталей і сплавів на основі заліза, міді, нікелевих і кобальтових жароміцних сплавів. Стосовно до деталей із титанових сплавів можливість використання наплавлень обмежується незадовільною зваріємністю несумісністю за металургійними властивостями титана з майже більшістю відомими зносостійкими сплавами і композитами. Процес наплавки титанових сплавів також не знайшов широкого використання через значне зростання зерна і окрихчення поверхневого шару в зоні термічного впливу, що призводить до зниження експлуатаційних характеристик титанових деталей, які сприймають значні динамічні навантаження.

Висновки до розділу 1

Таким чином, виходячи із вище означеного як об'єкт проектування в даній дипломній роботі обрано технологічний процес відновлення деталей із титанових сплавів методом газотермічного напилювання покриттів.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

2.1 Сучасні технології відновлення деталей авіаційної техніки

Надійність та довговічність сучасної авіаційної техніки в значній мірі визначається надійністю агрегатів і механізмів, працездатність яких в свою чергу залежить від багатьох зовнішніх факторів. В комплексі заходів, спрямованих на вирішення проблеми забезпечення їх працездатності, важливе місце займають питання розробки технологічних процесів поверхневого зміцнення та відновлення деталей сучасної техніки. За даними 85-90 % машин виходять з ладу із-за зношування деталей, а витрата металу на виробництво запасних частин перевищує 20 % від щорічної виплавки. Поверхневе зміцнення деталей машин, нанесенням на їх поверхні зносостійких покриттів, може суттєво зменшити витрати матеріальних, енергетичних та трудових ресурсів, забезпечити їх працездатність в різних умовах експлуатації, підвищити якість.

Не менш актуальною є проблема підвищення жаро- та корозійної стійкості деталей авіаційної техніки (АТ), втомленої міцності, фретингостійкості ін. Все це нагальне потребує розробки і впровадження нових технологічних процесів поверхневого зміцнення деталей шляхом нанесення функціональних покриттів. В цьому випадку реалізується принципово новий підхід до виготовлення конструкційних матеріалів: механічна міцність деталі гарантується за рахунок матеріалу основи, а зносо-, жаро-, корозійна стійкість забезпечуються функціональними покриттями, які мають науково обґрунтований склад, структуру та перевірені на практиці властивості [8].

Нанесення таких покриттів не тільки підвищує працездатність деталей, але і дозволяє економити велику кількість дорогокоштовних та дефіцитних легуючих елементів в зв'язку з тим що покриття наносяться в більшості

випадків товщиною від 5-8 до 250-300 мкм. Існує більш як 150 видів поверхневого зміцнення деталей машин, які можна об'єднати в 22 основних технологічних методи, що включають як давно відомі і широко використовуємі методи (гальванічні покриття, хіміко-термічна обробка, наплавка та інші), так і нові, а саме: лазерної обробки, саморозповсюджуючого високотемпературного синтезу, гелепокриття та інші.

Пріоритетним напрямком в технологічних процесах поверхневого зміцнення деталей є комплексні методи, що передбачають як послідовно, так і одночасно використання двох і та більшої кількості методів. Представниками таких технологій слід вважати: газотермічне напилення з подальшою лазерною обробкою; поверхневу механотермічну обробку; електромагнітну наплавку з одночасним поверхневим пластичним деформуванням. Використання цих методів значно збільшує міцність зчеплення покриття з основою, зменшує пористість покриттів, підвищує їхню якість та працездатність в різних умовах експлуатації.

Для підвищення працездатності деталей сучасної авіаційної техніки, та відновлення їх розмірів широко застосовуються методи газотермічного напилення: плазмовий, детонаційний, полум'яний електродуговий. В якості матеріалів, які напиляють на поверхню використовуються порошки різних матеріалів, дроти, стержні та гнучкі шнури. Найбільш поширеними матеріалами є порошки, які виготовляються із металів (Al, Ni, Mo, Ti, Cr, Cu), сплавів (на основі Fe, Mo, Co, Ti, Cu), оксидів (Fe, Al, Cr, Ti, Zr), безкисневих тугоплавких з'єднань і твердих сплавів (карбіди хрому, карбіди титана, карбіди вольфраму та інші), композицій: плакованих порошків (Ni + графіт, Ni + Al), механічних сумішей. Деякі фізико-механічні властивості матеріалів для газотермічного напилення розглянуті в таблиці.

Газотермічні покриття використовують як метод поверхневої обробки конструкційних матеріалів деталей АТ з метою підвищення їх зносо-, жаро-, тепло- та корозійної стійкості, теплоізоляційних, оптичних та

електроізоляційних властивостей, а також для відновлення розмірів зношених деталей. Характерними деталями АТ, які відновлюють нанесенням газотермічних покриттів, є наступні: шасі, а саме головні вісі шасі, внутрішній циліндр, розпори, стійки і гальмівні карданні труби, сопла реактивних двигунів, лопатки турбін, лопатки компресора, камери згорання, різні перехідники, наконечники, листи для облицювання фюзеляжу та інші.

Останнім часом з метою зменшення зазору між кінцями компресорних лопаток і елементами корпусу компресора або зазору між направляючими і робочими лопатками турбіни на ці лопатки напиляють плакований порошок системи нікель-графіт . Серед різних методів захисту конструкційних матеріалів, які працюють при температурах 850-1200°C особливе значення мають температуростійкі покриття. В багатьох випадках ці покриття працюють в умовах одночасної дії високих температур, навантаження, та агресивних середовищ. Такі покриття призначаються для:

- 1) захисту конструкційних матеріалів від газової корозії;
- 2) теплоізолюючого бар'єру між нагрітим до високих температур газом та металом;
- 3) захисту деталей від механічного зносу в умовах підвищених та високих температур.

Крім основного призначення - захисту матеріалів від руйнування в результаті корозії, ерозії і перегріву, жаростійкі та теплостійкі покриття можуть надавати поверхням деталей деякі специфічні властивості: оптичні, діелектричні та інші [9].

Температуростійкі покриття можуть формуватись з різних агрегатних і фізичних станів речовини: із газової і парової фази, із рідинних водних і неводних розчинів і суспензій, із гомогенних розплавів і піросуспензій та піропаст, із пластичних органокерамічних і цементно-керамічних систем, із твердих дисперсних фаз.

Практика показала, що хімічне руйнування температуростійких покриттів має локальний характер. Руйнування починається на

технологічних дефектах в шарі покриття. Такими дефектами можуть бути пори, пузири, тріщини та інші. В цьому випадку одним із рішень даної проблеми є використання пакетних покриттів, які складаються з двох, трьох і більшої кількості тонких шарів різної природи. Такі покриття є високоефективними в складних умовах експлуатації. Результати практичних досліджень показали необхідність широкого впровадження передових технологічних методів поверхневого зміцнення деталей АТ в зв'язку з багатогранністю наукових та технологічних задач необхідна консолідація зусиль фахівців різного профілю - хіміків, фізиків та металознавців.

2.2 Характеристика процесів газотермічного напилення

Сутність процесів газотермічного нанесення покриттів полягає в утворенні спрямованого потоку дисперсних часток металу, який напилюється, що забезпечує перенос їх на поверхню оброблюваного виробу при оптимальних для формування шару покриття значеннях температури та швидкості.

По типі джерела теплової енергії, що використовується для розплавлення матеріалу, який напилюється, існуючі конструкції апаратів для напилювання в основному можна розбити на два види: газоплазменні та електричні. У газоплазменних апаратах використовується теплота, що виділяється при горінні суміші пального газу – кисень. Електричні апарати засновані на використанні теплоти електричної дуги.

Найбільш широке застосування знаходить метод газоплазменного напилювання, що використовують для напилювання і наступного оплавлення покриттів із самофлюсуючихся сплавів на основі нікелю і кобальту, а також для напилювання керамічних і інших тугоплавких матеріалів. Одним зі спеціальних видів газоплазменного напилювання є напилювання, при якому використовується енергія детонації суміші ацетилену з киснем. Цей вид напилювання дозволяє наносити покриття з матеріалів із ще більш високою температурою плавлення. В останні роки

були розроблені і почали застосовувати в промисловості плазменні розпилювачі й установки для високочастотного індукційного напилювання, що у порівнянні з раніше існували методами мають більш широкі технологічні можливості для напилювання покриттів і деталей практично з будь-яких матеріалів.

У газопламенних процесах нанесення покриттів використовується тепло, що виділяється при згорянні паливних газів (ацетилену, пропан-бутану, водню, метану, природного газу та інші.) у суміші з киснем та стисненим повітрям.

При плазменно-дуговому нанесенні покриттів з порошків плавлення вихідного матеріалу відбувається в плазменному струменю, температура якого складає 5000-55000 К. Дугову плазменну струмінь одержують удмухуванням плазмообразуючого газу в електричну дугу, що утвориться між двома електродами. Плазменна струмінь являє собою потік речовини, що складає з електронів, іонів і нейтральних атомів плазмообразуючого газу. У якості плазмообразуючих газів застосовують аргон, азот, водень, аміак, водяна пара, повітря, гелій і інші гази, а також їхньої суміші. Частки вихідного порошку, потрапляючи в плазменну струмінь, розплавляються і переносяться на поверхню оброблюваного виробу.

Застосовуючи плазму – високоентальпійне і високотемпературне джерело нагрівання – можна наносити покриття практично з усіх тугоплавких матеріалів, що у плазменному струменю не сублимують і не перетерплюють інтенсивного розкладання.

2.3 Аналіз виникнення дефектів та методи їх усунення на прикладі двигуна Д-36

Багато деталей ГТД піддаються впливу високих температур, агресивних газових середовищ, статичних і циклічних навантажень. При цій високій температурі активізуються дифузійні процеси в поверхневому шарі

деталей, у результаті чого відбувається об'єднання їх легуючими елементами й окислювання.

При тривалому навантаженні зазначені процеси підсилюються, викликаючи повзучість, що стає одним з основних критеріїв, що визначають працездатність лопаток і знаків турбіни. В умовах підвищених температур і газових середовищ значно інтенсифікуються процеси газової корозії і корозійної втоми.

В основі поверхневого руйнування лежать механізми контактних взаємодій поверхонь у визначених умовах зовнішнього навантаження і робітничих середовищ. До поверхневих руйнувань можуть приводити корозійні процеси, дефекти хіміко-термічної обробки і т.д., але як показує досвід, надійність і довговічність роботи машин в основному визначаються тертям, змащенням і зносом деталей.

Дефекти АД з технологічної точки зору класифікуються як дефекти деталей і дефекти вузлів. Дефекти деталей розділяються на поверхневі й об'ємні [9].

До поверхневих дефектів відносяться перекручування форми і розмірів поверхонь, порушення поверхневого шару (наліт корозії, забоїни, надири, ризики, наклеп, сліди схоплювання, відхилення округлості і циліндричності, ерозія). На зародження і розвиток поверхневих дефектів особливо впливає якість поверхневого шару і насамперед залишкові напруги і шорсткість поверхні.

Об'ємні дефекти охоплюють велику глибину. Їхнє усунення створить значні технологічні утруднення і далеко не завжди можливо.

Відповідно до проведеного раніше технологічною класифікацією дефектів типові елементи технологічних процесів ремонту вузлів можуть бути представлені в узагальненій схемі взаємозалежних операцій – підготовка до ремонту; відновлення; доробки і заміна деталей; відновлення; доробка і заміна улов; іспити і контроль вузлів.

Основні процеси зношування деталей компресора – знос при терті, втома, ерозія і корозія. Знос при терті виявляється у виді змін розмірів і форми посадкових поверхонь, ризок, надрив, схоплювання.

Під впливом аеродинамічних, вібраційних, згинаючих сил і коливань у матеріалі деталей накопичується втома. Накопичена втома підсилює циклічні напруги низьких частот, обумовлені частотою злету, висотою польоту, структурою траси. Ці напруги можуть привести до поломок вузлів кріплення лопаток, тріщинам робочих лопаток, ослаблених влученням у компресор сторонніх предметів і ерозією, тріщинами в ободу диска.

Ерозійний знос лопаток приводить до небажаної зміни інших параметрів АД. Найбільшому ушкодженню піддаються вхідні і вихідні крайки, а також периферійні частини лопаток ротора і статора.

При відбудовному ремонті усуваються поверхневі дефекти, відновлюються розміри, форма, взаємне розташування поверхонь деталей, корозія, ризики, задиры, забоїны, наклепи.

На характер дефектів деталей камери згоряння і вихлопних пристроїв визначальне вплив роблять температурні впливи. Через нерівномірне нагрівання жарових труб по осі, радіусу, окружності виникають температурні напруги. На жарових трубах, патрубках, кожухах, дифузорах, соплах з'являються термоусталостные тріщини і руйнування.

Газова корозія поверхонь газового тракту знімає статичну і динамічну міцність деталей. У посадкових поясах виникають зношення при терті, що викликають наклепи, що порушують посадки, центрування корпусів, дифузорів, опор.

Зношування деталей турбін викликано перемінними напругами і температурами, тривалими статичними навантаженнями, впливом газового потоку. Найчастіше зустрічається знос при терті, втома, термічна втома, повзучість, ерозія і газова корозія.

В умовах тертя виникають і розвиваються зношення замків і торців лопаток, полиць лабіринтів, м'яких ущільнень. Тверді частки нагару з камери

згоряння змінюють шорсткість профілю пера. Зношування посадкових поверхонь дисків, підшипників, шліцевих, болтових, штифтових з'єднань супроводжуються схоплюванням, через якого спотворюються посадки і зростає концентрація напруг. Під дією перемінних напруг на лопатках, підшипниках, корпусах, валах з'являються утомлювальні тріщини.

Газова корозія уражає деталі газового тракту, особливо робочі і соплові лопатки, вона руйнує поверхневий шар і знижує міцність деталей.

Більшість дефектів (до 80 %) зв'язано з вібраціями. Зниження вібрацій досягається багаторазовими вивірками биттів, складною системою зрівноважування роторів.

Відбудовний ремонт робочих і соплових лопаток передбачає усунення поверхневих дефектів. Перекручування профілю і порушення якості поверхневого шару не допускаються. Поверхневі дефекти віддаляються в рахунок допусків по ходу і товщині полірування, гідроабразивної чи анодно-лужної обробки. Застосовується також обдування кісточковою крихтою. Соплові лопатки з виробленням матеріалу в посадкових місцях можуть відновлюватися методом ремонтних розмірів. Термозахисні покриття на соплових лопатках відновлюється плазменним напилюванням шару окису цирконію товщиною 0,1...0,2 мм.

Відбудовний ремонт дисків передбачає усунення поверхневих дефектів, відновлення посадкових і базових поверхонь і лабіринтів. Об'ємні дефекти служать підставою відбраковування.

Використовуючи статистичні дані по відмовленнях і несправностям деталей АТ, якими розташовує ДП Завод 410 ЦА, і, піддавши їх аналізу, можна скласти перелік деталей, дефекти в який доцільно усунути методами газо-термічного нанесення покриттів [10].

Вибір цих деталей зроблений з урахуванням досвіду, накопиченого на ремонтних заводах ЦА і підприємствах, що займаються відновленням зношених поверхонь.

Таблиця 2.1 - Характерні несправності і дефекти АД, а також можливі методи їхнього усунення

Найменування несправності, дефект деталей	Причина появи несправності, дефекту	Метод, вид виявлення	Заходи щодо ремонту
1	2	3	4
Компресор			
<i>Корпус</i>			
Тріщини в місцях зварювання	Недостатня якість зварювання, навантаження в експлуатації	Візуально, НК	Зварювання, заміна
Механічні ушкодження	Недбала експлуатація, улучення сторонніх предметів	Візуально	Зачищення
Нещільність поверхонь	Недостатня якість виготовлення	Перевірка на плиті по фарбі	Шабрівка
Короблення поверхонь фланців	Недостатня якість виготовлення, навантаження в експлуатації	Технічними вимірами	Підторцовка поверхонь
<i>Ротор</i>			
Тріщини, знос, наклеп вала	Навантаження в експлуатації, неякісне виготовлення	Візуально, технічними вимірами	При тріщині – відбраковування; при зносі, наклепі – зачищення, хромування
Знос, надри гребінців, дисків	Навантаження в експлуатації	Візуально, технічними вимірами	Шліфування, зачищення
Обрив, тріщини, механічні ушкодження, ослаблення посадки, ерозія лопаток	Утома металу, наявність концентраторів напруги, навантаження в експлуатації, улучення сторонніх предметів, недостатня якість виготовлення	Візуально, технічними вимірами, НК	Наплавлення, наварка, зварювання, напилювання, зачищення, шліфування, полірування, заміна
Камера згоряння			
<i>Корпус</i>			
Тріщини	Навантаження в експлуатації, недостатня якість виготовлення	Візуально, НК	Зварювання, заміна
Знос, механічні ушкодження	Навантаження в експлуатації, улучення сторонніх предметів	Візуально, технічними вимірами	Зачищення, шліфування, хромування

1	2	3	4
Зрив різьблення	Недбала експлуатація, ремонт, виготовлення	Візуально	Нарізка нової; при необхідності заварка, свердління і нарізка
Камера згорання			
Прогар, тріщини, короблення	Навантаження в експлуатації, недотримання режимів роботи АД, несправності паливної апаратури	Візуально, технічними вимірами	Зварювання, установка накладок, виправлення, заміна
Знос	Навантаження в експлуатації, недотримання режимів роботи АД, несправності паливної апаратури	Візуально, технічними вимірами	Зачищення
Нагаровідложе ння, корозія	Недостатня якість палива, недотримання режимів роботи і термінів консервації АД	Візуально	Зачищення
Турбіна			
Корпус			
Тріщини	Недостатня якість виготовлення, навантаження в експлуатації	Візуально, НК	Зварювання, заміна
Механічні ушкодження	Недбала експлуатація, улучення сторонніх предметів	Візуально	Зачищення
Неплощинність поверхні	Недостатня якість виготовлення	Перевірка на плиті по фарбі	Шабровка
Зрив різьблення	Недбала експлуатація, ремонт, виготовлення	Візуально	Нарізка нової, при необхідності заварка, свердління нарізка
Ротор			
Тріщини, перегрівши, знос, механічні ушкодження дисків	Навантаження в експлуатації, недотримання режимів роботи АД, несправності паливної апаратури	Візуально, технічними вимірами	При тріщинах диски бракуються, при перегріві визначається твердість матеріалу і приймається рішення

1	2	3	4
Тріщини, знос, наклеп вала	Навантаження в експлуатації, недотримання режимів роботи АД, несправності паливної апаратури	Візуально, технічними вимірами, НК	При тріщині – бракувати, при зносі, наклепі – зачищення (проточка), хромування
Руйнування (обривши), оплавлення, перегрів, тріщини, знос, механічні ушкодження, подовження, ерозія, ослаблення лопаток	Навантаження в експлуатації, недотримання режимів роботи АД, несправності паливної апаратури, втома матеріалу, наявність концентраторів напруг, улучення сторонніх предметів. Недостатня якість виготовлення і т.д.	Візуально, технічними вимірами, НК, перевірка твердості матеріалу	Наплавлення. Наварка, зварювання, напилювання, зачищення, шліфування, полірування. При неможливості ремонту - бракувати
Сопловий апарат			
<i>Внутрішнє кільце</i>			
Тріщини, відставання крайок, прогин, механічні ушкодження, знос, ерозія	Навантаження в експлуатації, недотримання режимів роботи АД. Несправності паливної апаратури, втома матеріалу, наявність концентраторів, напруги і т.д.	Візуально, технічними вимірами, НК	Зварювання, наплавлення, наварка, напилювання, зачищення, виправлення, заміна
Тріщини, перегрівши, прогар, вигорання, короблення, механічні ушкодження, деформація, ерозія лопаток	Навантаження в експлуатації, недотримання режимів роботи АД. Несправності паливної апаратури, втома матеріалу і т.д.	Візуально, технічними вимірами, НК	Зварювання, наплавлення, наварка, напилювання, зачищення, виправлення, заміна
<i>Підшипники</i>			
Руйнування, тріщини деталей	Навантаження в експлуатації, недотримання режимів змащення, роботи АД, втома матеріалу, неякісний монтаж, виготовлення, демонтаж	Візуально, НК	Заміна підшипника

1	2	3	4
Знос, брінелювання, викрашування, пітінг, надири, рисок, наклеп, корозія, наволакивание матеріалу, деформація, перегрів, відкол і .д.	Навантаження в експлуатації, недотримання режимів змащення, роботи АД, неякісне виготовлення	Візуально, технічними вимірами, НК	Зачищення неробочих поверхонь, хромовання, заміна підшипника в цілому чи його деталі згідно ТУ

При класифікації об'єктів ремонту поділ ведеться по двох напрямком: конструктивно-технологічна спільність і спільність процесів обробки. Проаналізувавши статистичні дані підприємств, що займаються відновленням деталей (на прикладі ДП Завод 410 ЦА), можна з упевненістю сказати: більшість процесів відновлення на сучасному етапі класифікують саме по спільності процесів обробки. З однієї сторони про економічно вигідно, з іншої не вимагає значних технологічний перебудов на виробництві [11].

Класифікація об'єктів ремонту по класах і групам представлений нижче. Ознаками для класифікації деталей є: конфігурація, розміри, матеріал деталей, необхідні точність і якість обробки поверхонь. Деталі розділяються на класи, підкласи, групи і типи за принципом спільності технологічних задач, що виникають при їхньому виготовленні. Класифікація А.П. Соколовського передбачала поділ усіх деталей машинобудування на 15 класів (вали, втулки, диски, важелі, плити, і т.д.). Усі машинобудівні деталі поділяються на два класи. До першого класу відносяться всі деталі типу тіл обертання (вали, диски, циліндри), до другого – деталі не тіла обертання (важелі, корпусні деталі й ін.). Кінцевою метою класифікації є поділ деталей на типи. Під типом мається на увазі така сукупність близьких за формою і розмірами деталей одного класу, які можна обробляти по загальному – типовому – технологічному процесу. У межах типу допускаються деякі

відхилення в плані обробки. Можливе чи виключення додавання деяких переходів і навіть операцій.

Типовий технологічний процес розробляється для виготовлення в конкретних виробничих умовах типового представника сукупності деталей, що володіють загальними конструктивно-технологічними ознаками. Представником типу буде деталь, обробка якої вимагає найбільшої кількості операцій.

Документація типових технологічних процесів містить класифікатор деталей і типові процеси обробки, зафіксовані у виді маршрутних і операційних карт. На кальках операційних карт розміри на проставляються, а після виготовлення синьок туди заносяться операційні розміри, допуски і т.д [9].

Типізація технологічних процесів передбачає також використання загальних для всіх деталей типу пристосувань. По конструкції такі пристосування є переналагоджуваними і мають регульовані чи змінні настановні і направляючі елементи.

2.4 Оцінка ремонтпридатності деталі для розробки технології відновлення

Відбір номенклатури деталей, що придатні для відновлення, та вибір найбільш раціонального методу відновлення проводиться на основі аналізу сукупності технічних, конструктивно-технологічних і техніко-економічних умов, що визначають можливість та доцільність їх відновлення. Першочерговою задачею у вирішенні цього питання є оцінка ремонтпридатності деталі. Відрізняють граничний стан першого і другого видів. При досягненні граничного стану першого виду деталь може бути відновлений; при досягненні граничного стану другого виду відновлення деталі неможливо. Наприклад, відновлення технічно неможливо при

неприпустимій втраті міцності у результаті незворотних явищ втомленості, старіння, міжкристалевій корозії.

Аналіз критеріїв граничного стану є першим етапом виконання досліджень по оцінці ремонтпридатності. Для деталей вузлів тертя критерієм граничного стану є граничний знос (чи граничний розмір деталі) і максимально припустимий зазор у сполученні.

Граничні зноси (чи розміри деталей) за допомогою технічних ознак визначають розрахунковим чи дослідним шляхом з урахуванням характеру та величини діючих на деталь навантажень, дозволеного зниження міцності, зміни умов тертя, теплової напруженості і властивостей поверхонь тертя.

Подальша оцінка ремонтпридатності проводиться сумісно з аналізом наявних методів відновлення. Відновлення справного чи працездатного станів зношених деталей може бути здійснено двома засобами:

- наданням деталі нових ремонтних розмірів;
- відновленням деталей до початкових розмірів.

У першому випадку відновлення ведеться методами механічної обробки, при яких видаляється шар металу, що визначає викривлення форми і вміщує порушення у вигляді задирів, корозії та інших дефектів.

Ремонтпридатність деталей, обробкою під ремонтні розміри, обмежується доступністю дефектної поверхні для механічної, обробки, рівнем допустимого зниження міцності, збереженням зміцненого поверхневого шару (цементованого, азатованого, тощо), можливістю збільшення розміру сполученої деталі. Виходячи з останніх трьох умов призначається граничний ремонтний розмір деталі, до якого можливо її відновлювати. Для відновлення початкових розмірів деталей найбільш широке розповсюдження набули методи нарощування зношених поверхонь наплавкою, хімічним, електролітичним та газотермічним нанесенням покриття. Алгоритм досліджень по оцінці ремонтпридатності деталей, який визначає можливість їх відновлення вказаними методами.

По другій оцінці ремонтпридатності виконується на основі аналізу конструктивно-технологічних особливостей деталі (габаритні розміри, конфігурація, розташування і доступність зношених поверхонь, матеріал деталі та його обробка). Вказані фактори обмежують застосування наявних методів відновлення. Так, наприклад, не можуть бути відновлені методами газотермічного нанесення покриттів внутрішні поверхні валів малого діаметру, а також, якщо твердість матеріалу деталі перевищує 60 HRC; не рекомендується застосовувати наплавку для відновлення деталей з діаметром менше за 30 мм та деталей, які зміцнені поверхнево-пластичним деформуванням і термічною обробкою, тощо.

По третій оцінці ремонтпридатності виявляється у порівнянні величини зносу деталі і допустимої товщини шару, який нарощується різними методами.

Величина зносу визначається при дефектації деталі замірюванням у місці максимальної виробки. Глибина дефектного шару може бути визначена методами неруйнівного контролю чи засобами металографічного аналізу мікрошліфів.

Припуск на механічну обробку призначається із умови можливості забезпечення заданої форми, точності і шорсткості поверхні, що відновлюється.

При оцінці ремонтпридатності по позиції 4 мається на увазі, що експлуатаційні властивості відновленої поверхні повинні бути не нижчі, а по можливості, вищі за початковий, встановлений нормативно-технічною документацією, рівень, а операції по відновленню не повинні призвести до недопустимого зниження міцності деталі.

Деталь необхідно відновити так, щоб вона відпрацювала не менш ніж один міжремонтний ресурс.

Оцінка ремонтпридатності по позиції 5 пов'язана з вирішенням питання про допустимість багаторазового відновлення деталі. Ця умова враховує те, що при кожному повторному відновленні деталь зазнає все

більших змін, які знижують її показники міцності (виникає втрата міцності матеріалу деталі, накопичуються пошкодження від втоми тощо).

Умова ремонтпридатності по позиції 6 визначається економічною ефективністю і можливістю відновлення деталей в заданому обсязі та встановлений термін. Відновлення вважається доцільним, якщо питомі витрати на відновлення не перевищують 75 % вартості нової деталі.

2.5 Проектування технологічних процесів відновлення деталей

Змістом виробничого завдання є конструкторсько-технологічна документація на вироби АТ. На основі цієї документації за допомогою ЕОМ формується і проектується технологічний процес. Для цього визначаються методи обробки; необхідні умови для виконання вимог ТУ; фактичні і необхідні розміри, форма, геометрія деталей, вибирається обладнання і інструменти, методи транспортування і т. д. Визначаються (підбираються) бази кріплення і обробки. На основі цих даних розраховуються режими обробки деталей. Встановлюється послідовність і тривалість операцій по обробці і контролю. При цьому використовуються дані, що зберігаються в пам'яті ЕОМ. На всіх стадіях проектування технологічного процесу відновлення, виготовлення здійснюється візуальний і автоматичний контроль інформації. Розробляються і застосовуються для розрахунків на ЕОМ математичні моделі технологічних процесів.

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

Тому, перспективним є комплексне рішення технологічних задач, пов'язаних з розробкою всієї технологічної документації. Для цього необхідна систематизація різних відомостей для розробки технологічних процесів: характеристики об'єктів ремонту, характеристики матеріалів, що застосовуються, характеристики обладнання, умови ремонту, збирання,

випробувань, контролю, експлуатації об'єктів АТ, нормативні державні, галузеві, відомчі і заводські документи і т. д., залежність між ними. Для технологічних процесів повинні розроблятися і після перевірок уточнюватися відповідні математичні моделі, які повинні бути перероблені для ЕОМ з метою отримання надалі в будь-який час необхідних відомостей по оптимізації технологічних процесів. Роботи в цій області ведуться в двох напрямках. Перший комплексний напрям, проектування процесу розглядається від початку і до кінця як рішення комплексу взаємопов'язаних задач. Друге - виборчий напрям, проектування процесу розбивається на стадії, етапи, які і є частковим об'єктом автоматизації усього технологічного процесу. У останньому випадку переважають більш прості, обчислювальні задачі [9].

Перший напрям. Деталь розглядається як сукупність взаємопов'язаних поверхонь, кожна з яких характеризується невеликою кількістю параметрів. Для кожної поверхні є обмежена кількість можливих і допустимих методів обробки. До таких характеристик відносяться: взаємне розташування поверхонь, їх розміри, шорсткість, бази і інші технічні вимоги і умови. У свою чергу, на ці характеристики накладають відбиток характеристики обладнання, що застосовується і інструмента, робочих матеріалів і серед, експлуатаційні умови і т. д.

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

характеристиці, найменуванню і привласнюється цифровий код. Машинне сортування полегшує угруповання деталей. Кожна група деталей замінюється однією усередненою - універсальною або типовою деталлю, характерною по своїх параметрах для всієї групи.

Моделювання технологічних процесів.

Будь-який технологічний процес можна представити як самостійну цілісну систему, характеристиками якої є склад, послідовність етапів, операцій, взаємозв'язку, вплив зовнішніх умов і т. д. Ця система є ведучою по відношенню до своїх складаючих частин. Тому процес управління такою системою є, насамперед, її упорядкуванням. Кінцевою метою управління цією системою є забезпечення оптимального технологічного і виробничого процесів, наприклад в авіаремонтному виробництві, зокрема для відновлення деталей АТ. Ефективним засобом призначення будь-якої системи і управління нею може бути моделювання відтворення цієї складної системи за допомогою більш простої системи, званою моделлю. Процес моделювання заснований на структурній або функціональній схожості (ізоморфізмі) різних систем і дозволяє відтворювати і вивчати складні системи в математичних або фізичних моделях. Математична модель реального технологічного процесу є математичним об'єктом, відповідним даному фізичному процесу.

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

критеріїв, характеристик, що описують основні характерні властивості даного процесу.

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

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

Для моделювання на ЕОМ технологічного процесу, заданого за допомогою математичної моделі, треба побудувати моделюючий алгоритм, який дасть можливість відтворити модель на машині. Звичайно запис алгоритму роблять незалежної від характеристик обчислювальної машини. Моделюючі алгоритми представляються у вигляді логічної і операторних схем, в яких вказана послідовність операторів, кожний з яких представляє одну з груп елементарних операцій. Логічна і операторна форми представлення алгоритму не враховують особливостей системи команд різних типів ЕОМ. Облік цих особливостей, побудова розгорнутих схем рахунку для відтворення окремих операторів алгоритму виконується при програмуванні [7].

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

- умова можливості усунення несправностей і дефектів, яка визначається по критеріям трудовитрат та можливості виконання відновлення;

- температурна умова;

- умова міцності зчеплення покриття, яка залежить від шорсткості поверхні деталі на напиленні;

- умова існування процесу, яка залежить від технологічних чинників і усталісної міцності деталей;

-умова усталеної міцності, яка залежить від величин залишкових напружень в покритті, структурних неоднорідностей наявності оксидів, пористості покриття;

-умова попередньої підготовки поверхні, яка показує залежність залишкових мікронапруг від режимів механічної обробки до напилення;

-умова стабільності властивостей покриття;

-умова конструктивної прийнятності, яка характеризує доступність деталі, для нанесення покриття і умови роботи при експлуатації

Побудова групових технологічних процесів.

Відповідно до ГОСТ 14.004 – 74, під групою розуміється форма організації виробництва, яка характеризується спільним виготовленням чи ремонтом групи виробів різної конфігурації на спеціалізованих робочих місцях. Метод групової обробки розроблений проф. С.П. Митрофанов, він є подальшим розвитком ідеї типізації технологічних процесів. При груповій обробці створюють класи заготівель по видах верстатів (оброблювані на токарських, револьверних і т.д. верстатах). Основною задачею класифікації при груповій обробці є формування груп.

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

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

заготівель і типам пристосувань, по точності і якості поверхонь. Для прискорення і полегшення роботи з класифікації і групування деталей використовують лічильно-перфораційні чи електронно-обчислювальні машини.

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

Наступним кроком є проектування, стосовно до комплексної деталі, групового технологічного чи процесу групових операцій. Для кожної операції встановлюють послідовність і зміст переходів, вибирають устаткування. Груповий технологічний процес, послідовність операцій у ньому і послідовність переходів у групових операціях повинні бути такими, щоб по них можна було обробляти будь-яку деталь групи без значних відхилень від загальної технологічної схеми.

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

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

Розглянемо тепер питання про джерела ефективності групового методу обробки деталей. Як і при типізації технологічних процесів, при використанні групового методу скорочуються витрати праці на проектування технологічних процесів і оснащення, скорочуючи витрати засобів на виготовлення спеціального оснащення, прискорюється процес підготовки

виробництва та освоєння нового об'єкта. Але при груповому методі, крім того, забезпечується значне скорочення витрат часу на виготовлення деталей, тобто забезпечуються значний ріст продуктивності праці робітників [6].

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

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

2.6 Технологічні процеси газотермічного напилення покриттів

Технологічний процес газотермічного напилення складається з наступних основних операцій: підготовка поверхні упрочнюючої деталі до напилення і напиляємих порошоків; нанесення покриття; механічна обробка покриття; контроль якості покриття. В загальному вигляді схема технологічного процесу напилення порошковими матеріалами має вигляд

Порошкові матеріали, що застосовуються для газотермічного напилення, повинні пройти вхідний контроль на відповідність їх супроводжуючому документу, кожна партія порошку повинна мати паспорт зі вказаним найменуванням порошку, його марки, хімічного складу, розміру часток, дати виготовлення, терміну зберігання, заводу-постачальника.

Порошки повинні зберігатися у відповідності з вимогами технічних умов на кожний конкретний тип порошку.

Для нанесення газотермічних покриттів застосування знаходять такі порошкові матеріали: сплави, тугоплавкі з'єднання, композиції тощо.

При виборі порошкових матеріалів для газотермічного напилення покриттів необхідно враховувати:

- основні призначення покриттів (зносостійкі, жаро- і корозійностійкі та інші);

- умови роботи деталей (допустимий взнос, характер прикладення навантаження, ступень агресивності робочого середовища та інші);
- фізико-хімічні властивості матеріалу основи;
- вартість порошкового матеріалу.



Рисунок 2.1 - Технологічний процес відновлення деталей авіаційної техніки газотермічними покриттями

Порошкові матеріали повинні мати необхідну швидкість дисоціації і сублімації в процесі напилення; мінімальну хімічну взаємодію з продуктами

напилення. Вони повинні бути однорідними за хімічним складом і мати визначений гранулометричний склад і форму часток.

При виборі порошкових матеріалів необхідно враховувати також їх фізико-хімічні властивості: теплопровідність, коефіцієнт термічного розширення та інші.

Форма часток порошкових матеріалів повинна бути сферичною або грудкоподібною, що забезпечує їм текучість. Остання дозволяє регулювати і підтримувати постійну витрату напилюваного матеріалу. Частки порошкових матеріалів іншої форми утруднюють подачу порошку, викликають нерівномірну його витрату, знижують стабільність процесу напилення, а як наслідок, і властивості покриттів.

Розмір часток напилюваних порошкових матеріалів і їх гранулометричний склад здійснюють вплив на процес напилення і властивості отримуваних покриттів. Основними факторами при визначенні оптимального розміру часток порошкового матеріалу є: теплофізичні властивості, теплопровідність, питома теплоємність, температура плавлення тощо, а також термодинамічні характеристики газотермічного потоку [9].

Перед нанесенням газотермічних покриттів порошкові матеріали необхідно просушити. Сушення порошкових матеріалів проводиться при температурі 130-150 °С на протязі 2-3 годин. Їх сушать в печах на листах з нержавіючої сталі, періодично перемішуючи. Товщина шару засипки повинна бути не більше 20 мм. Прожарювання порошоків робиться в електропечах при температурі 600-700 °С на протязі 2-3 годин на листах з нержавіючої сталі. Товщина шару засипки не повинна перевищувати 20 мм.

Визначена фракція (гранулометричний склад) порошку досягається шляхом здрібнювання вихідного порошку в спеціальних пристроях (кульові млини і т.п.). Одноразове завантаження 25 кг порошку та 25 кг тіл, застосовуваних для здрібнювання (кулі з твердого сплаву). Для відділення потрібної фракції порошку від інших фракцій порошок просіюють через вібросито.

Підготовка поверхні основи до нанесення покриттів включає наступні операції:

- 1) очищення та знежирення;
- 2) попередню механічну обробку;
- 3) спеціальну підготовку;
- 4) ізоляцію поверхонь деталі, що не підлягають напиленню.

1. Перед напиленням всі деталі повинні бути старанно очищені та знежирені. З поверхонь, які підлягають напиленню, повинна бути знята емульсія, мінеральне масло, нагар, старе покриття. Чистоту підготовленої поверхні нових деталей контролювати на відсутність масла та забруднень, а ремонтних – на відсутність нагару та зняття старого покриття. Знежирення проводити хімічне, у травильних розчинах. Локальні свіжі забруднення допускається видаляти протиранням бензину, ацетоном і спиртом.

2. Механічну обробку поверхонь роблять частіше всього на шліфувальних станках зі зняттям невеликих припусків.

3. Спеціальну обробку поверхонь для покращення зчеплення напилюваного матеріалу з основою можна робити:

- а) дробоструменевим методом;

Дробоструменеву обробку можна робити пневматичним і відцентровим методом. Пневматичний спосіб подачі оброблюваних часток дешевше і частіше застосовуються. Зі збільшенням розмірів часток для обробки поверхні продуктивність росте, однак при цьому збільшується шорсткість. Тому найчастіше використовують суміш, що складається з мілких та великих часток. В якості обробляючих матеріалів використовують сталеву крихту, корунд, карбід, кремнію, кварцовий пісок та інше. Розмір часток може коливатися від 400 до 1000 мкм в залежності від розмірів оброблюваної деталі і матеріалу покриття. Тиск стислого повітря змінюють від 0,3 до 0,5 МПа в залежності від оброблюваного матеріалу. При обробці сталеву крихту або чавунною крихтою тиск повітря підвищують. При обробці корундом тиск повітря легко регулюється.

При піскоструминній обробці сталей рекомендується промитий сухий пісок із зернистістю до 2 мм, для інших металевих матеріалів - 0,5-1,5 мм. Найкращими результатами по шорсткості досягається при обробці з параметрами, зазначеними в таблиці.

Таблиця 2.2 - Параметри піскоструминної технології обробки поверхні

Тиск повітря P, 1000000 Па		Відстань до сопла, мм		Кут нахилу ерозій- ного струменя, град		Мінімальний кут, град
Піско- струмний агрегат	Інжекторні установки	min	max	Сталь	Чавун	-
2,5-4	3,5-6	80-100	150	45-70	30	25-30

б) механічними способами обробки;

Цей спосіб обробки застосовують перед напиленням покриттів на вали, циліндри та інші подібні деталі. Попередню обробку роблять нарізанням різьби, проточкою канавки. Механічну обробку застосовують в тих випадках, якщо основа є достатньо м'якою або легко піддається механічній обробці.

в) напилення тонкого шару тугоплавких матеріалів;

Зазвичай в якості матеріалу підшару застосовують молібден і різні сплави на нікелехромовій основі. Хороше зчеплення молібдену з поверхнею сталеві основи пояснюються високим тиском парів його окислів. Нанесення металічного підшару сприяє створенню хороших демфуючих властивостей підкладки, що забезпечують їх пористість і пластичність.

г) електроіскровим методом;

Електроіскрову підготовку поверхні звичайну проводять в тому випадку, якщо основа має більш високу твердість і не може бути оброблена дробоструменевим або механічним способами. Її проводять звичайним зварювальним апаратом. До недоліків цього методу слід віднести низьку

швидкість обробки поверхні і значне зниження утомленостної міцності, а також структурні зміни, викликані дією високих температур.

д) хімічним методом;

Хімічну обробку поверхні проводять травленням поверхні різними хімічними реактивами. При цьому утворюється визначена шорсткість. До недоліків хімічної підготовки можна віднести можливість затримки в порах поверхні травильних реактивів, що може призвести до інтенсивної корозії напиленої деталі.

З порівняльного аналізу різних методів спеціальної обробки поверхонь можна сказати, що найбільш прийнятним методом для газотермічних напилень є метод пневматичної дробоструменевої обробки.

4. Ізоляцію поверхонь, не підлягаючих напиленню, роблять картоном або листовим залізом. Отвори або пази закріплюють дерев'яними або резиновими пробками. Після підготовки поверхні приступають до напилення покриттів не пізніше двох годин після підготовки.

2.7 Методи газотермічного напилення покриттів

При газополум'яному напилюванні джерелом теплової енергії є полум'я, що утвориться в результаті горіння суміші кисень-пальний газ. Напилювання в залежності від стану напиленого матеріалу може бути трьох типів: дротове, пруткове і порошкове. Крім того, до газополум'яного методу відноситься детонаційне напилювання, засноване на використанні енергії детонації суміші кисень-пальний газ.

На рисунці 2.2 показаний принцип дротового газополум'яного напилювання.

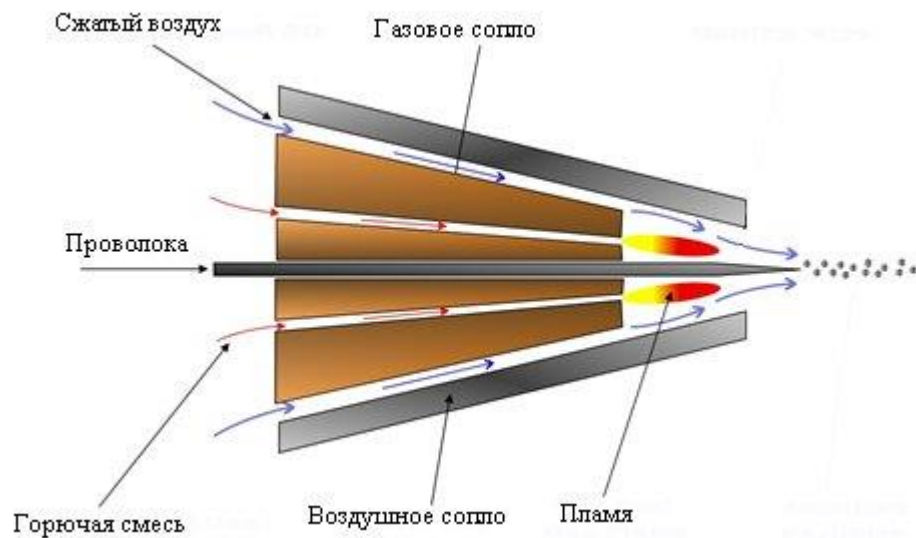


Рисунок 2.2 - Газополум'яне напилювання дротом

Пруткове напилювання виробляється аналогічним образом. В обох випадках напилений матеріал у виді чи дроту прутка подається через центральний отвір пальника і розплавляється у виді полум'я. Струм стиснутого повітря розпорошує розплавлений матеріал на дрібні частки, що осаджуються на оброблюваній поверхні.

На рисунці 2.3 показаний принцип газополум'яного напилювання порошкового матеріалу. Порошок, який напилюється надходить у пальник зверху з бункера через отвір, розганяється потоком транспортуючого газу (суміш кисень - паливний газ) і на виході із сопла попадає в полум'я, де відбувається його нагрівання. Захоплені струменем гарячого газу частки порошку попадають на поверхню, яка напилюється. У порошкових пальниках, як і дротових, подача матеріалу, який напилюється в полум'я і розгін розплавлених часток, що утворюються, може вироблятися за допомогою стиснутого повітря [11].

У більшості випадків як паливний газ використовують ацетилен. Можна також застосовувати пропан, чи водень метилацетилен. Можна також застосовувати пропан, що попередньо піддають стабілізації. Для напилювання пластмас частіше застосовують пропан.

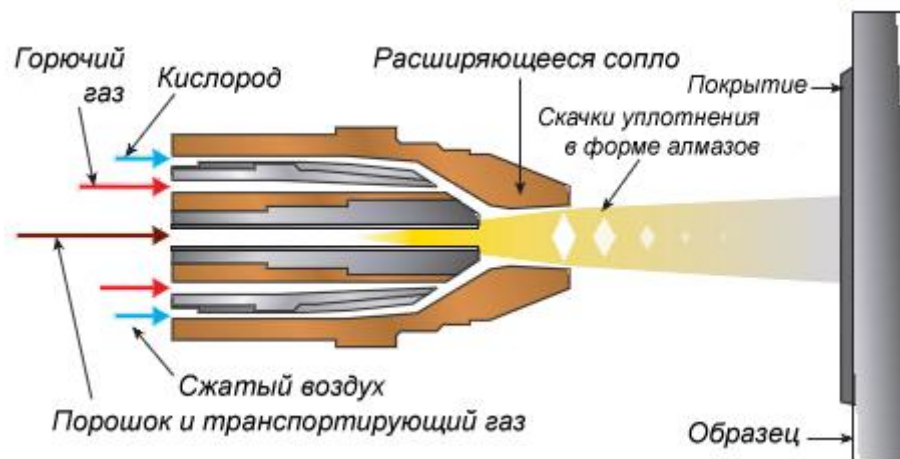


Рисунок 2.3 - Газополум'яне напилювання порошкового матеріалу

Температура полум'я газового пальника не перевищує 2850 °С, тому газопламенним напилюванням не можна одержувати покриття з найбільш тугоплавких матеріалів.

Технологія газополум'яного напилювання досить проста, а вартість устаткування і витрати на експлуатацію низькі. У зв'язку з цим цей спосіб є найбільш розповсюдженим.

При газополум'яному напилюванні покриття необхідний запас теплової і кінетичної енергій повідомляється часткам порошку в процесі взаємодії їх з полум'ям суміші пального газ - кисень. Полум'я утвориться в результаті згоряння на зрізі сопла пальної суміші, що впливає з великою швидкістю із соплових отворів пальника, Порошок подають, як правило, уздовж осі смолоскипа полум'я, усередину його. Температура при використанні як пального газ ацетилену досягає 3200 °С, а швидкість витікання 150-160 м/с.

До переваг газополум'яного напилювання покриття відносяться:

1) можливість одержання покриття з більшості матеріалів, що плавляться при температурі до 3000 °С без розкладання;

2) досить висока продуктивність процесу (до 8-10 кг/год порошків самофлюсуючихся сплавів) при високому коефіцієнті використання матеріалу (більш 95 %);

3) відносно низький рівень шуму і світлових випромінювань, що дозволяє працювати оператору без додаткових засобів захисту;

4) легкість і простота обслуговування, невисокі вартість і мобільність устаткування, що дозволяє робити напилювання на місці, без демонтажу виробу.

Основними недоліками газополум'яного способу напилювання покриттів з порошкових матеріалів є:

1) обмеження напилених матеріалів по температурі плавлення (не більш 3000 °С);

2) недостатня міцність зчеплення покриттів з основою (5-25 МПа при іспиті на нормальний відрив);

3) висока пористість покриттів (5-25 %), що перешкоджає їхньому застосуванню в корозійних середовищах без додаткової обробки;

4) невисокий коефіцієнт використання енергії газополум'яного струменя на нагрівання порошкового матеріалу (2-12 %).

Детонація - особливий вид поширення полум'я, що наближається до вибуху і за певних умов сягаючий швидкості, що перевищує швидкість звуку в даному середовищі. Якщо підпалити електричною іскрою пальну суміш газів (наприклад, ацетилен з киснем) у спеціально виготовленій трубці чи стовбурі (рисунок 2.4), то фронт полум'я почне поширюватися уздовж стовбура зі зростаючою швидкістю доти, поки в газі не виникне детонаційна хвиля.

Швидкість поширення детонаційної хвилі складає 2-4 км/с. Якщо, до утворення детонаційної хвилі в стовбур подати у виді порошку напиляємий матеріал, то високошвидкісний потік палаючих газів розплавить його і з великою швидкістю нанесе у виді покриття на виріб. Швидкість руху часток напиляемого порошку може скласти 600-1000 м/с, що на порядок вище, ніж при газополум'яному напилюванні. Високі швидкості руху напиляемого порошку і висока температура, що утвориться в процесі вибуху (до 4000 °С), дозволяють наносити на поверхні виробів тугоплавкі покриття високої якості

з гарною міцністю зчеплення з основою. При детонаційному напилюванні покриття міцність зчеплення при відриві може досягати 200 МПа, у той час як при газополум'я'ному напилюванні міцність зчеплення при відриві складає 20 - 30 МПа. У порівнянні з газополум'я'ним детонаційний метод напилювання покриття знаходить усе більше застосування в авіаційній промисловості і відповідно на ремонтних підприємствах.

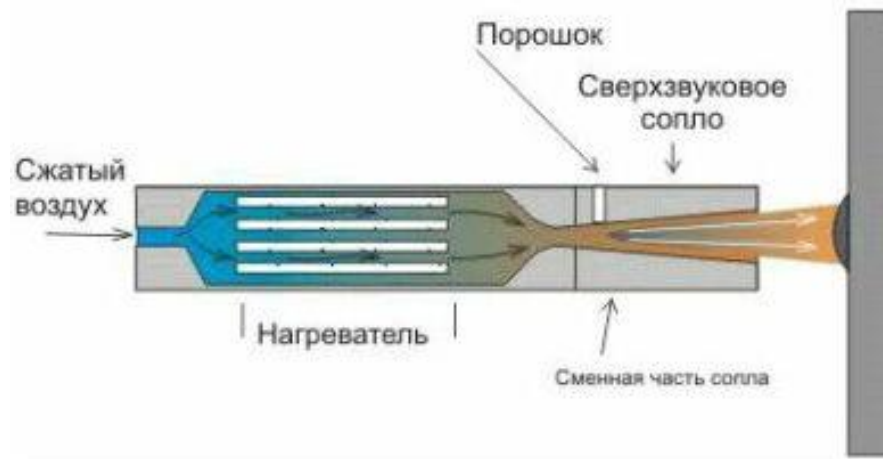


Рисунок 2.4 - Детонаційне напилення покриттів

Недоліки детонаційного метода напилювання:

- 1) високий рівень шуму (125 - 140 Дб) і інші шкідливі впливи вимагають ізоляції зони обробки;
- 2) визначені технологічні обмеження на одержання покриття з матеріалів, що містять елементи, що активно взаємодіють з компонентами середовища;
- 3) технологічні обмеження на обробку нежорстких деталей, викликані високими імпульсними рухами при впливі струн продуктів детонації на підкладку;
- 4) обмеження по твердості напиленої поверхні (не повинна бути вище HRC 60).

Як робочі гази використовують азот по ГОСТ 9293-74, кисень по ГОСТ 6331-78, ацетилен по ГОСТ 5457-75, пропан-бутан по ГОСТ 20448-80.

Розміри і форма деталей при детонаційно-газовому нанесенні покриттів обмежені лише технологічними можливостями пристроїв для переміщення виробів (детонаційно-газової гармати) і розмірами звукоізолюваного боксу (камери), у якому виробляється обробка. Внутрішні циліндричні поверхні діаметром більш 10 м і відкриті з обох кінців повинні мати довжину, що не перевищує 1,5 діаметра.

Плазмою називають газ, що містить більш 1 % молекул в іонізованому стані. При цьому кількість позитивних іонів повинна дорівнювати кількості електронів і негативно заряджених іонів. Плазма має високу електропровідність [5].

Якщо газ нагріти до температури 10 і більш тисяч градусів, то він перейде в стан плазми. Технологія плазмового напилювання набула широкого застосування в авіаційній промисловості й у ремонтному виробництві. Плазмове покриття з молібдену, вольфраму, окислів, тугоплавких з'єднань інтерметалів дозволили вирішити ряд найважливіших технічних задач, спрямованих на підвищення зносостійкості, жаростійкості й інших властивостей різних матеріалів.

Принцип напилювання показаний на рисунку 2.5. Між катодом (з чистого чи вольфраму з додаванням 2 % торія) і мідним водоохолоджуваним соплом, що служить анодом, виникає дуга, що нагріває робочий газ, що надходить у сопло пальника, що минає із сопла у виді плазменного струменя.

Як робочий газ використовують аргон чи азот, до яких іноді додають водень. Порошковий наплавочний матеріал подається в сопло струменем транспортуючого газу, нагрівається плазмою і з прискоренням переноситься на поверхню основного матеріалу для утворення покриття.

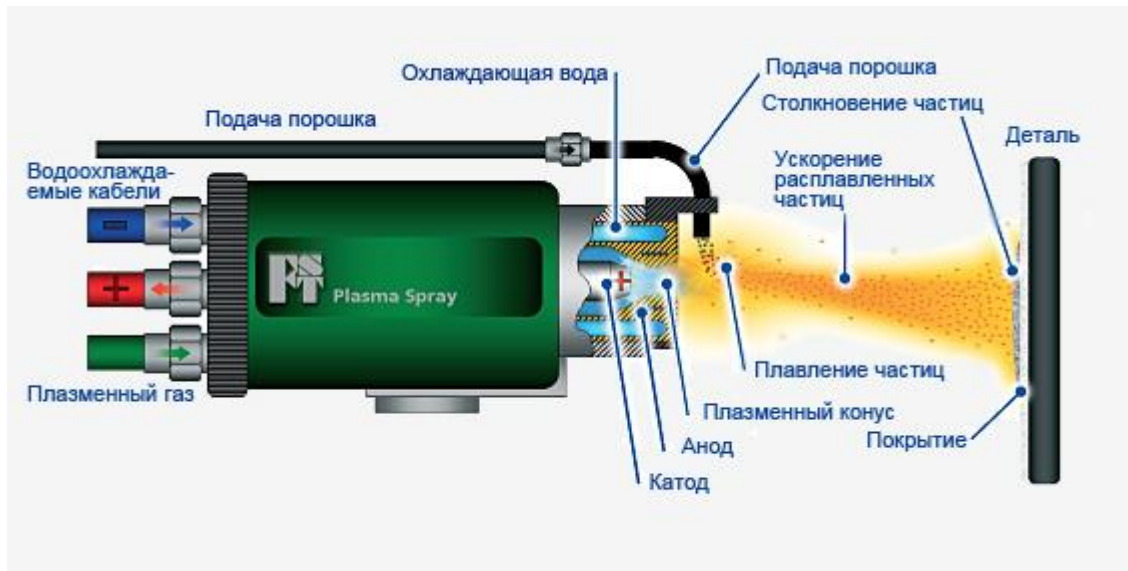


Рисунок 2.5 - Плазмове напилення

В даний час у промисловості для одержання плазми використовують два типи пальників: плазменно-дугові і плазменно-струминні. У плазменно-дуговому пальнику електрична дуга горить між анодом, яким є оброблюваний чи матеріал експериментальний зразок, і катодом, виготовленим з чи вольфраму вольфрамового сплаву, що містить приблизно 2 % торія. Дугу стабілізує закручений потік робочого газу, що минає із сопла пальника. У плазменно-струминному пальнику дуга утвориться між вольфрамовим катодом і анодом, яким є мідною, охолоджуваною водою сопло. Дуга нагріває до високої температури робочий газ, подаваний із закрученням у камеру пальника, що впливає із сопла у виді плазменного струменя. Подача робочого газу з інтенсивним закрученням у камеру пальника робить стабілізуючу дію на процес горіння дуги і підвищує її температуру [12].

Плазменні пальники дозволяють легко одержати плазменну струміль, середня температура якої на виході із сопла складає кілька тисяч градусів. Така температура є достатньою для розплавлювання будь-яких речовин, що існують у твердому виді. При напилюванні на поверхню деталі розплавлювання і термічна деформація основи небажані. Тому звичайно для

напилювання застосовують плазменно-струминні пальники (плазменні розпилювачі).

Напилювання плазменним струменем має наступні особливості. Висока температура плазменного струменя дозволяє порівняно просто робити напилювання тугоплавких матеріалів. Температуру струменя можна змінювати в широкому діапазоні, підбираючи діаметр сопла і режими роботи розпилювача. Це дозволяє робити напилювання різних матеріалів (металів, кераміки, органічних матеріалів). Гак як у якості робочий газ використовується інертний газ, у напиленому покритті утвориться порівняно небагато окислів. У разі потреби напилювання можна робити в ємності, заповненої інертним газом.

На рисунці 2.6 приведені результати вимірів розподілу температури в плазменній струменю, отриманій при силі струму 400 А та витраті аргону 10 л/хв.

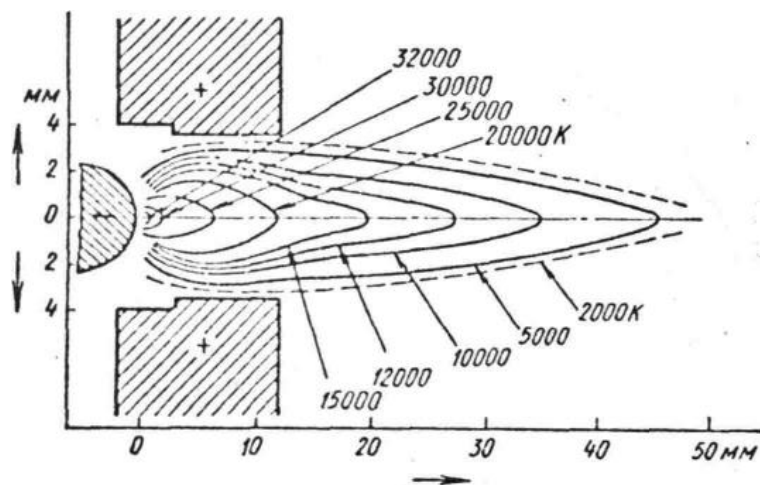


Рисунок 2.6 - Розподіл температури в плазмовому пальнику

У плазменному способі можна виділити двох груп його переваг.

До першої групи відносяться:

1) універсальність плазменного методу: ніяким іншим способом не можна нанести покриття з таких різних матеріалів, як метали, сплави, окисли, карбіди, нітриди, бориди, пластмаси і їхні різні комбінації. Великою

розмаїтістю відрізняються матеріали основи, на які можуть бути нанесені покриття: метали, кераміка, графіт, пластмаси і т.д.

2) легкість керування процесом одержання покриття енергетичні характеристики плазми можна змінювати в залежності від вимог технології в процесі одержання покриття.

3) можливість нанесення покриттів великі і малі поверхні, на виробі складної форми.

4) у процесі напилювання поверхня, що покривається, нагрівається до порівняно невеликих температур, що дозволяє зберегти особливості структури і властивості матеріалу основи.

До другої групи переваг відносяться наступні [13]:

1) у плазменних пальниках використовуються, як правило, гази, що не містять кисню, що зменшує окислювання напиленого матеріалу і матеріалу основи.

2) плазменна струміль має значно більш високу температуру. чим полум'я, що утвориться в результаті згоряння ацетилену.

3) плазменні покриття мають більш високу щільність і краще зчеплення з основою.

Властивості напиляних покриттів залежать не тільки від способу підготовка поверхні, типу напиляемого матеріалу, ступеня дисперсності його часток, але і багатьох інших факторів і особливо від режимів напилювання. У першому наближенні основні параметри процесу напилювання можуть, бути встановлені згідно даними таблиці 2.3.

Принципова схема дугової металізації показана на рисунці 2.7. Через два канали в пальнику безупинно подають два дроти (діаметром 1,5 - 3,2 мм), між кінцями яких збуджується дуга і проходить розплавлення дроту. Розплавлений метал підхоплюється струменем стиснутого повітря, що минає з центрального сопла електрометалізатору, і в дрібно-розплавленим виді переноситься на поверхню основного матеріалу. Розпилення і транспортування металу, що розплавляється, здійснюються звичайно

стиснутим повітрям, хоча при напилюванні корозійностійкого сталлю з алюмінієвими сплавами використовують азот. При дуговому напилюванні на постійному струмі процес протікає стабільно, забезпечуючи одержання шаруючі покриття здрібнозернистою структурою при високій продуктивності процесу.

Таблиця 2.3 - Режими плазмового напилювання порошковими матеріалами

Параметри напилювання	Значення параметрів для часток розміром, мкм		
	10-50	50-100	100-160
Тік 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
Витрата транспортуючого порошок газу, м/хв	4-6	6-8	6-8
Витрата порошку, г/хв	50-60	100-150	100-150
Відстань від деталі до анода плазмотрона,	60-80	100-300	100-200
Температура прогріву деталі, З	100-150	100-150	100-150

Тому в даний час для дугового напилювання застосовують джерела постійного електричного струму зі стабілізатором напруги джерела зі злегка зростаючою характеристикою.

Температура дуги залежить від виду транспортуючого газу, складу електродного дроту, режимів напилювання й інших параметрів. При використанні металевих електродів і силі струму дуги 280 А досягається температура приблизно 6100 ± 200 К. Під час дугової металізації, що протікає при такій температурі, легше утворюються краплі матеріалу, що напилюють.

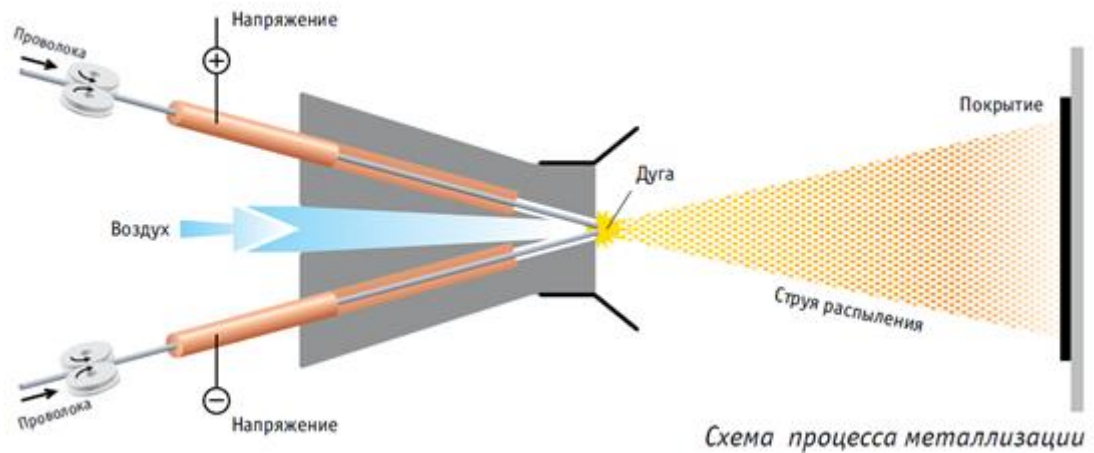


Рисунок 2.7 - Схема металізації

Дугова металізація має наступні переваги. Застосування могутніх електрометалізаційних установок дозволяє значно підвищити продуктивність процесу і скоротити витрати часу. Наприклад, при силі струму 750 А можна напиляти сталеве покриття з продуктивністю 36 кг/хв, а при силі струму 500 А-цинкове покриття з продуктивністю 1,2 кг/хв, що в кілька разів перевищує продуктивність газопламенного напилювання. У порівнянні з газопламенним напилюванням електрометалізація дозволяє одержувати більш міцні покриття, що краще з'єднуються з основою. При використанні як електроди дроту з двох різних металів можна одержати покриття з їхнього сплаву. Такого роду сплави називають псевдосплавами. Експлуатаційні витрати при електрометалізації невеликі.

До числа недоліків дугового напилювання відноситься:

- небезпека перегріву й окислювання напиленого матеріалу при малих швидкостях подачі дроту, що розпорошується.
- велика кількість теплоти, що виділяється при горінні дуги, приводить до значного вигорання легуючих елементів, що входять у напилюваний сплав (наприклад, зміст вуглецю в матеріалі покриття знижується на 40-60 %, а кремнію і марганцю на 10-15 %).

2.8 Обробка покриттів після нанесення

Механічна обробка напилених поверхонь (токарна, шліфівка, віброгалтування та інші) проводиться на попередньо відпрацьованих для кожного виду покриттів і конкретної деталі режимах на заводському обладнанні.

Усі застосовувані матеріали повинні відповідати ГОСТу та ТУ.

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

2. Після піскоструминної обробки контролювати поверхню на відсутність необроблених місць візуально. У разі виявлення ці місця підлягають повітряній піскоструминній обробці.

3. У процесі напилення контролювати режим напилення відповідно діючої виробничої інструкції.

4. Товщину покриття контролювати в процесі напилення спеціальним або універсальним інструментом.

5. Якість напиленого шару контролювати зовнішнім оглядом за еталоном на відсутність сколів, шпарин, крапель, пропусків запиленості поверхні.

6. У разі виявлення дефектів на напиленому шарі, виниклих у процесі напилення, при подальшій обробці або складанні допускається видалення дефектного шару з усієї деталі струйно-ерозійною обробкою та повторним напиленням покриття. Місцевий ремонт покриття не допускається.

Одним із визначальних показників якості являється міцність зчеплення і твердість [14].

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

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

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

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

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

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

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

Вимір твердості здійснюється на зразках, матеріалу для яких може бути будь-яка сталь, наприклад, Ст3. Зразки можуть використовуватись багаторазово, за умови відсутності, будь яких відхилень їхньої форми від вимоги креслень.

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

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

Слід зазначити, що число твердості по Бринелю залежить від прикладеного навантаження, тому ці величини необхідно вибирати відповідно до рекомендації ГОСТ 9012-59. Поверхню зразка варто підставити так, щоб діаметр зразка спостерігався контрастно. Товщина основи зразка повинна бути такою, щоб відбиток не викликав на зворотній стороні будь-якої помітної деформації. За число твердості приймати середнє арифметичне результату трьох вимірів.

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

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

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

Фінішна обробка зносостійких покриття, номенклатура й основні фізико-механічні властивості яких приведені в табл.1 у порівнянні з обробкою інших конструкційних матеріалів має свої особливості. Через високу твердість і зносостійкість покриття, шліфування їх звичайним

абразивним інструментом дуже утруднено. Застосування в цих випадках алмазного і ельборового інструмента дозволяє не тільки одержати краща якість оброблених поверхонь, але і підвищує продуктивність процесу шліфування при меншій витраті абразивного матеріалу [15].

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

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

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

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

2.9 Рекомендації по зниженню коефіцієнта тертя газотермічних покритть

Газотермічні покриття такі як ВК15 , ВК20, ПГ ХН80СРЗ і СНГН-60, поряд з високою зносостійкістю мають високий коефіцієнт тертя. Це обставина в ряді випадків обмежує застосування покритть вимагає додаткових технологічних заходів; спрямованих на поліпшення їхніх антифрикційних властивостей.

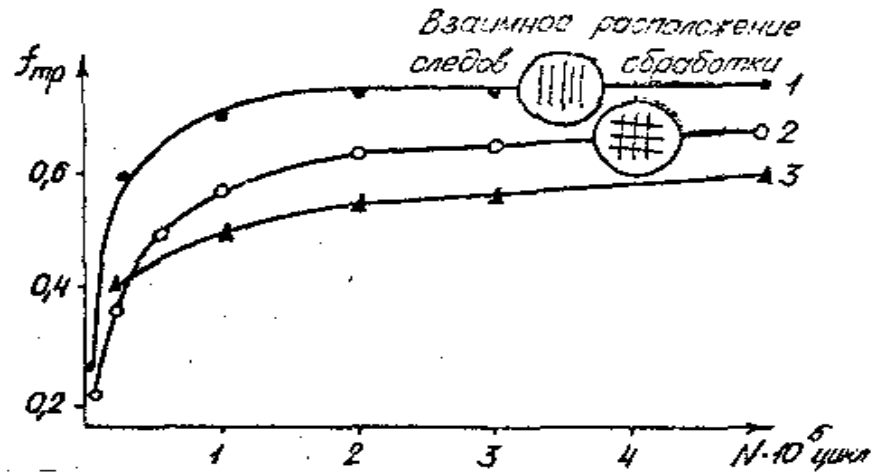
1. Коефіцієнт тертя газотермічних покритть можна зменшити, використовуючи наступні технологічні прийоми

- вибір оптимальної жорсткості поверхні і взаємного розташування слідів механічної обробки (шліфування);
- просочення поверхні покритть антифрикційними складами
- модифікація поверхні покритть нанесенням твердих змащень і осадженням м'яких металевих і полімерних плівок.

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

На рисунці 2.8 приведені результати які показують впливи мікро геометрії поверхні покриття ВК15 на коефіцієнт тертя ($f_{тр}$). Як видно, на прийнятій базі іспиту найбільш низький коефіцієнт тертя мають на не шліфовані поверхні ($Ra \sim 1.25-1.6$ мкм). Після алмазного шліфування

($R_a \sim 0,2$ мкм) величина ($f_{тр}$) збільшується на 30 - 40 %, при цьому для шліфованих поверхонь більш сприятливим є взаємне перпендикулярне розташування слідів обробки [16].



1 - шліфування поверхні ($R_a \sim 0,2$ мкм) при взаємо паралельному розташуванні штрихів обробки; 2 - шліфування поверхні ($R_a \sim 0,2$ мкм) при взаємо перпендикулярному розташуванні штрихів обробки; 3 - не шліфовані поверхні ($R_a \sim 1,25 - 1,6$ мкм). Умови випробування : $P=19.6$ МПа; $A=125$ мкм; $v=25$ Гц; $T=293$ К. Пари одноіменні.

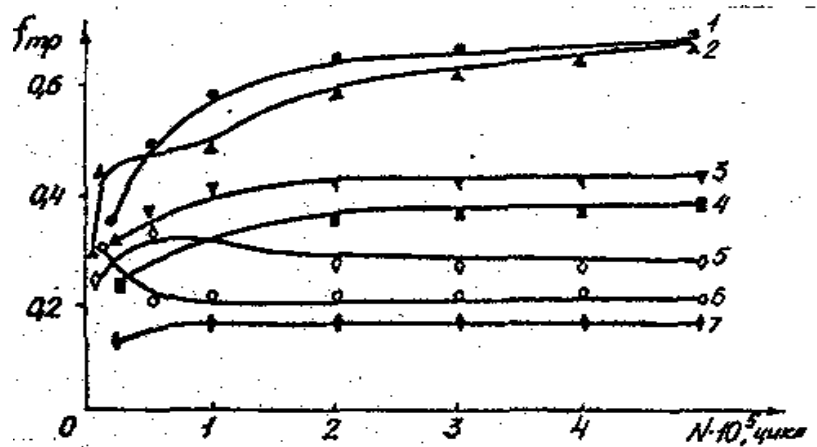
Рисунок 2.8 - Вплив мікрорельєфу поверхні на коефіцієнт тертя покриття ВК15

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

- підготовка суспензії антифрикційних компонентів у воді.
- просочення.
- сушіння.

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

4. У випадку покриттів, пористість яких менш 5 %, значного поліпшення антифрикційних властивостей можна досягти нанесенням на їхню поверхню твердих змащень, металічних і полімерних плівок, що володіють низьким опором зрушенню. Як прийом показано зміна коефіцієнта тертя покриття ВК20 після нанесення на поверхню зразків тонкого шару (~10 - 15 мкм) твердого змащення ЦВСП-ЗС (38 % С, 9,6 мас, лак ДО-215 ост) електролітичного срібла, міді до електрофоретичних покриттів на основі фторопласта (ЕФП) і дисульфиду молібдену.



1 – ВК20, 2 – ВК20 шліфоване + ЦВСП-ЗС, 3 – ВК20 + електролітичне срібнювання, 5 – ВК20 шліфоване + ВСП, 6 – ВК20 нешліфоване + ЦВСП-ЗС, 7 – ВК20 шліфоване + ЕФП. Умови випробувань : $P=19,6$ МПа; $F=125$ мкм; $v=25$ Гц; $T=293$ К.

Рисунок 2.9 - Залежність коефіцієнта тертя від кількості циклів вібронавантаження при терті в одноімених парах (1,2,5) та в парі з покриттям ВК20 шліфованим (3,4,6,7)

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

Таким чином, кожний з розглянутих технологічних прийомів дає можливість знизити коефіцієнт тертя газотермічних покриттів. Для покриттів пористість яких більш 5 %, можна рекомендувати просочення суспензіями фторопласта, дисульфиду чи молібдену графіту; для покриттів, пористість яких менше 5 %, при напилюванні їх у розмір без наступної обробки - змащення типу ЦВСП-ЗС. Для шліфування поверхні варто рекомендувати в порядку зменшення ефективності: електрофоретичне покриття ЭФП, електрофоретичне покриття, срібло, мідь, змащення ЦВСП-ЗС. При цьому варто враховувати вплив на коефіцієнт тертя жорсткості і взаємного розташування слідів обробки [17].

1. Після механічної обробки покриттів із застосуванням рідин робити промивання деталей у теплій непротічній воді для видалення.

2. Для повного видалення залишків після промивання в теплій непротічній воді промити деталі в холодній і теплій проточній воді.

3. Після промивання у воді деталі висушити обдуванням теплим чистим чи повітрям у сушильній шафі при температурі 100 – 110 градусів до повного видалення вологи.

4. Деталі з покриттями після промивання і сушіння піддаються візуальному контролю лупи 4-10 кратного збільшення, у процесі якого виявляються зовнішні дефекти: тріщини, спучування, відшарування, викрашування неприпустима пористість і інші несплошності.

5. У напиляних покриттях після фінішної обробки тріщини, спучування, відшарування не допускається чи не повинні перевищувати норм, установлених Генеральним конструктором виробу

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

Висновки до розділу 2

В роботі проаналізовано методи газотермічних напилень як провочних матеріалів так и порошкових. Представлено переваги та недоліки цих методів. Вибрано матеріали для досліджень на зносостійкість. Проаналізовано технологійні процеси відновлення газотермічних покриттів та види фінішної обробки.

РОЗДІЛ 3

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ПОКРИТЬ

2.1 Перспективне сучасне устаткування для нанесення зносостійких та антикорозійних покриттів

Бельгійська фірма General Metal Alloys INTL (GMA INTL) пропонує високоефективне устаткування для газотермічного нанесення корозіоностійких алюмінієвих, цинкових, алюмо-цинкових, а також пластикових покриттів на металоконструкції. Цей прогресивний технологічний процес забезпечує тривалий і надійний корозійний захист металовиробів при експлуатації в агресивних умовах.

Пропоноване устаткування являє собою останнє покоління установок для газопламенного чи електродугового напилювання [18]:

GMA Wire Gun 11G - установка дозвукової газопламенної металізації (дріт);

GMA ArcJet 450 - установка надзвуковий електродугової металізації (дріт);

GMA Powder Gun 5Gll (6Gll) - установки дозвукової газопламенної металізації (порошок);

GMA MicroJet HVOF - установка надзвуковий газопламенної металізації (порошок/дріт).

GMA INTL працює на світовому ринку більше 22 років і має більш 15 представництв у різних країнах. Завдяки своїм якості і цінам, устаткування GMA INTL витиснуло відповідне устаткування фірми Metko у багатьох компаніях, що займаються нанесенням покриттів. GMA INTL є постійним членом аерокосмічної корпорації Entereprises Wallonnes de l'Aeronantigue (EWA). Устаткування і технології GMA INTL допущені і використовуються для ремонту авіаційних двигунів ведучими світовими

виробниками (Rolls-Royce, SNEKMA, General Electric, Pratt&Wittney). Устаткування і технології GMA INTL використовуються для зміцнення і ремонту устаткування гумовотехнічних компаній (Dupon, Michelin), автомобільних компаній (Peugeot, Renault), насосостроительных фірм (Stork, Zunda), многопрофильных компаній Applimosa, Alstom і ін.

Пропоноване устаткування являє собою широкий спектр установок для газопламенного чи електродугового напилювання - від ремонтних установок газопламенного нанесення покриттів, до високопродуктивних промислових надзвукових HVOF-комплексів. Устаткування є винятково простим і надійною в експлуатації. Як робочі гази використовується стиснене повітря, кисень, ацетилен (пропан-бутан чи природний газ).

Напиляєми матеріали (метали і їх сплави - мідь, бронза, бабіти, цинк, алюміній, молібден, сталі й ін. метали; пластики; кераміка (на основі оксидів алюмінію, титана, хрому й ін.) і металокераміка; карбіди - вольфраму, хрому й ін. у відповідній матриці - кобальт, нікель і ін), поставляються як у виді порошків, так і дротів.

З використанням цього устаткування (зокрема, комплексу Micro Jet HVOF) можливо наносити винятково щільні покриття з низькою пористістю (-0.1 %), низьким змістом оксидів у напиляному шарі і винятково високими адгезіонними властивостями (80...83 МПа для WC/Co, більше 100 МПа для кераміки, більше 200 МПа для матеріалів на основі NiBSiCr заміна гальванічного хрому). У Таблиці зазначені деякі властивості покриттів.

При використанні устаткування можна наносити покриття на деталі будь-яких габаритів, незалежно від їхнього розміру і форми, на зовнішні і внутрішні (діаметром від 50 мм і довжиною до 1,5...2 м) поверхні. При цьому температура поверхні деталі, на яку наноситься покриття, не перевищує 150 °С, що виключає термічних повідців. Покриття наносяться, як з використанням звичайного верстатного парка (чи, при необхідності, спеціальних роботів-маніпуляторів), так і ручним способом з будь-яких просторових положень [19].

Пропонується ряд технологій, від "звичайних" - для нанесення будь-якого виду покриття на зовнішні поверхні, до "оригінальних" - для нанесення бабітових покриттів на внутрішні поверхні сталевих чи чавунних втулок і труб і ін.

Устаткування може бути використане для нанесення покриттів з аустенитних чи сталей кераміки для надання поверхням високої корозійної стійкості; з нержавіючих сталей для захисту зварених швів у з'єднаннях; з молібдену для надання високої твердості, зменшення коефіцієнта тертя, усунення можливості налипання металу; з карбідів для створення високотвердого ударопрочного покриття; із бронз, латуней, бабітів на внутрішні поверхні втулок і вкладишів; тонкі антизадирні покриття з міді на поверхні різьблень і т.п.

Пропонованим устаткуванням можна виправляти дефекти чавунного і кольорового лиття, наносити антикорозійні покриття (з 30...50 рітньою гарантією) на основі Al, Zn чи Zn 185/15, різних пластиків і ін., замінити досить дорогу екологічно небезпечну і малопродуктивну технологію гальванічного хромування (заборонену в багатьох країнах Європи й Америки) на ефективну технологію нанесення абсолютно беспористих зносостійких покриттів товщиною до 0,2...1 мм і твердістю до 75 HRC.

Спектр деталей, на які може бути нанесені покриття за допомогою устаткування GMA INTL дуже великий. Це й опорні шейки навантажених валів і роторів (робота при оборотах 12000 про/хв і більш), лопатки турбін, чепцеві й другіе втулки, штоки циліндрів, моторів, пресів і іншого гідравлічного устаткування, робочі колеса насосів, шибєрні засувки, бабітові і бронзові втулки і вкладиші, посадкові місця під втулки і підшипники, поверхні шнеків і валів різного призначення й ін. Это і різні корпусні деталі, поверхні нефте- і бензосховищ, газгольдерів, трубопроводів, великогабаритних будівельних профілів, сталевих аркушів, заставної арматури, зварених і збірних будівельних конструкцій мостів, димарів,

резервуарів, гідротехнічних споруджень, палубного устаткування, пристаней, понтонів, шлюзів, доків, затворів гідроелектростанцій.

Таблиця 3.1 - Матеріал для напилення газотермічних покриттів

Марка дроту	Коротка характеристика	Застосування
1	2	3
Неіржавіюча сталь М2	Хромова сталь, обробляється шліфівкою, HRc=42-48	Хромово неіржавіюча сталь застосовується в тих випадках, коли необхідні тверді зносостійкі покриття з прекрасними експлуатаційними характеристиками. Використовується як корозійностійке покриття, замінюючі хромування, для плунжерів, поршнів гідроциліндрів, що направляють, валів і ін. елементів машин.
Неіржавіюча сталь М5	Неіржавіюча сталь, що містить 18 % хрому. HRb=95	Зносостійка аустенітна неіржавіюча сталь, що піддається гарту, має мале значення усадки. Твердість вище, ніж у Сталь М1 при такій же корозійностійкості. Може наноситися на внутрішні діаметри, у випадках, коли критична величина усадки, що приводить до збільшення внутрішніх напруг, зменшення адгезії і появи тріщин.
Сталь 100	високовуглецева сталь	Зміст вуглецю – 1 %. Підходить для дуже твердих покриттів.
Сталь 80	високовуглецева сталь, обробляється шліфівкою, HRc=42-48	високовуглецевий (зміст вуглецю – 0,8 %) сталевий дріт з незначною усадкою розроблений для нанесення твердих зносостійких покриттів на шийки коленвалів і кулачки распредвалів.
Сталь LS	Сталь із змістом 2 % марганцю	Висока стійкість до утворення тріщин. Відсутність обмежень по товщині покриття. Твердість збільшується в процесі експлуатації.
Молибден	99,9 % молибдену, обробляється шліфівкою, HRc=44-45	Часто використовується як зв'язуючий підшар між поверхнею деталі і покриттям. Будучи тугоплавким і чистим матеріалом, забезпечує міцність зчеплення. Достатня товщина шару 35-40 мкм. Володіючи низьким коефіцієнтом тертя і високою твердістю, використовується як основне покриття для поршневих кілець, деталей муфт, кілець синхронізаторів і інші.
Алюмінієва бронза	Бронза з 9 % алюмінію, HRb=82	Зносостійке і корозійностійке в морській воді покриття. Володіє низькою усадкою. Використовується в кораблебудуванні, конструкціях двигунів і машин.
Сплав нікелю з алюмінієм	Твердість HRc=20-25	Унікальний дріт із сплаву нікелю і алюмінію. Володіє хорошою стійкістю до високотемпературного окислення і термоудару. Використовується як прекрасний самозв'язуючий підшарувуй і як покриття.

1	2	3
Олов'яниста бронза		Як і вище, хороша якість поверхні, обмежена корозійна стійкість, наприклад, для насосів, валів відцентрових насосів.
Фосфорна бронза	Добре обробляється точінням	Використовується для відновлення деталей з фосфорної бронзи.
Бабіт на основі олова		Підходить для підшипників, сигментних кілець і вкладишів підшипників, витримує високі динамічні і статичні навантаження, високі пускові характеристики. Володіє прекрасними експлуатаційними характеристиками.
Свинцевий бабіт		Застосовується в тих же випадках, що Бабіт на основі олова, але для менш відповідальних деталей, виготовлених з меншою точністю і з великими допусками.
Мідь	Твердість HRb=37-40	Застосовується для електропровідних покриттів, а також для покриттів валів і циліндрів.
Нікель	99.9 % нікелю, HRb=58	Застосовується для високоякісного захисту поверхні.
Сплав олова з цинком		Використовується для отримання струмопровідних поверхонь з хорошими властивостями для паяння, а також при підготовці форм для лиття при низькому тиску.
Цинк	99.9 % цинку	Довговічне антикорозійне покриття з практично необмеженим вживанням.
Сплав цинку з алюмінієм	85 % Zn/15% Al	
Алюміній	99,9 % алюмінію	Застосовується для захисту конструкції від корозії в умові промислових викидів. Жаростійке покриття. Застосовується при великих дефектах.
Бронза		Покриття використовується для заміни цільних бронзових деталей машин і механізмів, у тому числі бронзових втулок і ін.
Титан		Прекрасне зносостійкі покриття з титана (при напиленні у вакуумі) або нітриду титана.
Монель	нікелево-мідний сплав	Використовується для нанесення корозійно-стійких і спеціальних покриттів
Шнури для напилення	Склад NiCrBFeSi+WC в різних співвідношеннях	Процес нанесення покриття може бути як «холодним», так і «гарячим». Одержувана чистота поверхні – 10-17 Ra, твердість до 60HRc.

3.2 Використання зносостійких та корозійностійких покриттів

Одним із самих головних недоліків технології гальванічного хромування є висока екологічна небезпека процесу. Не дивно, що вимоги законодавств по охороні навколишнього середовища багатьох країн Європи й Америки звели до закриття підприємств, що займаються гальванічним

хромуванням. Це дало додатковий поштовх до розвитку нових альтернативних технологій зміцнення поверхонь деталей, зокрема, технологій покриття, а в зв'язку з цим - і сучасної високопродуктивної техніки для їхнього нанесення.

Бельгійська фірма GMA INTL у країнах СНГ, пропонує промисловий комплекс Micro Jet HVOF (High Velocity Oxy Fuel) розробки GMA INTL, призначений для надзвукового нанесення зносостійких, антифрикційних, антикорозійних, упрочнюючих і ін. покриття. Комплекс відноситься до систем напилювання останнього покоління технічно й економічно забезпечує альтернативу гальванічному хромуванню.

Досвід роботи іноземних фірм, що використовують у своїх виробництвах зазначений комплекс, таких, наприклад, як Rolls Royce, SNEKMA, General Electric, Pratt&Wittney (авіаційна промисловість); Dupon, Michelin (гумовотехнічна промисловість), Peugeot, Renault (автомобільна промисловість); Stork, Zunda (насосостроение); Peugeot, Alstom (многопрофильные фірми) і ін, дозволяє запропонувати наступні сплави як заміну гальванічного хрому [20]:

FeCrMo - залізо-хромо-молібденовий сплав. Покриття з цього сплаву має високу стійкість до зносу і корозії до температури 650 °С. Унаслідок наявності в його складі молібдену, коефіцієнт сухого тертя значно нижче, ніж у чистого хрому. Однак таке покриття небагато уступає гальванічному хрому по твердості і зносостійкості;

NiBCrSi - нікель-бор-хромій-кремніий самофлюсуючийся сплав. Винятково щільне покриття з цього сплаву має дуже високу адгезію (понад 200 МПа), прекрасною корозійною стійкістю, у тому числі в кислотних середовищах. По твердості і зносостійкості - рівнозначно покриттю гальванічним хромом;

WCCo17 - твердий сплав на основі карбіду вольфраму - ВК17. Винятково тверде і щільне покриття, що володіє високою опірністю до

ударного навантаженням. Твердість такого покриття в порівнянні з покриттям гальванічним хромом у 1,5 рази вище, а зносостійкість - у 2 рази;

WCCoCr4 - твердий сплав на основі карбіду вольфраму ВК10 з додаванням 4 % хрому. Дуже тверде покриття, що володіє високою корозійною стійкістю і надзвичайно високою опірністю абразивному зносу і зносу від тертя. Широко використовується в умовах впливу морської води. Як і у ВК17, твердість покриття перевищує твердість гальванічного хрому в 1,5 рази, а зносостійкість - у 2 рази.



Рисунок 3.1 - Графік мікротвердості покриттів

Відзначимо, що всі ці покриття практично абсолютно беспористые (однак, при необхідності можна створювати покриття з заданої мікропористості - для поліпшення умов змащення). Товщину покриття можна варіювати в досить широких межах - від 25 мкм до 1 мм і більш, у залежності від умов експлуатації виробу. Твердість покриття по шкалі HRC досягає 75 од. Немаловажним фактором при цьому є висока продуктивність комплексу Micro Jet HVOF- до 5 кг/година (приміром, при товщині покриття

в 25 мкм за 1 годину покривається площа в 10...15 м²). Процес нанесення покриття є «холодним» (температура поверхні виробу не перевищує 150 °С), що виключає термічних повідців виробу.



Рисунок 3.2 - Графік зміни лінійного зносу покриттів

Крім зазначених вище достоїнств, пропонована технологія нанесення покриття володіє ще цілим поруч переваг у порівнянні з гальванічним хромуванням:

- відпадає необхідність у гальванічних ваннах;
- немає токсичних відходів;
- не використовуються розчини кислот, тому немає виділень водню, здатного привести до утворення вибухонебезпечних сумішей;
- оскільки не використовуються кислоти, що покривається деталь не руйнується і її міцність не зменшується;
- немає необхідності в застосуванні дорогого водоочистного устаткування;
- немає обмежень на розміри деталей, що покриваються;

- щільність покриттів вище;
- значне зниження (у кілька разів) числа технологічних операцій.

3.3 Особливості процесів напилення алюмінієвих та цинкових покриттів

Ефект від напиляного покриття досягається за рахунок використання процесу катодного захисту металу від корозії, для чого на поверхню виробу, що захищається, наноситься покриття з матеріалу, що має більш електронегативний електродний потенціал. У цьому випадку покриття, виконуючи функцію анода, "жертвує" собою на користь катода (стали), піддаючи окислюванню з утворенням щільних і міцних, погано розчинних продуктів, що заповнюють можливу пористість у покритті. У результаті воно стає непроникним для вологи, а доступ кисню до основного металу цілком припиняється, що забезпечує надійний захист металу від корозії [21].

У випадку механічного порушення покриття спрацьовує ефект самозаживлення, аналогічний процесу заповнення пір, і дефектне місце в покритті "зарубцьовується". При окислюванні алюмінієвого покриття утвориться інертний оксид алюмінію, після утворення якого подальше окислювання швидко припиняється [22].

У середовищі, забрудненої промисловими відходами, швидкість корозії алюмінієвого покриття, встановлена в середньому за шестирічний період, складає 2-5 мкм у рік (протягом шостого року експлуатації швидкість корозії складає 25 % від першого року). Для порівняння - низковуглецева сталь кородірує зі швидкістю 200-250 мкм у рік, і швидкість поширення корозії в основному постійна і не залежить від часу її протікання. Швидкість корозії цинкового покриття в атмосфері промислових об'єктів складає близько 15 мкм у рік. Причина низької швидкості корозії - утворення основного хлориду цинку і карбонатних продуктів корозії, що сповільнюють її винятково високу корозійну стійкість забезпечують алюмінієво-цинкові

покриття, позитивний ефект яких порозумівається швидким заповненням пір у нанесеному покритті щільним шаром продуктів корозії й алюмінію, і цинку. Обсяг продуктів корозії значно перевершує обсяг металів, з яких вони утворилися. Контакт алюмінію з цинком безпечний, тому що електродний потенціал цинку в більшості електролітів від'ємного потенціалу алюмінію, і, отже, цинк, розчиняючи, електрохімічно захищає алюміній.

Особливості напилення:

- можливість нанесення покриття на деталі будь-яких габаритів і складної конфігурації;

- відсутність короблення і погіршення властивостей основного металу через виникнення водневої крихкості внаслідок обробки травителем (травлення, як спосіб підготовки поверхні, при газотермічному напилюванні не потрібно);

- підвищені характеристики усталостної міцності за рахунок створення стискаючих залишкових напружень, що утворюються в поверхневому шарі після попередньої операції - абразивно-струминної обробки;

- шорсткість поверхні напиляемого металу збільшує тертя в болтових з'єднаннях і, таким чином, знижує імовірність утворення фреттинг-корозії;

- мікропористість напиляного покриття сприяє збереженню в порах продуктів корозії і, тим самим, значно сповільнює корозійний процес (у порівнянні з процесом гарячого цинкування, де відсутня пористість);

- можливість одержання покриттів значно більшої товщини, чим при гарячому зануренні в чи розплав при термодиффузійному методі (наприклад, при гарячому цинкуванні максимальна товщина покриття - 50-60 мкм, при термодиффузійному методі - 12-50 мкм);

- одержувані покриття, унаслідок своєї шорсткості і пористості є високоякісною основою для антикорозійних змащень, мастик, лакофарбових, полімерних і інших матеріалів;

- забезпечення гарного зчеплення з бетоном у різних заставних елементах;

- можливість забезпечення додаткового захисту зон зварювання оброблених виробів безпосередньо на місці монтажу конструкцій;
- відносна простота процесу, що не вимагає підвищеної кваліфікації обслуговуючого персоналу (на відміну від катодного захисту з використанням зовнішнього джерела напруги, де застосовуються складні станції катодного захисту і необхідний періодичний вимір потенціалу);
- невелика кількість технологічних операцій - попереднє очищення поверхні будь-яким відомим методом, абразивно-струминна обробка і безпосередньо нанесення покриття, при цьому устаткування може використовуватися як у ручному режимі, так і разом з маніпулятором;
- екологічна чистота процесу в зв'язку з відсутністю відходів виробництва;
- вимоги безпеки процесу не накладають істотних обмежень на його широке застосування і визначаються використанням газопламенних і електродугових джерел нагрівання.

Розроблено технологію відновлення каландрових і ламінуючих валів різного призначення. До складу робіт входять наступні операції: вхідний контроль; видалення старого покриття; підготовка під нанесення покриття; нанесення нового покриття; фінішна обробка відповідно до технічних вимог і кресленню (з чистотою фінішної обробки до Ra 0,04).

Покриття наноситься високошвидкісним методом напилювання (HVOF). Даний спосіб дозволяє наносити на вали покриття, що володіють високою зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, корозійною стійкістю (у тому числі й в агресивних середовищах). При цьому покриття характеризуються дуже високої адгезією (більш 8 кг/мм²) і щільністю (щільність покриття не уступає щільності литого металу). Твердість покриття визначається наносимим матеріалом і може бути забезпечена до 74 HRC.

У процесі нанесення покриття оброблюваний виріб нагрівається до температури не більш 120-180 градусів, що дозволяє практично цілком уникнути термічних деформацій і хіміко-термічного впливу на деталь.

Висока міцність зчеплення і мінімальна пористість, одержувані при використанні даного методу, дозволили успішно відновлювати зношені робочі поверхні каландрових і ламінуючих валів, плунжерів, штоків, що вимагають високого класу чистоти поверхні при остаточній обробці.

Ресурс роботи виробів з даними покриттями збільшується в кілька разів.

Унікальні технології по нанесенню покриттів і висококваліфікований персонал дозволяють забезпечити ефективне використання покриттів у таких галузях промисловості, як металургійна, нафтогазова (видобувна і переробна), оборонна (авіаційних, суднобудівна, озброєнь), енергомашиностроительная (атомні і теплові електростанції), у транспортному машинобудуванні, у хімічному, поліграфічному, текстильній і цілому ряді інших галузей промисловості.

Захисні покриття наносяться трьома основними методами газотермічного напилювання [24]:

- Високошвидкісне HVOF газотермічне напилювання
- Плазменне напилювання
- Газопламенне напилювання (дротове)

Метод високошвидкісного напилювання має дуже високу швидкість робочого струменя (від 7 до 8 швидкостей звуку), що забезпечує велику кінетичну енергію часток напилюваного матеріалу. Покриття, нанесені цим методом характеризуються надвисокою щільністю (більш 99 %) і адгезією більш 80 МПа. Товщина покриттів може бути забезпечена від 0,05 до 1 мм. Більш товсті покриття технологічно можуть бути отримані, але вони економічно недоцільні. Температура струменя складає близько 1800 °С. Температура оброблюваної деталі в процесі напилювання не перевищує 120 - 180 °С. Даний метод дозволяє одержувати високоякісні покриття практично з усіх металів, карбідів і металокераміки (з яких можливо виготовити порошок). Найбільш затребуваними на сучасний момент є зносостійкі

покриття з карбіду вольфраму (твердість покриття 72-74 HRC) і корозійно-стійкі хромо-нікелеві покриття [25].

Метод плазменного напилювання відрізняється високою температурою струменя. Пористість покриття складає від 2 до 15 %, а адгезія близько 25 - 50 МПа. Даний метод використовується, як правило, для нанесення керамічних покриттів (антифрикційних, теплозахисних і ін.).

Метод газопламенного напилювання дозволяє наносити покриття з дроту з будь-яких металів. Пористість покриття складає 3 – 20 %, а адгезія близько 15 - 45 МПа.

Товщина покриттів може бути забезпечена від 0,5 до 20 мм

Номенклатура оброблюваних деталей і агрегатів:

- штоки поршневих компресорів (покриття з карбіду вольфраму й ін.)
- плунжера насосів (покриття з карбіду вольфраму й ін.)
- каландрові й інші вали (покриття з карбіду вольфраму й ін.)
- корпуса електродвигунів і нафтових заглибних насосів (хромонікелеві покриття)
- тверді підшипники ковзання (покриття з карбіду вольфраму й оксиду алюмінію)
- м'які підшипники ковзання (покриття з бабітів)
- жаростійкі покриття
- інші високоякісні покриття

Висновки до розділу 3

В роботі розглянуті властивості деяких покриттів та зроблено відповідний аналіз по вибору випробуванних покриттів.

FeCrMo - залізо-хромо-молібденовий сплав. Покриття з цього сплаву має високу стійкість до зносу і корозії до температури 650 °С. Унаслідок наявності в його складі молібдену, коефіцієнт сухого тертя значно нижче, ніж у чистого хрому. Однак таке покриття небагато уступає гальванічному хрому по твердості і зносостійкості.

NiBCrSi - нікель-бор-хромій-кремніий самофлюсуючийся сплав. Винятково щільне покриття з цього сплаву має дуже високу адгезію (понад 200 МПа), прекрасною корозійною стійкістю, у тому числі в кислотних середовищах. По твердості і зносостійкості - рівнозначно покриттю гальванічним хромом.

WCCo17 - твердий сплав на основі карбіду вольфраму - ВК17. Винятково тверде і щільне покриття, що володіє високою опірністю до ударного навантаженням. Твердість такого покриття в порівнянні з покриттям гальванічним хромом у 1,5 рази вище, а зносостійкість - у 2 рази.

WCCoCr4 - твердий сплав на основі карбіду вольфраму ВК10 з додаванням 4 % хрому. Дуже тверде покриття, що володіє високою корозійною стійкістю і надзвичайно високою опірністю абразивному зносу і зносу від тертя. Широко використовується в умовах впливу морської води. Як і у ВК-17, твердість покриття перевищує твердість гальванічного хрому в 1,5 рази, а зносостійкість - у 2 рази.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів на ділянці відновлення деталей

У відповідності з ГОСТ 12.0.033-74. На ділянці відновлення деталей ГТД детонаційним покриттям, наплавкою та легуванням слід відмітити такі небезпечні та шкідливі фактори:

- ❖ Підвищений рівень шуму на робочому місці (при пострілах 125 дБ), що перевищує допустиме для організму значення (80-85 дБ);
- ❖ Підвищений рівень електромагнітного імпульсу (в ультрафіолетовому, інфрачервоному і ВЧ діапазоні);
- ❖ Підвищена іонізація повітря (в робочій зоні електроду при наплавці);
- ❖ Підвищена запилюваність і загазованість повітря робочої зони (продукти детонації у вигляді аерозолей);
- ❖ Підвищене значення напруги у електромережі, замикання якої може відбутися через тіло людини (380 В);
- ❖ Підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів і повітря робочої зони (2700-3700 °С).

4.2 Організаційні технічні заходи по виключенню або зменшенню рівня небезпечних і шкідливих факторів на ділянці відновлення деталей

З метою зменшення впливу на людину діючого шуму, необхідно керувати детонаційною установкою дистанційно, відокремлюючи пульт управління від технічного приміщення оглядовим вікном. Стіни з одного шару звичайної будівельної цегли дають змогу знизити рівень шуму у пульта (на робочому місці операторів) до (114-117) дБ в імпульсі.

В цих умовах доцільно використовувати навушники-антифони ПН-2К і ВЦ НУЮТ-2, за допомогою яких вдасться довести рівень шуму до 78-80 дБ і проводити роботи без небезпеки для організму протягом тривалого часу.

Якщо помістити установку для детонаційного наплення в бетонний бункер, де товщина стін 0,9 м, можна знизити шум на робочому місці до норми і працювати без навушників-антифонів протягом тривалого часу.

Рекомендується тонку стіну боксу обладнати звуконепроникними плитами. Таким чином, 1-ша вимога до приміщення, де розміщено детонаційну установку, - відокремлення звуконепроникною перегородкою робочого місця оператора від технологічної кімнати (боксу), де безпосередньо проводиться наплення.

Корпуси електродвигуна і маніпулятора мають заземлення. Проводку до обладнання прокладено в тунелях. У боксі рекомендується застосовувати світильники ВЦА-20 або НОБ-200, а електромагнітні клапани, кабельні коробки та інші прибори, встановлені в боксі, необхідно виконати вибухобезпечно. Для інструктажів з техніки безпеки на території обладнано спеціальний кабінет з необхідними наочними посібниками.

Будівля дільниці ремонту – одноповерхова прямокутної форми. Від підлоги до перекриття $H = 7$ м. Цю висоту вибрано з урахуванням габаритів обладнання та транспортних засобів. Підлога у виробничому приміщенні бетонована. Цим забезпечується мала теплопровідність і пожежна безпека. Облицювання стін, стель пофарбоване у світлі кольори із застосуванням цинкових або титанових білил, поглинаючих центрофіолетові проміні.

Велике значення має попередження небезпеки отруєння оператора газами – продуктами згорання або детонації (окиси вуглецю, азоту) та мілкодисперсними порошками.

У випадку наплення матеріалів ВК 15, ВК 20 (дискретність 45 мкм) безпосередньо після пострілу концентрація часток у повітрі становить 18 мг/м^3 , що у 4 рази перевищує ПДК для цього матеріалу (4 мг/м^3). Вміст окислів азоту в боксі становив $0,16\text{-}0,4 \text{ мг/м}^3$ безпосередньо після пострілу і

швидко зменшувався. ПДК для окислів азоту у боксі 5 мг/м³. Концентрація окису вуглецю після пострілу становила 68,5 мг/м³, що більше як у 3 рази перевищує ПДК (20 мг/м³). При вимірюванні запылюваності повітря використали детонаційну установку, що виконує 1 постріл в секунду. У виробничих умовах усі ці значення будуть у 3 рази більші. Отже, необхідно забезпечити виробничу вентиляцію приміщення або дозволити вхід оператора в бокс лише в респіраторі.

Якщо джерелом чадного газу є лише зріз ствола, то завислий у повітрі порошок генерується, і в місці викиду його зі ствола (за рахунок повного використання порошку на формування покриття) і в місці розташування живлення та вводу порошку в ствол – над обома цілими точками необхідно встановлювати витяжні зонти. Причому, зонти над зрізом ствола повинен проводити повітреобмін і над напилюваними виробами.

Рекомендується також приміщення для детонаційного напилення (боксу) обладнати системою аварійної вентиляції, продуктивність якої на 0,15 більше продуктивності діючої вентиляційної системи. Аварійна система повинна автоматично вмикатися, якщо концентрація горючих газів перевищила 50 % гранично допустимої. При цьому блокування повинне повністю відімкнути установку для напилення.

Інші необхідні блокування повинні відімкнути детонаційну установку, якщо припинилась подача води на охолодження ствола, перегрілись системи захисту від зворотних ударів (буфер вогнеперепинювача), не спрацював один з клапанів подачі газу, не генерується іскра в системі запалювання, відкриті двері, відокремлюючи бокс від пультового приміщення.

4.3 Розрахунок механічної вентиляції на ділянці відновлення деталей

Система вентиляції на ділянці відновлення лопаток ГТД включає в себе: місцеві всмоктувачі, вентилятор, повітревід, пристосування для очищення повітря.

Визначаємо необхідну продуктивність витяжної вентиляції.

Повітряний обмін через витяжну камеру в м³/год визначаємо, враховуючи швидкість підсмоктування повітря через відкриті робочі отвори:

$$Q_{\text{пов}} = F \cdot V \cdot 3600, \text{ де} \quad (4.1)$$

де F – площа робочого отвору, м²

V – швидкість підсмоктування повітря, м/с.

При виборі швидкості підсмоктування враховуємо характер і температуру шкідливих виділень.

Приймаємо $V = 4$ м/с. Тоді при величині робочого отвору $F = 1,2$ м² одержимо $Q_{\text{пов}} = 12 \cdot 4 \cdot 3600 = 17280$ м³/год = 4,8 м³/с.

Вибираємо за каталогом потрібні продуктивності відцентровий вентилятор УУ-70N5. Користуючись графіками, визначаємо характеристику вентилятора.

При $Q_{\text{в}} = 4,8$ м³/с одержимо, що напір вентилятора $H_{\text{в}} = 920$ Па, коефіцієнт корисної дії (ККД) $\eta_{\text{в}} = 0,64$.

Вентилятор відповідає вимогам вибухобезпеки.

Визначимо потужність приводного електродвигуна:

$$N_e = \frac{Q_v \cdot H_v \cdot K}{1000 \cdot \eta_v \cdot \eta_n}, \text{ де} \quad (4.2)$$

де K – коефіцієнт запасу рівний 1,05-1,5;

η_n – ККД передачі (для клиноремінної), рівний 0,9.

$$N_e = \frac{4,8 \cdot 920 \cdot 1,5}{1000 \cdot 0,64 \cdot 0,9} = 11,5 \text{ кВт}.$$

Вибираємо за каталогом електродвигун типу ВНСВ10, згідно з умовами роботи на ділянці:

частота обертання $n = 380$ об/хв.

потужність $N_e = 10$ кВт

напруга $U_n = 380$ В.

4.4 Забезпечення пожежної та вибухової безпеки на ділянці відновлення деталей

Оскільки детонаційна установка знаходиться в боксі, можна виконати ряд заходів по забезпеченню вибухобезпечності. Згідно ГОСТ 12.1.004-91. Серед них: захист оператора від осколків внаслідок випадкового вибуху (для цього скло в амбразурі повинно бути виконане з литого блоку оргскла товщиною не менше 20 мм); організація інтенсивної вентиляції в боксі для наплення; розділення електричних керуючих і газових ротаметрів (останні можуть бути розміщені на газорозподільчому пульті у боксі перед відсіком). Останні заходи дають змогу зробити пультове приміщення абсолютно безпечним що до вибуху, що спрощує його обладнання і вимоги до електроприладів.

Всі зовнішні та внутрішні трубопроводи фарбують у відповідні кольори (білий для ацетилену, голубий для кисню, чорний для азотних магістралей).

Магістралі подачі газів класифікуються як газопроводи середнього тиску і можуть бути виготовлені зі сталевих труб, причому внутрішній діаметр у ацетиленовому проводі не повинен перевищувати 15 мм для запобігання детонаційного розпаду ацетилену. Товщина стінок трубопроводу повинна бути не менше 3,5 мм для ацетилену і 2,5 мм для кисню. У різьбових з'єднаннях кисневопроводу забороняється застосовувати підмотку із льону, пеньки та ін. У фланцевих і штуцерних з'єднаннях кисневопроводів для підкладок з органічних речовин (картон, резина) слід використовувати азбестовий картон.

Всі трубопроводи можуть бути пропаяні по відсіках, відкрито на висоті не менше 2,5 м і повинні бути надійно заземлені поля і все обладнання для детонаційного наплення, що знаходиться під напругою. Готові газопроводи

слід продути й обезжирити перед першим пуском. Важливо також, що в лінії подачі ацетилену повинен бути встановлений водяний затвор середнього тиску. Міцне встановлення затвору – в приміщенні між газорозподільним пристроєм і газоприводом, ведучим до газової рамки.

Приміщення, де відбувається детонаційне напilenня, потрібно обладнати протипожежним інвентарем.

Бокс для напilenня звичайно відносять до категорії вибухонебезпечних приміщень і обладнують відповідно з вимогами.

В цілому процес детонаційного напilenня віднесено до категорії А за ступенем пожежної безпеки. Сама установка для напilenня відноситься до класу В, оскільки утворення вибухонебезпечних сумішей в них можливе лише внаслідок аварії або неполадок. Приміщення, відокремлені від боксу з установкою двома стінами, дверима, що утворюють тамбур або коридор, не є вибухонебезпечними.

У боксі передбачається встановлювати сигналізацію типу СГР-2-ВЧБ або СВК-3-МІ для визначення і автоматичної сигналізації у повітрі вибухонебезпечної концентрації горючих газів. Паління категорично заборонено.

У зв'язку з вибухонебезпечністю бажано розмістити установку в окремому будинку з легкоз'ємним дахом або одною із стін боксу. Розміщення установки у підвальному приміщенні недопустимо. Бажано, щоб проміжок до найближчого виробничого приміщення був не менше 20 м.

Газові рампи для кисню і ацетилену повинні бути: розташовані зовні будинку на різних (краще протилежних) стінах; старанно закриватися для попередження впливу на них випадкових факторів (вітер і т.д.), пофарбовані у зазначені кольори; забезпечені попереджувальними написами.

4.5 Основні правила техніки безпеки при газотермічному напиленні

1. До роботи на детонаційного напилення покриттів допускаються особи, що досягли 18 років, пройшли підготовку, склали іспити з професії і після проходження інструктажу на робочому місці. Всі робітники повинні проходити періодичний медогляд.

2. При проведенні напилення необхідно виконувати ДНА ОП 0.03-1.32-85.

3. Робоче приміщення повинно бути обладнане протипожежним інвентарем: вогнегасником марки ОУ-2 і ОУ-8, буграми і піском; азбестовим порошком.

4. Прибирання виробничих і побутових приміщень повинно виконуватися щоденно вологим способом, після закінчення кожної зміни відповідно з інструкцією з санітарного стану приміщень.

5. Монтаж крупногабаритних і важких деталей (масою понад 16 кг) і демонтаж повинні відбуватися за допомогою підйомних пристосувань.

6. Робоче місце повинно бути чистим і утримуватися в порядку.

7. Порошки для напилення повинні зберігатися в тарі з герметичною кришкою на спеціально обладнаних стелажах.

8. Всі роботи з пожежної охорони проводяться відповідно з НПОГА-85.

9. Обовязки працівника на робочому місці.

Перед початком роботи:

- перевірити надійність заземлення установки і якість монтажу всього обладнання зовнішнім оглядом;

- перевірити підготовку установки і функціональних пристроїв до пуску тільки при вимкненому силовому електроживленні;

- впевнитися в надійності закриття усіх дверей, що обладнані блокуванням;

- перевірити роботу захисних блокувань. Після відкриття будь-яких дверей повинно відключитися електроживлення установки і увімкнутися заземлення;

- перевірити наявність на робочому місці шумознижуючих навушників, спецодягу і спецвзуття;

- увімкнути вентиляцію з місцевим відсосом;

- перевірити наявність на робочому місці вогнегасників і засобів необхідної медичної допомоги.

Під час роботи.

Не рекомендується:

- допускати сторонніх осіб до обладнання;

- залишати без нагляду працююче обладнання;

- суворо забороняється палити;

- доторкатися голими руками до частин установки, які знаходяться під напругою;

- при роботі зі стисливими газами не допускається піддавати балони ударним впливам, нагріву, користуватися поблизу балонів відкритим вогнем, користуватися балонами, не обладнаними паспортом заводу-виготовлювача або не запломбованими.

Після закінчення роботи:

- після відпрацювання установкою заданого числа розрядів повинно відключити електроживлення пульта керування. При цьому всі лампи на пульті керування повинні згаснути;

- вимкнути систему вентиляції;

- вимкнути електричний ланцюг та закрити вентиля газів балонів.

Висновки до частини 4

Таким чином при виконання досліджень по визначенню властивостей газотермічних покриттів необхідно строго підтримувати рекомендації техніки безпеки. В протинному випадку наступить помітне зменшення працездатності людини від втому під час обробки досліджень.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Аналіз екологічної небезпеки ділянки відновлення лопаток газотурбінних двигунів газотермічним напиленням

Проектована ділянка призначена для відновлення спрацьованих поверхонь деталей. При проходженні цього процесу виникає ряд факторів, що негативно позначаються на стані навколишнього середовища. По-перше, це забруднення атмосфери. Основними видами газоподібних викидів є:

- кварцевий пил від піскоструминної обробки;
- високодисперсна аерозоль розпилених матеріалів;
- токсичні гази продуктів згорання (окисли азоту, окис вуглецю).

Всі ці шкідливі речовини виводяться від джерела назовні за допомогою вентиляційної системи. Екологічну небезпеку (посередню) виявляє й витрата електроенергії, і витрата матеріалів для напилення. Електроенергія витрачається на освітлення ділянки детонаційного напилення і на роботу електромотора. Вона постачається від теплової електростанції, а це – викиди в атмосферу продуктів згорання, які є небезпечними для екології.

Виготовлення матеріалів для напилення також супроводжуються викидом у атмосферу продуктів відходу. Процес виготовлення самої установки також супроводжується витратою матеріалів і продуктами відходу при її виготовленні.

5.2 Розробка заходів, що підвищують екологічну безпеку ділянки відновлення деталей

Для усунення впливу шкідливих речовин на навколишнє середовище передбачається встановленням фільтрів на виходах трубопроводів викидів. Крім цього, відбувається розсіювання інших шкідливих речовин з метою

виключення забруднення. Сток відходів в підключений до очисної системи цеху, яка забезпечує відповідність складу стічних вод існуючим вимогам.

При нанесенні покриттів детонаційним способом створюється шум у безпосередній близькості від установки, що сягає 125 дБ. Як заходи щодо попередження профзахворювань передбачено проти шуму встановлення захисного екрану, посадку навколо цеху дерев та кущів.

Заходи щодо електроенергії – її економія обезточування у перервах і після закінчення робочого дня.

Заходи щодо витрати матеріалів:

- зменшення браку в напиленні (витрата порошку);
- підвищення ресурсу детонаційної установки (менше спрацьованих деталей відправляють на переробку та ін.).

5.3 Визначення величини платежів за викид в атмосферу забруднюючих речовин стаціонарним джерелом забруднення

Величина платежів визначається за формулою:

$$П_{AC} = \sum_{i=1}^n [(H_{in} + M_{in}) + (K_n \cdot H_{in} \cdot M_{in})] K_T, \quad (5.1)$$

де H_{in} – норматив плати за викиди в атмосферу однієї тони i -тої забруднюючої речовини в межах ліміту ВСВ;

M_{in} – маса газового викиду i -тої забруднюючої речовини в атмосферу в межах ліміту;

K_n – коефіцієнт відповідності плати за понадмірний викид;

K_T – коефіцієнт, що враховує територіальні і екологічні особливості

$$K_T = H_{AC} \cdot K_\phi = 1,8 \cdot 1,25 = 2,25$$

де K_{nac} – коефіцієнт, що залежить від чисельності населення;

K_ϕ – коефіцієнт, що залежить від народногосподарського значення міста;

$H_{\text{дл}}$ – встановлюється на основі граничної концентрації та відносин агресивності;

окис азоту:	130·1,05 (грн/т);
окис вуглецю:	10·1,05 (грн/т);
дрібнодисперсійний пил:	130·1,05 (грн/т);
М окиси азоту	0,09 т/год;
М пилу	0,42 т/год;
М окиси вуглецю	1,6 т/год.

У проєктованій установці та цеху відновлення деталей понадлімітний викид не передбачається.

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 направленням 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.

Висновки до розділу 5

Для зменшення емісії продуктів згоряння палива $СН$ при конструюванні необхідно збільшити η_r . Цього можна досягти завдяки застосуванню 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 $С_{уд}$, 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 З РОБОТИ

У даній дипломній роботі з метою розробки технології відновлення зношених деталей літальних апаратів і газотурбінних двигунів пропонуються газотермічного нанесення зносостійких покриттів, зокрема плазмового.

Розробка технології відновлення спрацьованих поверхонь газотермічним напиленням вимагає всебічного дослідження як триботехнічних характеристик матеріалів, що пропонуються для використання, так і показників фізико-механічних властивостей.

У зв'язку з тим, що всі газотермічні покриття, як правило знижують міцність основного матеріалу, вивчення можливої зміни характеристик міцності повинне займати в процесі розробки технології особливе, самостійне місце.

В роботі приведений аналіз методів дослідження впливу газотермічних покриттів на міцність основного матеріалу, представлені технологічні особливості газотермічних методів нанесення покриттів.

На основі результатів досліджень, з використанням методики, рекомендовано для підвищення зносостійкості і відновлення деталей авіаційної техніки ряд плазмових покриттів, вказана їх оптимальна товщина, що забезпечує мінімальне зниження міцності основного матеріалу.

В інших розрахунках роботи розглянуті питання метрологічного забезпечення та рекомендовано заходи з охорони праці при використанні методів газотермічного відновлення деталей.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кулагин Н.С., Духота А.И. О применении газотермических покрытий при ремонте деталей авиационной техники, подвергающихся статическим и циклическим нагрузкам. /В сб. Повышение эффективности системы и методов ремонта ВС. – М.: «Воздушный транспорт», 1982. с.115-117.
2. Назарян К.Х., Саркисян М.С., Гурчянян Ю.А. Исследование износостойкости и усталостной прочности деталей с детонационными окрытиями. /”Промышленность Армении”, 1984, №9. с.31-33.
3. Димаков С.С., Шкапов И.Н., Логинов Н.З., Павлов А.Ф., Макарова М.С., Сергеев В.В., Ильенко А.М., Белоног В.М. Влияние детонационного напыления твердосплавных порошков на усталостную прочность титанового сплава ВТ8. /В сб.: Теория и практика газотермического нанесения покрытий, -Рига, “Зинатис”, 1990. с.75-79.
4. Максимович Г.Г., Шатинский В.Ф., Копылов В.И. Физико-химические процессы при плазменном напылении и разрушении материалов с покрытиями. –К.: Наукова думка, 1983. –264с.
5. Ильинский И.И., Шевеля В.В., Круглик А.П. Методика определения параметров микротекучести листовых материалов. /Проблемы прочности, 1993, №2. с.105-109.
6. Павлов В.Н., Палков А.Т., Цымбалюк А.А. Детали машин: Методические указания и задания на курсовой проект. –К.: КИИГА, 1994. –52с.
7. Иванов М.Н., Иванов В.Н. Детали машин: Курсовое проектирование. –К.: Наукова думка, 1985. –551с.
8. Антипенко А.М., Сорокін С.П., Поляков С.О. Властивості та якість паливо-мастильних матеріалів – Харків: ЧП Червяк, 2006. – 213 с.
9. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1982. – 350 с.

10. Zhou, Y.; Bosman, R.; Lugt, M. A Master Curve for the Shear Degradation of Lubricating Greases with a Fibrous Structure. *Tribol. Trans.* 2019, 62, 78–87.
11. Lundberg, J.; Höglund, E. A New Method for Determining the Mechanical Stability of Lubricating Greases. *Tribol. Int.* 2000, 33, 217–223.
12. Salomonsson, L.; Stang, G.; Zhmud, B. Oil/Thickener Interactions and Rheology of Lubricating Greases. *Tribol. Trans.* 2007, 50, 302–309.
13. Liu, J.; Lozano-Perez, S.; Karamched, P.; Holter, J.; Wilkinson, A.J.; Grovenor, C.R.M. Forescattered electron imaging of nanoparticles in scanning electron microscopy. *Mater. Sci.* 2019, 155, 109814.
14. Bondi, A.; Cravath, A.M.; Moore, R.J.; Peterson, W.H. Basic Factors Determining the Structure and Rheology of Lubricating Grease. *Inst. Spokesm.* 1950, 13, 12–18.
15. Singera, A.; Barakat, Z.; Mohapatra, S.; Mohapatra, S.S. Chapter 13—Nanoscale Drug-Delivery Systems: In Vitro and In Vivo Characterization. In *Nano-Carriers for Drug Delivery: Nanoscience and Nanotechnology in Drug Delivery*, 1st ed.; Mohapatra, S.S., Ranjan, S., Dasgupta, N., Mishra, R.K., Thomas, S., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 395–419.
16. Stetefeld, J.; McKenna, S.A.; Patel, T.R. Dynamic light scattering: A practical guide and applications in biomedical sciences. *Biophys. Rev.* 2016, 8, 409–427.
17. Zimmermann, M.; Ibrom, K.; Jones, G.; Garnweitner, G. Formation of a Dimeric Precursor Intermediate during the Nonaqueous Synthesis of Titanium Dioxide Nanocrystals. *ChemNanoMat* 2016, 2, 1073–1076.
18. Stolzenburg, P.; Freytag, A.; Bigall, N.C.; Garnweitner, G. Fractal growth of ZrO₂ nanoparticles induced by synthesis conditions. *CrystEngComm* 2016, 18, 8396–8405.
19. Ninjbadgar, T.; Garnweitner, G.; Börger, A.; Goldenberg, L.M.; Sakhno, O.V.; Stumpe, J. Synthesis of Luminescent ZrO₂:Eu³⁺ Nanoparticles and Their Holographic Sub-Micrometer Patterning in Polymer Composites. *Adv. Funct.*

Mater. 2009, 19, 1819–1825. Bilecka, I.; Niederberger, M. New developments in the nonaqueous and/or non-hydrolytic sol–gel synthesis of inorganic nanoparticles. *Electrochim. Acta* 2010, 55, 7717–7725.

20. Elbasuney, S. Sustainable steric stabilization of colloidal titania nanoparticles. *Appl. Surf. Sci.* 2017, 409, 438–447.

21. Aysan, A.B.; Knejzlík, Z.; Ulbrich, P.; Šoltys, M.; Zadražil, A.; Šteřpánek,

22. Окоча А.І., Антипенко А.М. Паливо-мастильні та інші експлуатаційні матеріали: Підручник. – К: Урожай, 1996. – 336 с.

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

24. Axford, S.D.T. Aggregation of colloidal silica: Reaction-limited kernel, stability ratio and distribution moments. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 1997, 93, 303–311.

25. Hotze, E.M.; Phenrat, T.; Lowry, G.V. Nanoparticle aggregation: Challenges to understanding transport and reactivity in the environment. *J. Environ. Qual.* 2010, 39, 1909–1924.

26. Stolzenburg, P.; Hämişch, B.; Richter, S.; Huber, K.; Garnweitner, G. Secondary Particle Formation during the Nonaqueous Synthesis of Metal Oxide Nanocrystals. *Langmuir* 2018, 34, 12834–12844.

27. Rizzuti, A.; Leonelli, C.; Corradi, A.; Caponetti, E.; Martino, D.C.; Nasillo, G.; Saladino, M.L. Structural Characterization of Zirconia Nanoparticles Prepared by Microwave-Hydrothermal Synthesis. *J. Dispers. Sci. Technol.* 2009, 30, 1511–1516.

28. Rodriguez-Devecchis, V.M.; Carbognani Ortega, L.; Scott, C.E.; Pereira- Almaso, P. Use of Nanoparticle Tracking Analysis for Particle Size Determination of Dispersed Catalyst in Bitumen and Heavy Oil Fractions. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2015, 54, 9877–9886.

29. Lenard J.G. *Metal Forming Science and Practice*. – Elsevier, 2002. – 378p.

30. Войнов К.Н. Триботехника и надёжность механических систем: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 74 с.
31. Wang, L.; Wang, B.; Wang, X.; Liu, W. Tribological investigation of CaF₂ nanocrystals as grease additives. Tribol. Int. 2007, 40, 1179–1185.
32. Zhao, W.L.G.; Zhao, Q.; Li, W.; Wang, X. Tribological properties of nano- calcium borate as lithium grease additive. Lubr. Sci. 2009, 26, 43–53.