

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: «Зносостійкість композиційних матеріалів в парі з авіаційними матеріалами»

Виконав: _____ **А.О. Проценко**

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 ПРОЦЕНКА АРТЕМА ОЛЕКСІЙОВИЧА

1. Тема роботи: **«Зносостійкість композиційних матеріалів в парі з авіаційними матеріалами»** затверджено наказом ректора від 29 вересня 2022 року № 1785/ст.

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

3. Вихідні дані до роботи: аналіз причин втрати працездатності повітряних суден, окремих деталей з композиційних матеріалів, вузлів та агрегатів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

- проаналізувати інформацію з різних літературних джерел;
- вибрати напрямок дослідження – втрата працездатності в результаті зносу;
- провести дослідження композитів на фретинг-корозійну зносостійкість;
- проаналізувати отримані результати; надати рекомендації, зробити висновки.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:

- схема установок для досліджень на знос та мікротвердість, креслення зразків та контрзразків;
- зображення поверхонь зносу зразків та контрзразків композиційних матеріалів;
- результати досліджень та рекомендації по боротьбі з фретинг-корозією та підвищення зносостійкості композиційних матеріалів.

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
Підбір матеріалів для кваліфікаційної роботи і вивчення літератури по темі проекту	26.09.2022-30.09.2022	
Розробка заходів з охорони праці та охорони навколишнього середовища.	01.10.2022 – 15.10.2022	
Огляд перспективних напрямків підвищення працездатності повітряних суден	16.10.2022 – 20.10.2022	
Вибір напрямку дослідження, виклад загальної методики та основних методів дослідження, оформлення другого розділу;	21.10.2022 – 27.10.2022	
Проведення дослідів; обробка результатів;	28.10.2022 – 10.11.2022	
Оформлення третього розділу про експериментальні дослідження	11.11.2022 – 14.11.2022	
Аналіз та узагальнення результатів дослідження;	15.11.2022 – 18.11.2022	
Висновки; коригування пояснювальної записки, її остаточне оформлення	19.11.2022 – 22.11.2022	
Підготовка до попереднього захисту кваліфікаційної роботи.	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 «Зносостійкість композиційних матеріалів в парі з авіаційними матеріалами»:

115 сторінок, 17 рисунків, 37 використаних джерел.

Об'єкт дослідження: втрата працездатності авіаційної техніки в результаті зношування деталей, вузлів та агрегатів. В результаті обширності об'єкта дослідження основа увага зосереджена на фретинг-корозії композиційних матеріалів, яка призводить до втрати працездатності та анодування алюмінію, яке захищає поверхню від корозії.

Мета кваліфікаційної роботи: аналіз особливостей руйнування композиційних матеріалів у результаті фретинг-корозії та анодування з послідуєчим відновленням їхньої працездатності; розроблення шляхів захисту і попередження проявів фретинг-корозії в майбутньому.

Метод дослідження: експериментальне моделювання фретинг-корозії та анодування на установці МФК, обробка результатів за допомогою оптиметра, мікроскопа та комп'ютера.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати як основу для проведення наступних, більш широких наукових досліджень. Існуючими результатами та рекомендаціями необхідно скористатися при обслуговуванні та відновленні працездатності виробів з композитів.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук нових і вдосконалення вже існуючих напрямків відновлення працездатності із застосування найсучасніших інформаційних та електронних технологій для відслідковування та контролю стану авіаційної техніки на всіх етапах її життєдіяльності.

ВІДНОВЛЕННЯ, ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ, ПОВІТРЯНЕ СУДНО, ДЕФЕКТ, КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ФРЕТИНГ-КОРОЗИЯ, ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ	
ДЕТАЛЕЙ ЛІТАКІВ, ВИКОНАНИХ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	
1.1 Застосування композитів в елементах конструкцій літаків.....	13
1.2 Відновлення працездатності деталей шляхом напилення	
покриттів	21
1.3 Відновлення працездатності лазерною обробкою	26
Висновки до розділу 1.....	31
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МЕТОДИК ТА ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	
2.1 Вибір та обґрунтування напрямку дослідження, методу	
дослідження, особливостей методики	32
2.2 Загальні відомості про композиційні матеріали	33
2.3 Дефекти конструкцій з композиційних матеріалів	35
2.4 Фретінг-корозія – особливий вид руйнування контактуючих	
поверхонь	45
2.5 Анодне оксидування алюмінію.....	47
Висновки до розділу 2.....	51
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ	
МАТЕРІАЛІВ НА ФРЕТИНГ-КОРОЗІЮ	
3.1 Установка для дослідження фретинг-корозії.....	52
3.2 Зразки для дослідження зношування	56
3.3 Вимірювання величини зносу	56
3.4 Фрактографічні дослідження композиційних матеріалів.....	59
Висновки до розділу 3.....	61

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

4.1 Підготовка зразків для проведення дослідження композиційних матеріалів на фретинг-корозію.....	62
4.2 Вихідні дані експерименту.....	63
4.3 Обчислення величин зносу зразків.....	64
4.4 Вказівки до виконання анодного оксидування.....	66
Висновки до розділу 4.....	70

РОЗДІЛ 5. АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ФРЕТІНГ-КОРОЗІЮ

5.1 Аналіз результатів дослідження.....	71
5.2 Узагальнення результатів дослідження.....	74
Висновки до розділу 5.....	77

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники при роботі з авіаційною технікою.....	78
6.2 Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників.....	79
6.3 Забезпечення пожежної і вибухової безпеки в робочому цеху.....	83
6.4 Розрахунок повітрообміну при роботі з композиційними матеріалами	86
6.5 Інструкція з охорони праці при роботі з композиційними матеріалами.....	88
Висновок до розділу 6.....	91

РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

7.1 Визначення основних чинників діяльності цивільної авіації, що призводять до негативного впливу на навколишнє середовище	92
7.2 Захист атмосферного повітря від забруднення повітряними кораблями.....	93
7.3 Захист води від забруднення авіаційним транспортом.....	96
7.4 Захист ґрунтів від забруднення авіаційним транспортом.....	97
7.5 Авіаційний шум та способи захисту від нього.....	99
7.6 Екологічна ситуація при виготовленні та обслуговуванні деталей з композиційних матеріалів.....	103
Висновки до розділу 7.....	108
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	113

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

АД	– авіаційний двигун
ВЧ ПРА	– високочастотні пускорегулюючі апарати
ГСК	– генератор постійного струму
ДСанПіН	– Державно-санітарні правила і норми
ЕМП	– електромагнітне поле
ЗПС	– злітно-посадкова смуга
КПО	– коефіцієнт природньої освітленості
ЛА	– літальний апарат
ЛТС	– льотно-технічний склад
ЛФП	– лакофарбове покриття
МВС	– Міністерство внутрішніх справ
МОЗ	– Міністерство охорони здоров'я
НТП	– науково-технічний прогрес
ПММ	– паливно-мастильні матеріали
СМЦ	– машина тертя
СН	– санітарні норми
СНіП	– санітарні норми і правила
СОП	– самогенеруюча органічна плівка
СУ	– силова установка
ІСАО	– International Civil Aviation Organization (Міжнародна організація цивільної авіації)

E_k	– кинетична енергія
F	– площа контакту зразків, які труться
h_{\max}	– максимальна товщина змащувального шару
h_{\min}	– мінімальна товщина змащувального шару
J_p	– полярний момент інерції обертаючих деталей
M	– момент тертя
n	– число атомів вуглецю в молекулі
P	– тиск
$P_{\text{пог.}}$	– погонне навантаження
R_{z1}, R_{z2}	– висоти нерівностей поверхонь роликів установки
V_{Σ}	– сумарна швидкість кочення
$V_{\text{ков.}}$	– швидкість ковзання
Δ	– товщина змащувального шару
Δt	– величина часу
ΔU	– величина падіння напруги
ε	– просковжування роликів одне відносно другого
λ	– характеристика режиму змащування
μ	– в'язкість мастила
ρ	– приведений радіус кривизни
σ_n	– контактна напруга робочих роликів
ω_0	– кутова швидкість обертаючих деталей
E'	– приведений модуль пружності

ВСТУП

Тема кваліфікаційної роботи – це «Зносостійкість композиційних матеріалів в парі з авіаційними матеріалами».

Актуальність теми. В наш час техніка, особливо авіаційна, інтенсивно розвивається. Створюються нові досконалі типи літальних апаратів, які є економічними та не вимагають значних витрат на своє технічне обслуговування. Проте будь-які деталі, вузли, панелі, агрегати не є вічними і потребують заміни або технічного обслуговування для відновлення своєї працездатності. В результаті науково-технічного прогресу виникає питання про створення не лише нових, дешевших, якісніших і оперативніших методів та напрямків відновлення працездатності, а й принципово інших підходів до організації процесів взаємодії між розробником, виробником, експлуатантом та ремонтними організаціями з метою забезпечення підтримки виробів у робочому та працездатному станах на усіх етапах їхньої життєдіяльності. Це дозволить зекономити значні кошти, підвищити довговічність та надійність повітряного судна.

Україна має досить розвинуту авіаційну промисловість з повним циклом розробки, виготовлення та відновлення працездатності авіаційної техніки. В конструкторських бюро, на авіаційних заводах, ремонтних базах та підприємствах проблеми відновлення працездатності посідають одне з головних місць, адже від якості здійснених робіт залежить життя пасажирів та престиж держави.

Мета кваліфікаційної роботи: аналіз особливостей руйнування композиційних матеріалів у результаті фретинг-корозії з послідуєчим відновленням їхньої працездатності; розроблення шляхів захисту і попередження проявів фретинг-корозії в майбутньому. Мету роботи вибрано з оглядом на те, що тема відновлення працездатності дуже обширна, тому варто зосередити увагу на конкретному одному питанні. А композити – це матеріали майбутнього, вони все частіше і частіше застосовуються в конструкціях найсучасніших типів літальних апаратів (високі міцність, жорсткість, технологічність, низька маса). Проте і ці матеріали також зазнають негативного впливу навколишнього середовища, особливостей

експлуатації, тому і в них з'являється ціла низка дефектів, які ще мало досліджені (тріщини, вм'ятини, проколи, розшарування конструкцій, корозія та фретинг-корозія). Окрім того, недостатньо розроблені нові технології і методики для попередження, усунення та захисту від таких дефектів.

Завдання кваліфікаційної роботи:

1. Аналіз основних напрямків відновлення працездатності авіаційної техніки з акцентом на дефектах композитів та способах їхнього усунення.

2. Вибір напрямку дослідження – це фретинг-корозія композитів та анодування.

3. Збір необхідної інформації про особливості виготовлення композиційних матеріалів, зміни їхнього стану при експлуатації.

4. Підготовка установки для моделювання фретинг-корозії у болтових та заклепкових з'єднаннях.

5. Проведення експериментального дослідження.

6. Обробка результатів, узагальнення, висновки, рекомендації.

Об'єкт дослідження: втрата працездатності авіаційної техніки в результаті зношування деталей, вузлів та агрегатів.

Предмет дослідження: фретинг-корозія композиційних матеріалів та анодне оксидування.

Метод дослідження: експериментальне моделювання фретинг-корозії та анодування на установці МФК, обробка результатів за допомогою оптиметра, мікроскопа та комп'ютера.

Наукова новизна отриманих результатів. Фактично проблема фретинг-корозії вивчена дуже мало, але, як свідчать проведені дослідження, вона є і може проявлятися дуже часто, призводячи до виникнення інших дефектів у композитах та до втрати працездатності всієї конструкції. Тому розвивати цю проблематику необхідно і доцільно для успішного використання виробів з композиційних матеріалів.

Практичне значення отриманих результатів. У нових типах літальних апаратів застосування композитів складає більше 30 %. Для з'єднання композитів часто використовують металеві елементи, а це може призвести до небажаних наслідків. Адже в результаті ударів, вібрацій, періодичних згинах або скручуваннях з'єднаних деталей відбуваються малі мікропереміщення одних поверхонь відносно інших, а це є причиною виникнення фретинг-корозії і може послабити характеристики міцності та жорсткості всієї конструкції. Представивши деякі напрацювання при дослідженні особливих процесів зношування композитів вже сьогодні, в майбутньому цим досвідом можна буде скористатися для розширення сфери застосування композиційних матеріалів (наприклад, у силових елементах крила та фюзеляжу).

Особистий внесок здобувача. Здобувачем були проведені роботи зі збору відомостей про найперспективніші напрямки відновлення працездатності авіаційної техніки. Особливу увагу було зосереджено на питаннях відновлення працездатності композиційних матеріалів, які дуже широко використовуються у новій авіаційній техніці. Автором були проведені роботи по дослідженню особливого і дуже можливого виду руйнування композитів – фретинг-корозії. Була підготовлена установка для її моделювання, здійснений сам процес, здійснені обробка, узагальнення результатів дослідження, подані відповідні рекомендації та висновки. Проблема відносного руху в результаті мікропереміщень є досить важливою і мало вивченою, а тому потребує значної уваги та детальних експериментів у майбутньому за сприяння підприємств корпорації „Антонов” у рамках державної програми підтримки розвитку авіації в Україні.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ ЛІТАКІВ, ВИКОНАНИХ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В наш час жорсткої економії паливо-енергетичних ресурсів все більше загострюється проблема економії коштів, зниження експлуатаційних витрат. Для цього створюються нові надсучасні типи повітряних суден, які мають високу надійність та потребують значно нижчих видатків на своє утримання, ніж їхні попередники; також розробники активно впроваджують стратегію технічного обслуговування (ТО) авіаційної техніки (АТ) за її поточним станом, що зменшує кількість ремонтів до необхідного безпечного мінімуму. Проте і тут не обійтися без відновлення працездатності виробів, які з якихось причин вийшли з ладу, оскільки заміна на нову деталь, вузол чи агрегат часто є дуже дорогою. В процесі ремонту такої техніки зазвичай відновлюють: міцність; форми і розміри; шорсткість поверхні та якість поверхневого шару; захисні покриття; неметалічні покриття відновлюють обробкою різанням, тиском, зварюванням, клепкою, паянням, склеюванням, нанесенням металопокриттів. Найбільш перспективними напрямками відновлення працездатності в цьому випадку є [14]:

- напилення покриттів;
- лазерна обробка деталей;
- мікроплазмове зварювання (наплавлення)

1.1 Застосування композитів в елементах конструкцій літаків

У колишньому радянському союзі проводилися роботи з впровадження композиційних матеріалів (КМ) у конструкції літальних апаратів (ЛА), але при майже повній відсутності економічних рушіїв цей процес йшов повільніше ніж на заході. Незважаючи на це, на фірмі Завод ім. О.К. Антонова в 1971 - 1975 р. були створені середньонавантажені конструкції з вугле-, боропластиків, які не є

критичними з точки зору безпеки польотів (підкріплені балки та підкоси, стулки шасі та люків, трубчасті конструкції з поздовжнім армуванням, панелі підлоги, серворулі, монолітні ребристі панелі з максимальною довжиною до 5 м). При цьому досягнуто зменшення маси на 15–30 % та суттєве підвищення характеристик жорсткості.

У грудні 1973 р. на літаку Ан-28 уперше в Україні почалися льотно-експлуатаційні випробування підкосів крила довжиною більше 4 м з вуглепластику. Використання вуглепластиків підвищило жорсткість підкосів у два рази та зменшило їх масу на 15 %.

У 1976 - 1977 р. у співдружності з науково-дослідним інститутом був виконаний комплекс робіт щодо створення більше ніж 60 вузлів і агрегатів із вугле-, скло-, боропластиків та 70 деталей і вузлів з органопластиків для літака Ан-72:

- задні стулки вантажного літака з вуглепластику розміром 1300×3125 мм (зменшення маси на 50 %);
- великі стулки головного шасі розміром 1600×2620 мм (зменшення маси на 25 %).

При цьому маса елементів конструкцій у середньому зменшилася на 25 %.

У серпні 1977 р. вперше розпочаті льотні експлуатаційні випробування і демонстраційні польоти першого вітчизняного літака Ан-72, виготовленого з широким використанням КМ. Одночасно проводилися роботи щодо використання КМ у конструкції літака Ан-28. Застосування КМ забезпечило зменшення маси літака Ан-28 на 60 кг при загальній масі конструкцій з КМ 180 кг, літака Ан-72 – 350 кг при загальній масі 980 кг.

У 1980–1985 рр. був створений транспортний літак Ан-124 надважкого класу, у конструкціях якого використання КМ збільшилося в порівнянні з літаком Ан-72 більше ніж у п'ять разів.

У конструкції літака Ан-72 з КМ виконано більше 1000 вузлів і агрегатів, а кількість деталей перевищує 4000 одиниць при площі поверхні 1500 м². Загальна маса конструкцій з КМ становить 5000 кг на один літак. У таких масштабах КМ на

транспортному літаку застосовані вперше в світовій практиці. На етапі роботи над літаком Ан-124 було розроблено, освоєно та впроваджено в серійне виробництво багато основних конструкцій, які забезпечили зменшення маси на 25–50 %. Уперше застосовано високонавантажені балки верхньої палуби і вантажної підлоги, які підкріплені 87 підсилюючими накладками з вуглепластику довжиною до 7 м, вбудованих у силову коробку фюзеляжу (зображення конструкцій з КМ рисунок 1.1, 1.2).

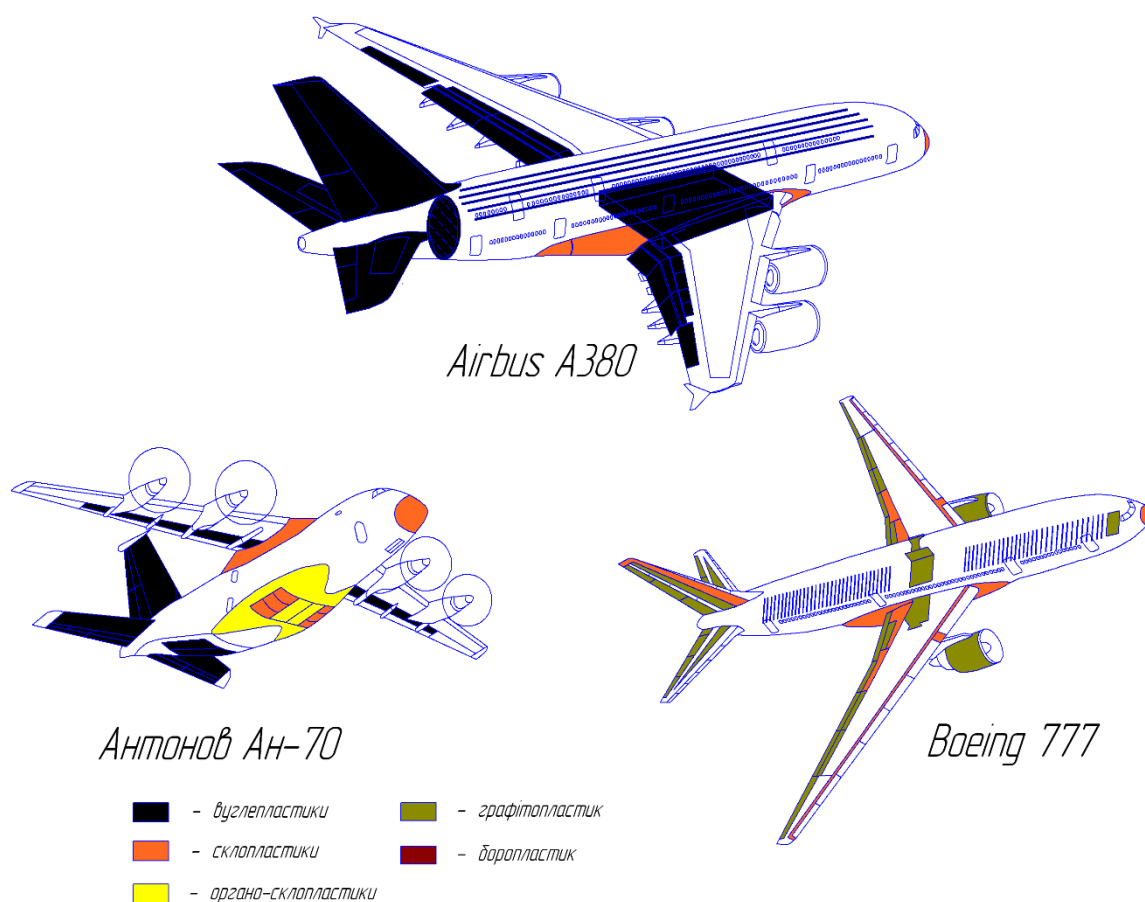
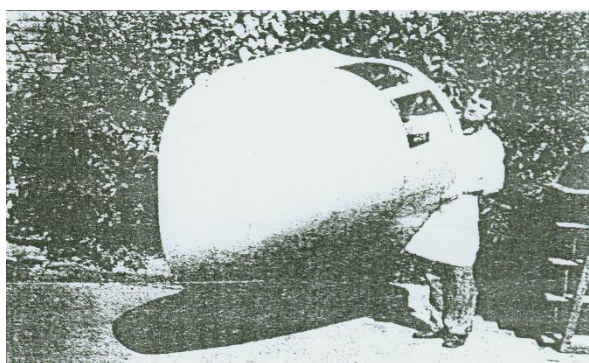


Рисунок 1.1 - Використання композиційних матеріалів в літаках

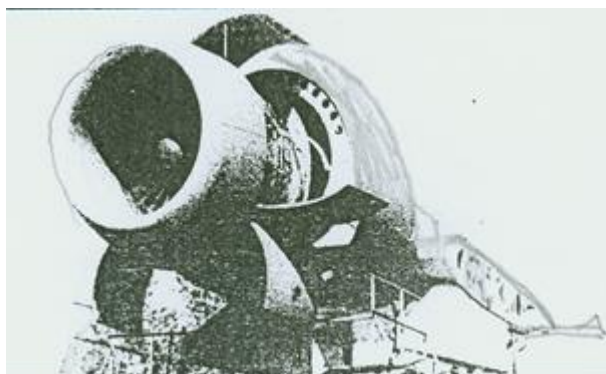
Напрацювання, отримані в результаті досліджень, дозволили здійснити більш складну програму створення високонавантажених агрегатів із КМ для широкофюзеляжного літака Ан-70. Обсяг конструкцій зі скло-, вугле-, органопластиків на літаку Ан-70 досяг 20 % від маси планера.

В одній з останніх розробок АНТК ім. О.К. Антонова літаку Ан-140 КМ належить

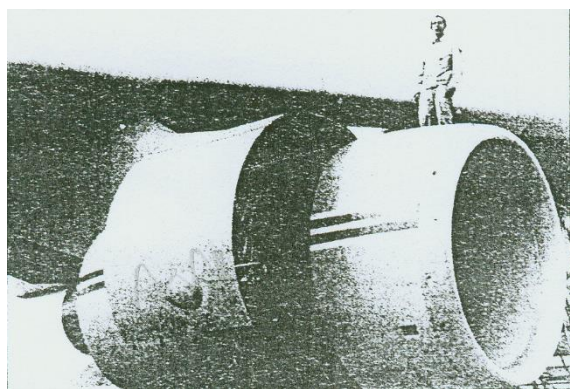
16 % від маси планера. Менший ніж у літака Ан-70 відсоток КМ у конструкції літака Ан-140 пояснюється тим, що літак розроблявся для випуску також в інших країнах. Широко використані КМ і в конструкції Ан-148. В цьому літаку композити не входять до складу силових кесонів оперення, оскільки це вимагає великих матеріальних затрат та довготривалих досліджень. Проте все ж таки маса КМ в елементах конструкції та інтер'єру складає близько 2500 кг, а площа композитних матеріалів із КМ в планері досягла 42 % від поверхні літака, що омивається.



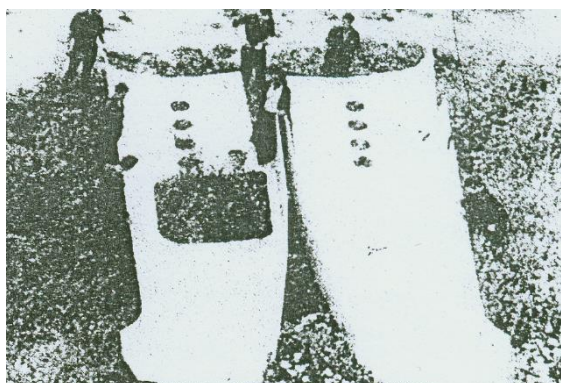
а



б



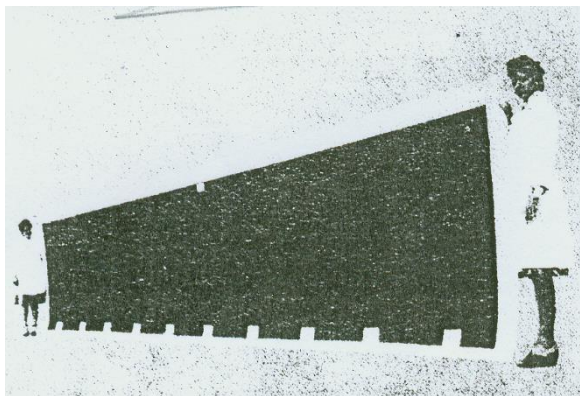
в



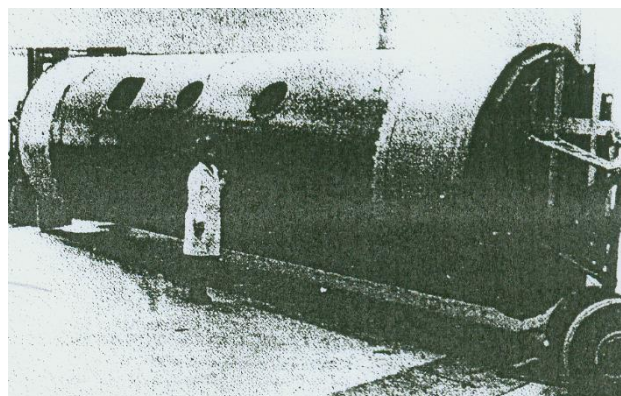
г

а) – панель обтікача шасі літака Ан-72, виконана з вуглепластика (1975 рік);
 б) – мотогондола та повітрозабирач літака Ан-72, що має тришарову трубчасту конструкцію (1975 рік); в) - мотогондола та повітрозабирач літака Ан-124, що також мають тришарову трубчасту конструкцію (1981 рік); г) - панелі фюзеляжу зі склопластику літака Ан-2М для статичних досліджень

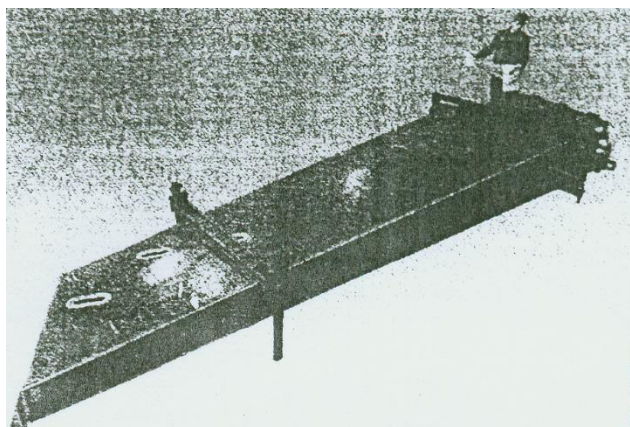
Рисунок 1.2 - Конструкції, виконані з використанням композиційних матеріалів



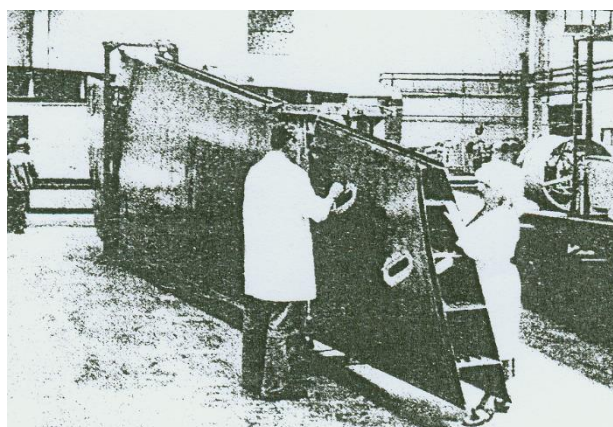
а)



б)



в)



г)

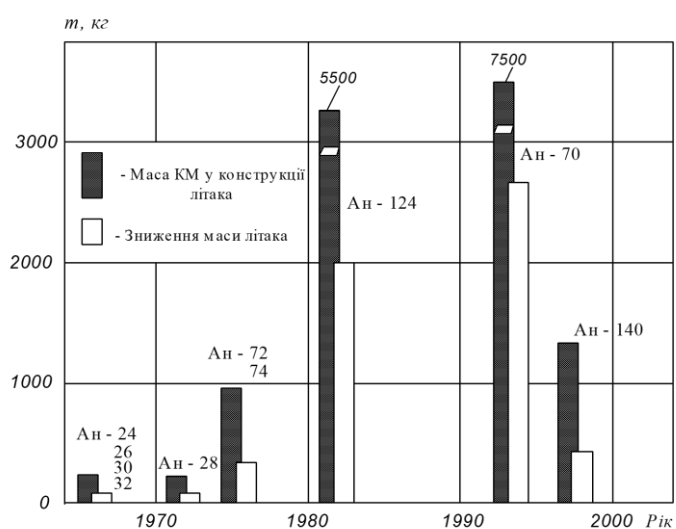
а) – панель обтікача шасі літака Ан-124 (1981 рік); б) - експериментальний відсік фюзеляжу з вуглепластика (1979 рік); в) – кесон крила Ан-70 з вуглепластика, розмах 10 м (1988-1999 роки); г) – кесон стабілізатора Ан-70 з вуглепластика (1988-1999 роки)

Рисунок 1.3 - Конструкції з композиційних матеріалів

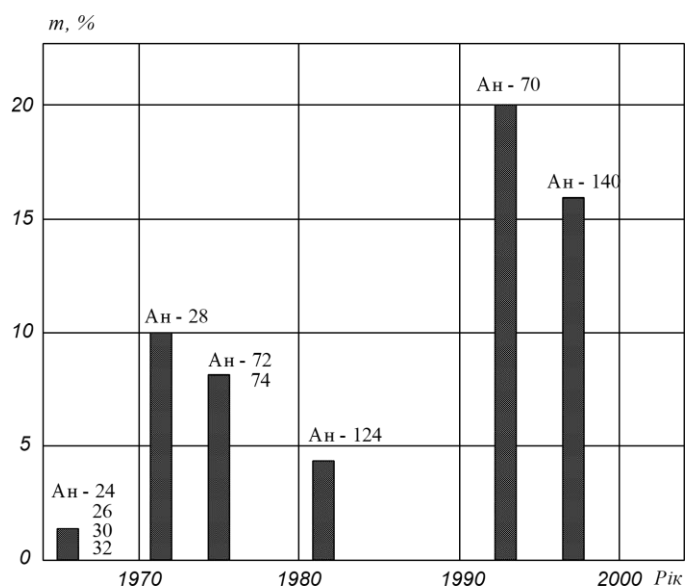
Результати детального аналізу застосування КМ у літаках типу Ан, зображено на діаграмах. Визначено діапазон зменшення маси конструкцій завдяки використанню КМ, який становить 25–27 %, і відмічено, що рівень 20 % маси планера з КМ, який досягнуто на літаку Ан-70, є максимальним серед аналогічних комерційних літаків (рисунок 1.4).

Таким чином, можна стверджувати, що сучасні українські літаки Ан на даному етапі нічим не поступають своїм закордонним аналогам, а деякі перевищують їх за рівнем використання композитів (Ан-70). Зараз необхідно

поступово переходити до застосування композитів при виготовленні крила та фюзеляжу, зокрема на літаках Ан-70 та Ан-148, оскільки саме це забезпечить істотне зменшення маси і підвищення експлуатаційних характеристик, а значить, ще раз підтвердить лідируючі позиції корпорації „Антонов” в літакобудуванні та залучить додаткові замовлення та інвестиції.



а)



б)

а) – абсолютна маса КМ і зниження маси літаків; б) – маса конструкції з КМ у відсотках від загальної

Рисунок 1.4 - Ефективність застосування КМ у літаках типу Ан

Застосування композитів в елементах конструкцій закордонних літаків. Перші дослідження щодо використання елементів із КМ переважно з вуглепластиків для пасажирських і транспортних літаків пов'язані з програмами NASA, які передбачали поетапне їх впровадження за ступенем підвищення складності та відповідальності конструкцій, а саме: допоміжні несилові агрегати типу поверхонь керування, допоміжні силові агрегати типу кіля і стабілізатора та силові конструкції крила і фюзеляжу.

Великий обсяг досліджень проводився за програмою розробки енергетично ефективних літаків ACEE (Aircraft Energy Efficiency), у рамках якої NASA видало контракти фірмам “McDonnell Douglas”, “Boeing” та “Lockheed” (усі з США) на розробку із КМ руля напрямку та кіля літака DC-10, руля висоти літака Boeing-727, стабілізатора літака Boeing-737, елерона та кіля літака L-1011.

Отриманий досвід проектування й експлуатації зазначених експериментальних агрегатів був використаний фірмами-розробниками при впровадженні КМ у серійні літаки. Наприклад, фірма “Boeing” у літаках Boeing-757 та Boeing-767 застосовує поверхні керування із КМ, які за конструкцією аналогічні експериментальному рулю висоти літака Boeing-727.

Проведення програми дослідження різних агрегатів із КМ дозволило прийняти фірмі “Boeing” рішення про впровадження КМ у конструкцію літаків наступного покоління. Композиційні матеріали використовують у всіх поверхнях керування, нерухомих панелях обшивок та обтікачах літаків Boeing-737-300, Boeing-757, Boeing-767, Boeing-777.

Порівняльну оцінку застосування КМ протягом трьох десятиліть у великих комерційних літаках “Airbus” і „Boeing”, починаючи від малонавантажених несилових конструкцій до поверхонь керування, високонавантажених несучих поверхонь хвостового оперення. Перешкодами подальшому істотному збільшенню використання КМ у силових конструкціях є більш висока вартість компонентів, виготовлених із КМ, ніж із традиційних алюмінієвих сплавів і недостатня надійність оцінок витрат на розробку і створення конструкцій із КМ.

Літак Airbus A380 – перший літак, який має кесон центроплану крила з вуглепластику, що в порівнянні з сучасними алюмінієвими сплавами дає економію маси до 0,5 т. В конструкції планера цього літака використані наступні матеріали: алюмінієві сплави – 53 %, композиційні матеріали – 30 %, сплави з титану та сталі – 10 %, матеріал GLARE – 3 %, матеріали, що захищають зовнішню поверхню літака – 2 %, інші матеріали – 2 %. За рахунок використання вдосконалених матеріалів маса планера літака A380 знижена на 10 -15 тонн.

Варто зазначити про представників ближнього зарубіжжя, зокрема про широкофюзеляжний російський пасажирський літак Ту-204. В цьому літаку використано біля 4000 кг КМ, зокрема в таких типах конструкції як: компоненти механізації крила, пілони, гондоли двигунів (носова частина, створки), повітрозабирач, створки відсіку шасі, вертикальний стабілізатор, стабілізатор руля керування та руль висоти, носовий обтікач, створки відсіку допоміжної установки, панелі підлоги, багажні полицки. Загалом маса КМ складає 10 % від маси всього літака.

Фірма Boeing підтвердила, що в конструкції дальномагестрального літака Boeing-787 „Дрімлайнер” доля вуглецевих композиційних матеріалів буде становити не менше 50 %, алюмінієвих - 20 %, титану – 15 %, сталі – 10 %, інші матеріали – 5 % від маси конструкції . При цьому фюзеляж (силовий набір та обшивка) буде повністю виконаний з КМ. З вуглецевих КМ на цьому літаку також будуть виготовлятися значна частина крила, поверні оперення та інші деталі. Фірма „Торей” буде постачати вуглецеве волокно T800S, просочене смолою 3900-2В. Цей матеріал має більш високі характеристики міцності, ніж вуглеволокно T800H, яке використовується в конструкції літака Boeing-777. Покращення характеристик досягнуто завдяки збільшення числа ниток на відносний об’єм до 24000 (у матеріалу T800H число ниток складає 12000). Окрім того, зазнав змін склад смоли. При цьому зниження маси в порівнянні з найближчим вже існуючим конкурентом A330-200 за прогнозами становитиме 13,6-18 тонн. Проте спеціалісти фірми Airbus стверджують, що на новому A350 (лише в проекті) доля композиційних матеріалів становитиме

близько 60 % (зокрема крило та фюзеляж), це дозволить збільшити дальність польоту на 555 км, пасажировмісткість на 12-14 % та зменшити витрату палива на 4 % в порівнянні з Boeing-787.

Таким чином, провідні іноземні компанії потенційно вже зараз представляють розробки нових надсучасних лайнерів з широким використанням композитів.

1.2 Відновлення працездатності деталей шляхом напилення покриттів

Напилення покриттів застосовують для відновлення деталей із зношеними плоскими, зовнішніми і внутрішніми циліндричними поверхнями, для підвищення жаро- і корозійної стійкості, надання високих антифрикційних властивостей і для декоративних цілей.

Напилення покриттів має ряд переваг, основними з яких є: висока продуктивність і економічність процесу; невелике нагрівання деталі (не більше 200 °С); можливість нанесення будь-якого металу, а також композиційних матеріалів на поверхні деталей з будь-яких матеріалів (сталь, фарфор, скло та ін.).

До недоліків напилення покриттів можна віднести: відносно невисоку міцність зчеплення покриття з основою (поверхнею деталі), в зв'язку з чим його не рекомендується застосовувати для деталей, які працюють при великих питомих навантаженнях на зсув і стиснення (зуби шестерень, деталі підшипників, кулачки розподільних валів і т. ін.); значну пористість, невелику механічну міцність і крихкість.

Напилення покриттів містить такі операції: підготовку поверхні деталі до напилення; напилення покриттів; обробку поверхні деталі після напилення (при напиленні покриттів дається припуск на механічну обробку, оскільки відновлена поверхня має відхилення мікрогеометрії).

За енергетичною ознакою методи напилення бувають:

- газополум'яні (газополуменеві; детонаційні);

- електричні (плазмові; електродугові; височастотні індукційні та ін.).

У газополум'яних апаратах використовується теплота, яка виділяється при горінні суміші горючого газу (ацетилен - кисень). Основою роботи електричних апаратів є використання теплоти електричної дуги або вихрових струмів. Всі ці апарати знаходять широке застосування у техніці напилювання.

Газополуменеве напилення. Цей спосіб напилення полягає у розплавленні різних металів у полум'ї газової суміші з подальшим нанесенням струменем стисненого повітря на поверхню виробу. Таким способом можна отримувати покриття тільки з легкоплавких металів. Зараз цей спосіб широко розповсюджений для відновлення розмірів зношених деталей.

Газополуменеве напилення залежно від стану напилюваного матеріалу може бути трьох типів: дротяне, пруткове і порошкове.

Технологія газополуменевого напилення досить проста, а вартість обладнання і витрати на експлуатацію - низькі. Якщо після напилення шару металу провадити його оплавлення, то можна сумістити напилення і зварювання. Цей процес складається з нанесення на знежирену поверхню деталі металу за допомогою розпилювача і наступного розплавлення покриття полум'ям пальника чи індуктивним нагріванням. Такі покриття досить однорідні, безпористі і добре зв'язані з основою. Процес розплавлення металу відбувається швидко, деталь не нагрівається і майже не змінює свого стану.

Матеріалами для газополуменевого напилення слугують різноманітні сплави на нікелевій і хромовій основі. Крім них у сплави входять також бор, а іноді - вольфрам. Одним з розповсюджених складів напилюваного матеріалу є такий: нікель 65 -80 %, хром 8 -20 %, бор 2-5 %, інші компоненти : залізо, кремній і вуглець - близько 10 %. Якщо потрібно підвищити жароміцність покриття, то в наведений вище склад за рахунок зменшення нікелю вводять 14 - 17 % вольфраму. Температура плавлення таких сплавів складає 1020 – 1080 °С. При газополуменевому напиленні використовують також алюнік (20 % Al і 80 % Ni), Бр АЖ 10 - 1,5 (10 % Al; 1,5 % Fe), інше - Cu і молібден; 50 ХФА (0,5 % Al; 1 % Ст;

0,1 % V; інше - залізо) та інші матеріали. Покриття наносять за декілька проходів, товщина шару за один прохід складає 0,17 - 0,25 мм.

Детонаційне напилення. основане на використанні енергії детонації в суміші кисень - ацетилен. Детонаційне напилення є різновидом газополум'яного. Детонація – особливий вид поширення полум'я, який наближається до вибуху і за певних умов має швидкість, що перевищує швидкість звуку в даному середовищі. Якщо підпалити електричною іскрою горючу суміш газів (наприклад, ацетилен з киснем) у спеціально виготовленій трубі, то фронт полум'я буде поширюватися вздовж труби із зростаючою швидкістю до того часу, доки в газі не виникне детонаційна хвиля. Швидкість розповсюдження детонаційної хвилі складає 2 - 4 км/с. Якщо до утворення детонаційної хвилі в трубу подати у вигляді порошку напилюваний матеріал, то високошвидкісний потік палаючого газу розплавить його і з великою швидкістю нанесе у вигляді покриття на деталь. Швидкість руху частинок напилюваного порошку може досягати 600 - 1000 м/с, що на порядок вище, ніж при інших видах газополуменевого напилення. Високі швидкості руху напилюваного матеріалу і висока температура, утворена в процесі вибуху (до 4000 °С), дозволяють наносити на поверхні деталей тугоплавкі покриття (тугоплавкі карбіди) високої якості з великою міцністю зчеплення з основою. При детонаційному напиленні покриттів міцність зчеплення при відриві може сягати 200 МПа, в той час як при газополуменевому вона становить 20 - 30 МПа. Детонаційний спосіб напилення покриттів знаходить все більше застосування в авіаційній промисловості і, відповідно, на ремонтних підприємствах загального машинобудування. Недоліками детонаційного способу напилення є висока вартість обладнання і значні шуми (до 140 дБ), внаслідок чого установку треба розміщувати у спеціальному приміщенні.

Електричні методи напилення характеризуються високою продуктивністю і економічністю.

Електродугова металізація. Два електричні ізольовані один від одного металеві дроти діаметром 1,2 - 2,5 мм, по яких пропускається постійний або змінний

електричний струм, пересуваються механізмом подачі по напрямних роликах зі швидкістю 0,6 - 1,5 м/хв. На виході з розпилювача дроти зближаються, виникає електрична дуга, в результаті чого їхні кінці оплавляються. Температура електричної дуги може досягати 6000 – 7000 °С. Стиснене повітря під тиском 0,4 - 0,6 МПа розпилює розплавлений дріт на найдрібніші частинки і наносить їх на поверхню деталі. Розміри частинок коливаються в досить широких межах (10 ~ 150 мкм), а їхня температура у момент вилітання з металізатора близька до температури плавлення дроту. Швидкість вилітання частинок – 140 - 300 м/с. Тривалість польоту не перевищує 0,002 с. Внаслідок високої температури і швидкості польоту металеві частинки, досягаючи поверхні деталі і ударяючись, розплющуються, оксиди на їхній поверхні руйнуються, сприяючи збільшенню металевого контакту як між частинками покриття, так і між основою.

Недоліками цього методу є: перегрівання і окислення напилюваного металу при малих швидкостях подачі дроту. Крім того, велика кількість тепла, що виділяється при горінні дуги, призводить до значного вигорання легуючих елементів, які входять до напилюваного сплаву (наприклад, вміст вуглецю в матеріалі покриття знижується на 40 - 60 %, а кремнію і марганцю – на 10 -15 %).

Електродуговий металізатор застосовують для відновлення зношених деталей, з тріщинами, для нанесення антикорозійних і декоративних покриттів, усунення дефектів у відливках, підвищення жаростійкості сталі. Для нанесення псевдосплавів (сталемідних, мідносвинцевистих, сталеалюмінієвих та ін.) застосовують, окрім двопроводових, і трипроводові електродугові металізатори. За допомогою такого металізатора можна отримати композицію псевдосплавів з одного, двох і трьох різних металів, а зі зміною швидкості подачі дроту - і композиції з різним їхнім співвідношенням.

Високочастотне індукційне напилення. Високочастотне індукційне напилення ґрунтується на використанні принципу індуктивного нагрівання. Коли провідник знаходиться в змінному електромагнітному полі, у ньому індукуються

вихрові струми, і вони викликають нагрівання поверхневих шарів провідника. Внаслідок використання індукційного нагрівання металу відбувається пошарове оплавлення зовнішньої поверхні дроту, а в міру його просування в індукторі відбувається повне розплавлення. Індукційне нагрівання дає можливість легко керувати температурним режимом плавлення дроту, що забезпечує мінімальне вигорання хімічних елементів і окислення дроту. Розпилення при цьому є рівномірним і розміри частинок матеріалу становлять 80 - 90 мкм. Границя міцності покриття на розтягання приблизно вдвоє вища, ніж при електродуговому напиленні.

Плазмове напилення. Якщо газ нагріти до температури 10000 °С і більше, то він перейде в стан плазми. Технологія плазмового напилення отримала широке застосування в авіаційній промисловості для відновлення зношених деталей. Плазмові покриття з молібдену, вольфраму, оксидів, тугоплавких сполучень інтерметалів дозволили вирішити ряд важливих технічних задач, направлених на підвищення зносостійкості, жаростійкості та інших властивостей різних матеріалів.

Відомо, що на осі вільно палаючої електричної дуги максимальна температура досягає 5000 – 7000 °С, а середня температура - не більше 3000 °С. Якщо електричну дугу пропускати через охолоджуване сопло і одночасно обдувати газами, то дуга стиснеться, тобто настане термічний стиск стовпа дуги (термічний пінчфekt), що в свою чергу підсилить стискуючу дію власного магнітного поля дуги. В результаті збільшується напруженість електричного поля розряду і власна електрична потужність, яка виділяється в одиниці об'єму стовпа дуги. Це призводить до того, що температура на осі дуги зростає і може досягати значень, характерних для утворення плазми, тобто біля 20000 °С і більше. Для нанесення різноманітних покриттів за допомогою плазмового струменя використовують спеціальні плазмові пальники і потужні генератори електричної енергії.

Напилення матеріалів за допомогою плазмового струменя має ряд переваг порівняно з іншими методами напилення. Висока температура плазмового струменя дозволяє порівняно просто виконувати напилення тугоплавких матеріалів. Температуру струменя можна змінювати в широкому діапазоні, залежно від

діаметра сопла і режиму роботи розпилювача. Це дозволяє виконувати напилення металів, кераміки і органічних матеріалів. Використання інертного газу дає можливість набагато зменшити наявність оксидів у напилюваному покритті.

Плазмове покриття порівняно з газополум'яним має вищу міцність та щільність зчеплення з основою. В авіаційній промисловості і на ремонтних заводах за допомогою плазмового напилення наносять матеріали типу ВКНА (23 % Al; 2 % легуючих добавок; 75 % Ni), СНГН (16 % Cr; 4 % Si, 4 % В; 76 % Ni); КХН (25 % CrC₂; 75 % Ni) та ін.

Для відновлення зношених деталей методом плазмового напилення на робочому місці необхідно мати: мережу постійного струму, підведення і зливання охолоджувальної води, балони з газами - плазмоутворюючим аргоном (або азотом) і транспортуючим азотом, шафу напилювання, а також захисні засоби, передбачені технікою безпеки. Характерними дефектами покриттів, які наносяться плазмовим напилюванням, є тріщини, відколи, відшарування, вириви, заниження і перевищення за висотою, здутості (скупченості).

Із розглянутих методів відновлення розмірів деталей АТ напиленням покриттів найбільш широке застосування знайшли детонаційний (62,9 % від загальної кількості відновлених деталей на один ГТД), і газополуменевий (3,7 % від загальної кількості відновлених деталей на один ГТД), оскільки ці методи є універсальними і дають можливість відновлювати велику кількість деталей: вали, посадкові місця під підшипники, перехідні кільця, корпусні деталі.

1.3 Відновлення працездатності лазерною обробкою

Лазерна технологія - високоефективний метод зміцнення і відновлення деталей. З кожним днем зростає сфера його застосування. Це - заміна дорогих матеріалів на дешеві з наплавленням покриттів з високими показниками властивостей зносостійкості та корозійної стійкості. Використання лазерної технології для проведення локального легування поверхні при відновленні деталей

на ремонтний розмір дає можливість одержати зниження зношення в п'ять – п'ятнадцять разів.

Досвід експлуатації лазерної техніки й устаткування на ремонтних підприємствах підтверджує всі економічні оцінки цього методу. Підприємства, які впровадили цю технологію й устаткування, прагнуть розширити сферу його застосування за рахунок використання устаткування більш високої потужності. Висока потужність лазерного випромінювання, що істотно перевищує інші джерела енергії, дозволяє не тільки значно збільшити продуктивність обробки, але й одержати якісно нові властивості поверхонь, які недоступні традиційним методам обробки матеріалів.

Лазерна обробка поверхонь металів і сплавів відноситься до локальних методів термічної обробки за допомогою висококонцентрованих джерел нагрівання. У цьому зв'язку лазерний промінь як джерело нагрівання при термічній обробці матеріалів має такі особливості і переваги перед іншими.

1. Висока концентрація підведеної енергії і локальність дозволяють обробляти тільки локальні поверхні ділянки матеріалу без нагрівання іншого об'єму, порушення його структури і властивостей, що призводить до мінімального жолоблення деталей.

2. Можливість регулювання параметрів лазерної обробки в широкому інтервалі режимів.

3. Відсутність механічних зусиль на оброблюваний матеріал дає можливість обробляти крихкі й ажурні конструкції.

4. Можливість обробки на повітрі, легкість автоматизації процесів, відсутність шкідливих відходів при обробці визначають високу технологічність лазерного променя.

5. Можливість транспортування випромінювання на значні відстані та підведення його за допомогою спеціальних оптичних систем у важко доступні місця.

6. Питомий енерговнесок в деталь при обробці лазерним променем на порядок нижчий, ніж при обробці нагріванням в печі

7. Лазерне термозміцнення (ЛТЗ) істотно підвищує твердість матеріалів.

8. Зносостійкість чавунних деталей, зміцнених лазерним променем, підвищується у вісім – десять разів, а сталевих порівняно з традиційними методами термічної і хімічної обробки: в три - чотири рази.

9. Лазерне термозміцнення дозволяє підвищити ресурс відновлених деталей в три - чотири рази і в два - два з половиною рази.

Лазерним випромінюванням обробляють поверхні деталей різної конфігурації довжиною до 600 мм, шириною до 400 мм, масою до 1000 кг. Лазерну обробку виконують на повітрі або в камері з контрольованою атмосферою. Наплавлення зносостійких покриттів на відновлювані деталі необхідно виконувати при апробованому в установленому порядку устаткуванні й оснастці. Відновлення зношених деталей лазерним наплавленням здійснюється методом зниження розміру деталі, що ремонтується, на товщину робочого шару покриття з подальшим нанесенням шару з припуском на механічну обробку. Поверхні деталі, що не піддаються наплавленню, закривають захисними екранами.

Мікроплазмове зварювання (наплавлення) належить до технологій, що знайшли ефективне застосування в різноманітних галузях промисловості. Порівняно з аргоно-дуговим мікроплазмове зварювання забезпечує більш локальне введення тепла, допускає значні коливання довжини дуги із збереженням її стійкості, зменшує деформації металу. Порівняно з променевими засобами зварювання мікроплазмовий процес продуктивніший і значно дешевший, виконується на порівняно простій апаратурі, не потребує висококваліфікованого обслуговуючого персоналу.

З метою розширення діапазону товщин і виду зварюваних матеріалів розроблено імпульсне мікрозварювання [14], воно найдоцільніше для дуже тонких виробів; для матеріалів, які містять компоненти, що легко випаровуються; для металокерамічних виробів при виконанні переривчастих з'єднань.

Як захисні гази застосовують аргоно-водневі суміші (для сталей, хромонікелевих сплавів і сплавів благородних металів), гелій і його суміші з аргоном (для сплавів міді, алюмінію, титану). Використовується мікроплазмове зварювання в точному машинобудуванні і приладобудуванні, радіоелектроніці, у хімічному і машинобудуванні, медичній і криогенній техніці і т. ін.

Цей спосіб ефективний для наплавлення і ремонту кромки робочих лопаток турбін, деталей запірної арматури, зношених кромки штампів і прес-форм, виправлення дефектів алюмінієвого лиття.

При мікроплазмовому зварюванні джерелом тепла є стиснута дуга, що стабільно горить при малих струмах, недостатніх для аргоно-дугового зварювання (АДЗ). Вольфрамовий електрод, що не плавиться, діаметром 0,8 - 2,0 мм з гострозаточеним кінцем виставляється на осі водоохолоджуючого плазмоутворюючого сопла з невеликим діаметром каналу (як діаметр електрода) перед входом у канал сопла. У пальник подається газоутворюючий газ - аргон, що поступає з отвору каналу сопла. Між електродом і плазмоутворюючим соплом збуджується малоамперна чергова дуга, що безперервно горить у потоці плазмоутворюючого газу, який видувається з каналу сопла плазмовим струменем.

При мікроплазмовому зварюванні враховуються витрата плазмоутворюючого газу, струм чергової дуги, діаметр каналу плазмоутворюючого сопла, тривалість імпульсів і пауз. Робочу довжину дуги вибирають в границях 2-3 мм. При цьому забезпечується задовільний захист шва від атмосферного впливу при рекомендованих витратах захисного газу.

До дефектів лазерної обробки (наплавлення, зварювання) відносяться тріщини вздовж доріжок оплавлення, тріщини поперек доріжок оплавлення, стискуючі і розтягуючі напруження, пористість. При виявленні на деталі після механічної обробки дефектів наплавлення типу тріщин, відколів, дірчастості або зниження розміру понад допуск необхідно видалити старе покриття на токарному верстаті різцем. Далі необхідно виконати відновлення деталі в такій послідовності: підготовка деталі до наплавлення, наплавлення та обробка деталі після наплавлення.

Висновки до розділу 1

Всі перераховані напрямки відновлення працездатності деталей, вузлів, агрегатів АТ є найбільш сучасними та вже досить добре відпрацьованими в технологічному плані на українських авіаремонтних заводах. Тому для подальшого розвитку цієї галузі авіаційної промисловості потрібно отримати необхідні сертифікати на здійснення процесів відновлення працездатності принаймні деяких деталей, вузлів та агрегатів тих типів повітряних суден, які зараз експлуатуються українськими авіаперевізниками (це, зокрема, Boeing-737, Boeing-757, Boeing-767, Boeing-777; Airbus A-310, A-320, A-330, A-340). Це дозволить залучити великі кошти у розвиток нашої авіації, але цьому повинна сприяти держава, виділяючи необхідні ресурси з державного бюджету на відповідні програми розвитку авіаційної промисловості.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ МЕТОДИК ТА ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір та обґрунтування напрямку дослідження, методу дослідження, особливостей методики

Напрямок дослідження – фретінг-корозія композиційних матеріалів. В наш час композити все частіше і частіше застосовують в конструкціях літальних апаратів з огляду на високі характеристики міцності і жорсткості та малу масу в порівнянні з традиційними матеріалами (Д16, сталь, титан, сплави). Проте ці прогресивні матеріали зазнають негативного впливу навколишнього середовища, отримують пошкодження під час експлуатації та ТО, тому і в них виникає ціла низка дефектів (тріщини, вм'ятини, проколи, розшарування конструкцій, корозія та фретінг-корозія). Ці дефекти досліджені досить мало, але вони призводять до зниження працездатності як самого матеріалу, так і всієї конструкції в цілому. Також повністю не розроблені нові методики та технології усунення таких дефектів та пошкоджень. Одним з малодосліджених дефектів є фретінг-корозія, яка може виникати в місцях з'єднання композитів болтами та заклепками, і в результаті цього виріб втрачає свою працездатність. Після пошуку можливих літературних джерел було знайдено лише в інтернеті згадку та посилання на праці російських вчених Котина А.В. та Истихіна С.В., які видали в 1998 році книгу в Россільхозакадемії під назвою: „Исследования фреттинг-коррозионной износостойкости полимерных композиционных материалов”. На жаль, ні в провідних бібліотеках України, ні в інтернеті такої книжки не виявилось.

Загальна методика дослідження: збирання та представлення відомостей про композиційні матеріали, їхнє застосування в конструкціях літаків різних типів, дефекти композитів, їхнє усунення; збирання відомостей про фретінг-корозію; пошук матеріалів для дослідження; підготовка установки для моделювання фретінг-корозії; проведення дослідження, аналіз результатів, їхнє узагальнення; висновки.

Основний метод дослідження: проведення експерименту, який би якомога точніше моделював фретінг-корозію в реальних умовах; застосування приладів для вимірювання величин зносу зразків (оптиметр, мікроскоп); обробка отриманих результатів на комп'ютері.

2.2 Загальні відомості про композиційні матеріали

Композиційними матеріалами називають штучно створені матеріали, що складаються з двох і більше різних, не розчинних один в одному компонентів (фаз). В перекладі з англійської термін „композит” означає складний. Композиційні матеріали складаються з основи (матриці) та армуючих речовин. Як матеріал армування застосовують волокна скла, вуглецю, бору, органічні волокна.

Композити називають за типом матеріалу матриці. Наприклад, композити з полімерною матрицею називають полімерами (ПКМ), з металевою – металевими (МКМ), з керамічною – керамічними (ККМ), з вуглецевою – вуглець-вуглецевими (ВВКМ) [10]. Як матриці використовують епоксидні, кремнійорганічні, поліефірні та інші смоли, а також алюміній, магній, титан, нікель, жароміцні сплави та метали, кераміку, вуглець різних модифікацій. Матриця у композиті виконує функцію середовища, в якому розподілений наповнювач. Вона забезпечує сумісну роботу окремих волокон внаслідок жорсткості та взаємодії, що існує на межі поділу матриці – волокно.

Наповнювач у КМ сприймає основні напруження, що виникають у композиті під дією зовнішніх навантажень, надаючи йому міцності та жорсткості у напрямку орієнтування волокон. Арматура може бути будь-якої природи, мати будь-яку форму поверхні – безперервні та дискретні волокна, луски, порошок та ін. Найчастіше застосовують скляні, органічні, вуглецеві, борні та різні металеві волокна.

В порівнянні з традиційними конструкційними матеріалами (металами) композити мають ряд переваг, серед яких найголовніші:

- порівняно низька густина;

- високі питома міцність та жорсткість;
- висока хімічна та корозійна стійкість;
- технологічність переробки у виріб;
- високі втомлювальні характеристики волокнистих КМ;
- можливість керування силовими потоками за рахунок раціонального розміщення арматури;
- наявність спеціальних властивостей (радіопрозорість, термостійкість та ін.).

До недоліків КМ відносяться:

- висока вартість більшості КМ в порівнянні з металевими сплавами;
- низька міжшарова міцність та жорсткість;
- низька міцність полімерних КМ на стиснення, що перешкоджає з'єднанню виробів з них елементами кріплення;
- відсутність зони текучості, крихкий характер руйнування;
- необхідність прийняття спеціальних заходів з охорони праці та при переробці КМ.

Склопластики з усіх ПКМ є найдешевшими. Тому їх застосування виправдане у серійному та масовому виробництві. Висока корозійна стійкість, здатність до сприйняття ударних навантажень, відмінна якість поверхні зумовили застосування склопластиків у авіабудуванні. З цього матеріалу виготовляють панелі, повітропроводи, хімічно стійкі та міцні труби, корпуси насосів і вентиляторів.

Органопластики мають низьку щільність, високі міцність, жорсткість, вологостійкість, хімічну стійкість. Низька діелектрична проникність цих матеріалів у широкому діапазоні частот (від 1 до 10 Гц, тобто включно до частот радіохвиль) зумовила використання їх для виготовлення радіопрозорих обтічників антенних пристроїв.

Вуглепластики характеризуються поєднанням низьки унікальних властивостей: високих значень жорсткості та міцності, відносно невисокої щільності, хімічної інертності, тепло- та електропровідності тощо. Вуглепластики застосовують для посилення металу у комбінованих конструкціях циліндричних

баків, ємностей, які працюють під тиском, деталей, що знаходяться у полі дії відцентрових сил або таких, що піддаються вібраціям.

Висока міцність та жорсткість на стиск боропластиків зумовила їх використання в конструкції балок, панелей, стрингерів, несучих частин літальних апаратів

2.3 Дефекти конструкцій з композиційних матеріалів

Дефекти деталей та вузлів з КМ поділяються на такі основні групи: конструкційні, виробничі, експлуатаційні та дефекти транспортування та зберігання.

Конструкційними дефектами виробів з композиційних матеріалів є: тріщини, відшарування, розтріскування, втрата пружності конструкції, вм'ятини, забоїни, подряпини. Причини виникнення дефектів: помилки, допущені в розрахунках при проектуванні деталей. Наприклад, це неправильний вибір методів та режимів обробки матеріалів (технологічна незабезпеченість), помилкова запропонована технологія виробництва (обумовлена невідповідними критеріями оцінки), погана якість напівфабрикатів (порушення прийнятого рівня якості) і т.д. В результаті цього конструкція працює при більших (чи менших) навантаженнях або в інших (не притаманних їй) умовах виробництва, експлуатації, зберігання та транспортування. Комплексні шляхи усунення дефектів: відповідальне ставлення при конструюванні до поставленого завдання, контроль: за дотриманням всіх вимог підприємства, ТУ, документації та прийнятої системи якості (перехід на систему якості ISO серії 9000), матеріальне забезпечення всієї науково-конструкторської бази підприємства на належному технічному рівні, турбота про життя, здоров'я та соціальний стан працівників.

Виробничими дефектами виробів з композиційних матеріалів є: дефекти хімічного складу та структури композитів (відхилення вмісту зв'язуючих; відхилення в структурі армування – дезорієнтації, складки препрегу; порушення суцільності – локальні непросочення, пори, непоклеї), короблення (технологічне

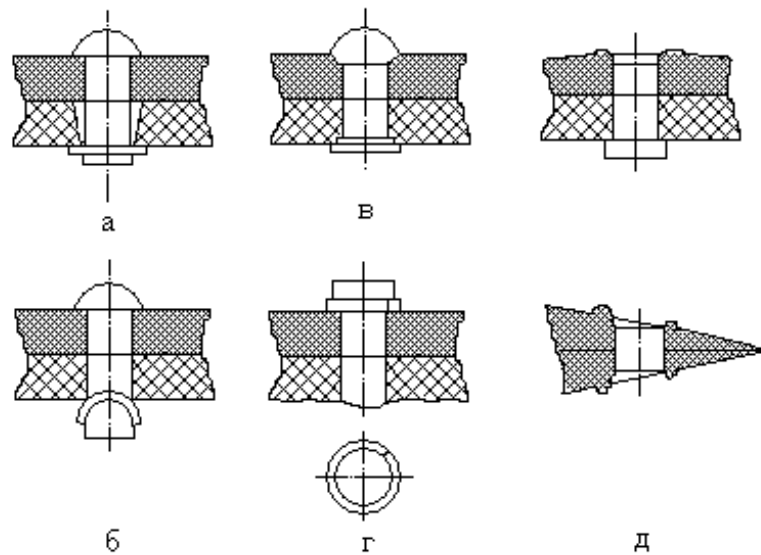
погнуття), зміна товщини, перепали, дефекти клепаання, склеювання, механічної обробки (свердлення, різання). При формуванні можуть виникати внутрішні залишкові напруження, обриви волокон. Причини виникнення дефектів: порушення встановлених технологічних вимог щодо виготовлення, складально-монтажних робіт, випробування вузлів і агрегатів. Комплексні шляхи усунення дефектів: суворе дотримання технології, ТУ, НТД, підтримка всього процесу виробництва на належному технологічному рівні, а також необхідно турбуватися про життя, здоров'я та соціальний стан працівників.

Так як досліді проводилися на моделювання фретінг-корозії в болтових та заклепочних з'єднаннях, то докладніше опишемо дефекти клепаання металічними заклепками та способи їх усунення [4].

Негативний вплив металічних заклепок на деталі з КМ, що з'єднуються, виявляється вже процесі осадки замикаючої головки, коли спостерігається часткове руйнування з'єднаних деталей. Це викликано низькою міцністю і деформованістю КМ при стисненні головками заклепки в момент осадки стержня і високим рівнем технологічних напружень.

Негативний вплив металічних заклепок на деталі з КМ, що з'єднуються, виявляється вже процесі осадки замикаючої головки, коли спостерігається часткове руйнування з'єднаних деталей. Це викликано низькою міцністю і деформованістю КМ при стисненні головками заклепки в момент осадки стержня і високим рівнем технологічних напружень.

Експлуатаційним дефектам у виробках з КМ приділимо особливу увагу, оскільки фретінг-корозія композитів може виникати найчастіше під час експлуатації. Дефекти в процесі експлуатації можуть бути закономірними (виникають за час довготермінового застосування деталей протягом встановленого ресурсу) або виникати в результаті порушення встановлених норм експлуатації та ТО. Наведемо основні види дефектів та способи їхнього усунення.



а) - врізання закладної головки і шайби в деталь із КМ, б) - вм'яття шайби в КМ з одночасним вигином шайби, в) - утворення тріщин і сколювання зв'язуючого в зоні розташування замикаючої і закладної головок, г) - тріщини в шайбі під замикаючою головкою заклепки, д) - випучування обшивок навколо закладних головок

Рисунок 2.1 - Типові дефекти клепання деталей із КМ

1. Подряпини.

Причини виникнення: потрапляння сторонніх предметів (каміння, град), удари (наприклад, в результаті недбалого ТО або грубої посадки).

Порядок виконання робіт щодо усунення дефекту:

- видалити лакофарбове покриття (ЛФП) з зони ремонту;
- обробити середньозернистим наждачним папером дефектну ділянку на ширині приблизно 5 мм (неглибокі подряпини) або 10 – 15 мм (глибокі подряпини в структурі тканини) на всю глибину подряпини;
- нанести на зону ремонту неметалічним шпателем пастоподібний клей холодного затвердіння (забезпечує більшу міцність з'єднання);
- накласти один – два шари препрега, прикрити антиадгезійною плівкою та притиснути (гвинтами, болтами вантажем, антиадгезійна плівка забезпечує захист від клею елементи кріплення);

- забезпечити необхідний режим затвердіння клею (15 °С; для режиму з нагрівом використовують світильники з лампами або повітрянагрівальні установки типу МП-44 або МП-85);

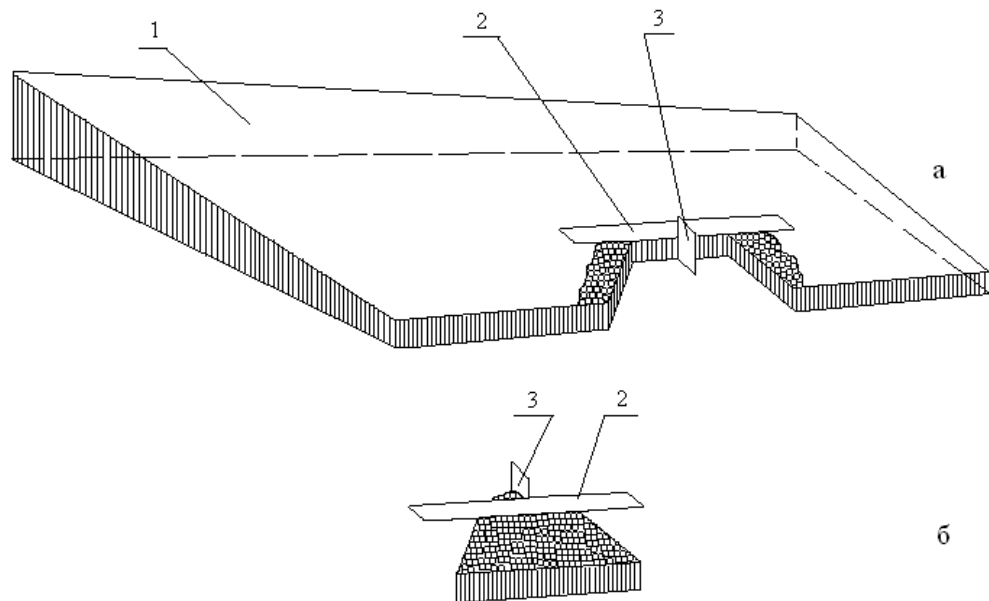
- відновити ЛФП згідно схеми фарбування агрегату.

Таблиця 2.1- Дефекти клепаання металічними заклепками та способи їх усунення

Дефект	Причина дефекту	Спосіб усунення дефекту
Врізання закладної головки і шайби в деталь із КМ (рисунок 2.1, а)	Невідповідність марки матеріалу заклепки міцності КМ. Переклепаання заклепки	Заміна заклепок на більший діаметр з нанесенням суміші клею (BC-10T+BK-32-200) або смоли в гніздо під заклепку, але не більше, ніж 10 % заклепок у шві
Вм'яття шайби в КМ з одночасним вигином шайби (рисунок 2.1, б)	Неправильно вибрані геометричні дані шайби; великий зовнішній діаметр. Переклепаання заклепки	Дефект не підлягає усуненню. Допускається не більше, ніж 10-15 % заклепок у шві
Утворення тріщин і сколювання зв'язуючого в зоні розташування замикаючої і закладної головок (рисунок 2.1, в)	Низька якість деталей із КМ. Порушення технологічного процесу	Заміна або доробка деталей
Тріщини в шайбі під замикаючою головкою заклепки (рисунок 2.1, г)	Низька пластичність матеріалу заклепки. Невеликий зовнішній діаметр шайби. Переклепаання заклепки. Шайба не прилягала до поверхні пакета в момент клепаання	Заміна заклепки на заклепку більшого діаметра, але не більше, ніж 10 % заклепок у шві
Випучування обшивок навколо закладних головок (рисунок 2.1, д)	Низька якість КМ. Невідповідність кута конуса гнізда до кута конуса заклепки. Клепаання здійснювалося без прокладки. Двобічний потай виконувався заклепкою без отворів у стержні	Дефект не підлягає усуненню. Допускається до 10 % від загальної кількості заклепок у шві з висотою випучування не більше допуску на виступання потайних головок

2. Вм'ятини та проколи (руйнування обшивки).

Причини виникнення: удари під час грубих посадок, погодніх умов та недбалого ТО, при цьому руйнується обшивка, всередину потрапляє волога. Такі дефекти найчастіше зустрічаються в чарункових конструкціях (сотий заповнювач). Необхідно замінити дефектну ділянку (рисунок 2.2).



а) – конструкція, що ремонтується; б) – вставка;

1 – сотоблок; 2 – лінійка; 3 – пластина

Рисунок 2.2 - Схема відновлення працездатності чарункового заповнювача з заміною пошкодженої ділянки чарунок

Порядок виконання робіт щодо усунення дефекту:

- вирізати ножом пошкоджену ділянку чарункової конструкції, при цьому лінія різку по можливості повинна бути простої форми;
- підібрати заповнювач того ж типорозміру або вирізати з сотопакету пилою - ножовкою або на фрезерному станку дисковою фрезею;
- необхідно враховувати підгонку (якщо потрібно) та майбутню форму поверхні, що ремонтується (теоретичні обводи повинні бути збережені), також потрібно враховувати, що частина чарунок під час вирізання деформується, тому у

вставці чарунки повинні бути більшого розміру, щоб потім підігнати їхній розмір до необхідного шляхом часткового деформування;

- знежирити бокові поверхні чарункових конструкцій;
- нанести клей холодного затвердіння вставити вирізаний сотопакет у конструкцію, що ремонтується;
- накласти з обох сторін антиадгезійну плівку;
- скріпити чарункову конструкцію і вставку „П” – подібними скріпками, поставити вантажі на чарункову конструкцію (необхідно її закріпити на горизонтальній поверхні);
- забезпечити необхідний температурний режим для затвердіння клею, після цього потрібно видалити скріпки та плівку;
- відновити ЛФП в зоні ремонту

3. Розшарування в обшивці з КМ.

Причини виникнення: порушення правил експлуатації та ТО, конструктивні та технологічні прорахунки.

Порядок виконання робіт щодо усунення дефекту:

- видалити пошкоджену частину обшивки до розшарування;
- знежирити ділянку, яка ремонтується;
- нанести клей холодного затвердіння;
- нанести один - два - три (скільки необхідно) шари препрега (кожний шар додатково просочувати клеєм), накласти антиадгезійну плівку;
- всю утворену конструкцію зафіксувати та притиснути (вантажем, гайками, струбцинами);
- здійснити затвердіння клею з обраним температурним режимом;
- видалити фіксуючі та навантажувальні елементи та антиадгезійну плівку;
- відновити ЛФП.

4. Тріщини в обшивці з КМ.

Причини виникнення: порушення правил експлуатації та ТО, конструктивні прорахунки - виріб працює з більшими за розрахункові навантаженнями.

Порядок виконання робіт щодо усунення дефекту:

- необхідно здійснити розсвердлювання тріщин, допустимий розмір тріщин встановлює конструкторське бюро (КБ);
- здійснити зашприцовку клею в отвори, потім заклеїти препрегом згідно технології, що була представлена вище;
- відновити ЛФП.

5. Відшарування обшивки від чарункового заповнювача.

Причини виникнення: надмірні вібраційні навантаження, потрапляння вологи у конструкцію, порушення правил експлуатації та ТО.

Порядок виконання робіт щодо усунення дефекту (відшарування займають площу більше $0,5 \text{ м}^2$):

- необхідно здійснити заміну пакета чарунок (див. проведення робіт при вм'ятинах та проколах).

Порядок виконання робіт щодо усунення дефекту (відшарування займають площу менше $0,5 \text{ м}^2$):

- розмітити зону ремонту;
- просвердлити отвори (діаметр – від 3,6 мм до 5 мм) для установки заглушок, а також для зашприцовки клею;
- провести пошук та видалення вологи (технологію див. нижче);
- знежирити поверхні (по можливості), які будуть склеюватися;
- здійснити зашприцовку клею в зону ремонту, при появі додаткового зусилля зашприцовку припинити;
- провести затвердіння клею (встановлення антиадгезійної плівки, використання затискувача та навантажувальних пристроїв);
- розвантажити конструкцію та встановити заглушки;
- провести герметизацію зони ремонту герметиком;

- відновити ЛФП агрегату.

6. Згинання, короблення обшивок, деталей, вузлів та агрегатів з КМ.

Причини виникнення: надмірні навантаження при експлуатації, втрата жорсткості конструкції в результаті помилок при конструюванні, виготовленні.

7. Корозія алюмінієвого заповнювача та елементів кріплення чарункових конструкцій.

Причини виникнення: потрапляння вологи всередину чарункової конструкції.

Для усунення дефекту необхідно виявити та видалити вологу, пошкоджену конструкцію замінити повністю або частково, місця можливого потрапляння вологи (вузли навішування, болтові, клепані з'єднання) заклеїти клеєм ВК-9.

Подамо нижче шляхи виявлення та видалення вологи.

Потрапляння вологи в чарункову конструкцію відбувається, в основному, у місцях постановки наскрізних болтів кріплення вузлів та в місцях пробоїн обшивок.

Обстеження стільникових конструкцій на наявність вологи повинне проводитися в обов'язковому порядку при плановому ремонті або відповідних формах періодичного обслуговування, а також при розбалансуванні агрегату й візуальних ознаках наявності вологи:

- підтіканні вологи у вузлах навішування, у стиках обшивок, в несучільностях між обшивкою і каркасом та в інших місцях;

- відшаруванні обшивки від стільника зі спучуванням у результаті розширення замерзлої води;

- збільшенні маси агрегату в порівнянні з паспортними даними, яка виявлена після демонтажу з літака для виконання інших видів ремонту. При ремонті відшарувань краплинна волога може виявлятися й видалятися (видуватися) струменем стисненого повітря під тиском не більше 0,1 МПа наприклад, за допомогою пневмосітки під кутом не більше 30° до поверхні агрегату, велосипедного або автомобільного насоса, оснащених для подачі повітря в отвори діаметром 3,6 мм (при цьому в зоні ремонту виконуються два або більше

отворів). З огляду на можливу наявність води й масла в повітрі із пневмосітки, на її накінецьник одягати 2-3 шари бавовняно-паперової тканини.

Виявлення вологи в дефектах, пов'язаних з механічними ушкодженнями: (проколи, тріщини, пробоїни), варто проводити по можливості приладами або за допомогою поліетиленових прозорих трубочок діаметром 3 мм (наприклад, „соломка для коктейлю” або стержні від кулькових ручок), джгутиків з фільтрувального паперу на дроті, одноразових шприців.

Контроль вологи рентгенівським способом. Агрегати, як правило, необхідно демонтувати з виробу. Агрегат установлюють вертикально в спеціальному ложементі таким чином, щоб осередок наповнювача розташовувався горизонтально в контрольованій зоні. Зазначене розташування забезпечує найбільш точну кількісну оцінку вологи. Контроль варто проводити до й після видалення вологи для оцінки результатів роботи. Рішення про демонтаж агрегатів, розташованих вертикально, приймається залежно від умов роботи.

Ультразвуковий (УЗ) спосіб контролю. Виявлення вологи здійснюється іммерційним (локальна ванна) ехо-імпульсним методом з використанням серійних вітчизняних або закордонних УЗ дефектоскопів, що мають високочастотний (10-15 МГц) діапазон частот і спеціального оснащення: локальної іммерційної ванни з перетворювачем, пристрою подачі води в локальну ванну і її злив, скануючого пристрою.

УЗ контроль проводиться як на знятих з літака агрегатах в умовах ангара, так і безпосередньо на літаку на періодичних формах технічного обслуговування (ТО) або в міру необхідності. Локальність методу контролю (мінімальна зона контролю) - близько 5x5 мм, тобто виявляється вода з окремого чарунковому осередку. Чутливість методу становить 0,5 - 3 мм, продуктивність контролю: 0,5 - 2 м² / год.

Контроль проводиться при температурі навколишнього повітря від 5 до 40 °С (лід УЗ методом сприймається, як частина конструкції). При більш низьких температурах контрольовану зону варто нагрівати лампами накаливання,

електронагрівачами або повітрянагрівачами типу МП-85, при цьому в якості іммерсійної рідини використовується 50 %-ий розчин етилового спирту у воді. У зв'язку із забрудненням іммерсійної рідини в процесі контролю її варто міняти після перевірки 5-6 м² сотових панелей.

8. Фретінг-корозія обшивок з КМ (див. другий розділ четвертий підрозділ).

Причини виникнення: відносний рух контактуючих поверхонь в місцях, не передбачених конструктором в результаті мікропереміщень (болтові та заклепочні з'єднання в конструкціях з композитів, а саме місця прилягання болтів та заклепок до КМ).

Порядок усунення: зміна матеріалу контактуючих поверхонь, розсвердлення місць появи фретінг-корозії та вставка болтів і заклепок більшого діаметра (необхідність передбачити опис потрібної процедури в документації з ТО).

Примітка: більш детальніші відомості про фретінг-корозію, її прояви та засоби і шляхи боротьби з нею наведені нижче.

Присутність металічних заклепок та болтів в конструкціях із КМ має ще ряд недоліків, обумовлених впливом металу заклепки на з'єднувані деталі із КМ. Металічні заклепки та болти кородують від впливу компонентів полімерної матриці і волокон. Якщо в складі КМ містяться струмопровідні компоненти (вуглецеві волокна, які є активним катодом по відношенню до металів), то спостерігається інтенсивна електрохімічна корозія заклепок та болтів по границі їх контакту з КМ. Конструкції, призначені для експлуатації як радіопрозорі, електро- або теплоізолюючі, мають гірші характеристики через присутність в місцях з'єднання металічних болтів та заклепок. При виявленні корозії необхідно: замінити конструкцію або відновити, очистивши, знежиривши, заново з'єднати поверхні (клеєм, заклепками, болтами), за необхідністю за герметизувати, відновити ЛФП, періодично контролювати стан відновленого виробу.

Дефекти, які з'являються під час транспортування та зберігання, це – механічні (вм'ятини, забоїни, проколи конструкції), корозійні та інші пошкодження (наприклад, потрапляння вологи всередину сотової конструкції) в результаті

порушення встановлених норм консервації, транспортування та зберігання. Комплексні шляхи усунення дефектів: суворе дотримання встановлених норм, правил консервації, транспортування і зберігання, забезпечення необхідними пристроями та засобами (зокрема, для консервації), транспортом і правильно обладнаним місцем зберіганням (склад, що відповідає всім встановленим вимогам).

2.4 Фретінг-корозія – особливий вид руйнування контактуючих поверхонь

Фретінг-корозія (від англ. „fret”- роз’їдати) - це особливий вид руйнування контактуючих поверхонь, що виникає при їхньому відносному русі в процесі мікропереміщень (під час вібрації, зворотно-поступальних рухах, періодичних згинах або скручуваннях з’єднаних деталей). При цьому погіршується якість поверхонь деталей.

Фретінг-корозія відрізняється від звичайного зношування тим, що може виникати в таких місцях, де конструктор не передбачив можливості реального руху однієї поверхні відносно іншої (пресові з’єднання, клепані та болтові з’єднання та ін.). Фретінг-корозія супроводжується процесами зчеплення, абразивного руйнування, втомними процесами, що активізуються окислюванням та корозією, при цьому зменшується довговічність роботи з’єднання.

Цей вид руйнування має свої особливості в порівнянні з іншими видами руйнування поверхонь:

- процес фретінг-корозії відрізняється більшою інтенсивністю руйнування порівняно з іншими видами зношування поверхонь, причому кисень збільшує пошкодження;
- швидкість відносного переміщення контактуючих поверхонь при фретінг-корозії мала порівняно з швидкостями при звичайному терті ковзання;
- мала амплітуда переміщення ускладнює видалення продуктів зношення із зони контакту.

Частіше фретінг-корозія розвивається у болтових та заклепочних з'єднаннях. Послідовне вивчення фретінг-корозії на деталях машин, а також в лабораторних умовах дало можливість встановити існування трьох періодів розвитку цього виду руйнування поверхонь.

В першому періоді фретінг-корозії спостерігається зміцнення поверхонь контакту і циклічної текучості поверхневих шарів. Більша частина виступів фактичного контакту взаємодіє одна з одною пластично. Цьому сприяє скріплення металу та композиту в нерівностях, що стискаються, після руйнування природних оксидних плівок металу. Зруйновані внаслідок утомленості виступи і зрізані вузли зчеплення створюють первинні продукти руйнування, частина з яких окислюється. Вже в першому стані фретінг-корозії на деякій глибині виявляються ділянки з поступовою втратою міцності.

В другому періоді фретінг-корозії в поверхневих шарах продовжують накопичуватися пошкодження від утомленості, формуються корозійно-активні середовища внаслідок адсорбції на окислах кисню і вологи. В цьому періоді може відбуватися інтенсифікація окислювання за рахунок утворення дрібнозернистої незміцненої структури. Другий період можна назвати інкубаційним. Протягом нього періоду відбувається інтенсивне зменшення міцності підповерхневого шару. На цій стадії прогресують явища, які супроводжуються процесами зміцнювання та втрати міцності, а також появою мікротріщин від утомленості.

Останній період фретінг-корозії пов'язаний із завершальним знеміцненням зон пошкодження, попередньо розпушених втомними та корозійними процесами. З урахуванням протікання електрохімічних процесів цю стадію можна назвати стадією корозійно-утомного руйнування. У цей період поверхневі шари композиту, які тривалий час зазнають циклічних деформацій, стають настільки знеміцненими, що втрачають стійкість і починається їхнє прогресуюче руйнування з виділенням продуктів зносу (у вигляді порошку чорного та червоного кольорів).

Інтенсивність руйнування поверхонь, які контактують між собою при фретінг-корозії, як і при інших видах зношування залежить від цілого ряду факторів:

зовнішніх механічних дій, хімічної активності газового середовища, природи контактуючі матеріалів, властивостей продуктів зношення і т. ін.

Параметрами зовнішньої механічної дії є: тривалість навантаження, частота коливань, які в основному визначають характер та інтенсивність руйнування контактуючих металевих поверхонь при фретінг-корозії. При збільшенні кількості циклів навантаження збільшується рівень зношення контактуючих поверхонь. В даному випадку, можлива поява фретінг-корозії в виробах з КМ пов'язана з наявністю у з'єднаннях металічних елементів.

2.5 Анодне оксидування алюмінію

Процес анодування включає в себе наступні етапи: знежирення, травлення, освітлення, анодування алюмінієвого профілю та ущільнення. Під час проведення процедури, лист алюмінію занурюють в хімічно-кислотну ванну, де у більшості випадків використовується ацетон. При цьому алюміній стає позитивним анодом, а кислотна ванна – негативним. З метою покращення якості готового профілю, перед проведенням процедури обробляють поверхню щітками з нержавіючої сталі (шліфування) чи дробним потоком. Ця процедура дозволяє видалити дефекти пресування та отримати ідеальну однорідну матову поверхню. При анодуванні на метал впливає електричний струм, тому захисна плівка росте як на поверхні так і в середині. За рахунок цього досягається максимальна міцність поверхні.

Анодований алюміній – це алюміній зі спеціальним покриттям, який отримують електролітичним методом – найбільш ефективним засобом для захисту поверхні металу від корозії, тобто від окиснення на відкритому повітрі. Таким чином, він не відшаровується та попереджує внутрішню деструкцію.

Основні переваги алюмінію:

- низька вага: 2.7 г/см^3 (сталь 7.85 г/см^3). Алюміній є легкий метал, маса елемента з алюмінію дорівнює $1/3$ вазі одного елемента, виготовленого зі сталі, що полегшує транспортування і експлуатацію великих алюмінієвих конструкцій;

- велику стійкість до механічних навантажень-високе відношення витримки до густини і маси, після завальцовки параметри алюмінію відповідають параметрам сталі, яка дозволяє його застосування як кращу альтернативу більш важким металам при збереженні параметрів витримки;

-легкість при обробці під тиском: легке формування алюмінію в різних виробничих процесах;

- естетичний зовнішній вигляд – декоративні гідності;
- повний рециклінг - матеріал для багатократної обробки;
- можливість анодування та покраски в різноманітні кольори.

Для антикорозійного захисту алюмінієвих поверхонь застосовується анодування.Додатково в процесі анодування алюміній приймає один з 12 різних кольорів, при цьому покращуються його естетичні властивості та декоративні можливості.

Анодовані алюмінієві поверхні:

- виключається вірогідність корозії;
- можливість застосування на приморських територіях (на відміну від інших металів);
- шар анодування нерозривно пов'язан з поверхнею, що робить неможливим його відслоювання чи поява тріщин;
- високо-естетичний вигляд покриття;
- товщина анодованого слою мінімум 20 мікронів (для агресивних умов мінімум 25 мікронів);
- висока стійкість до UV випромінювання;
- тривалий період експлуатації, немає необхідності в періодичному відновленні анодованої поверхні;
- покращення таких властивостей алюмінію як твердість, стійкість до термічного впливу;
- чистота поверхні: мінімізація появи забруднень;

- твердість анодів відповідає твердості корунду (9 по 10-ти бальній шкалі Мооса, при цьому у алмаза 10 балів);
- процес анодування нешкідливий до навколишнього середовища;
- широка гама кольорів анодування.

Необроблений алюміній підвержен забрудненням, а в забрудненому та агресивному середовищі – корозії. Зовнішня поверхня покривається дуже тонким, пасивним та нерівномірним оксидним шаром, який не вигідно впливає на естетику алюмінію та не захищає його в достатній мірі від сильних корозійних факторів, таких як, наприклад, кислотні дощі, дорожня сіль, несподівана зміна температур при великій вологості повітря.

Застосування анодованого алюмінію має принципове значення особливо в кліматичній зоні, де взимку алюмінієві поверхні піддаються контактам зі з'єднанням солі та інших їдких речовин.

Як бачимо на рисунок 2.3, необроблений алюміній піддається забрудненням, а в забрудненому та агресивному середовищі – корозії.



Рисунок 2.3 – Анодне оксидування алюмінію

Процес виготовлення (рисунок 2.4) починається з електрохімічного полірування алюмінієвої стрічки – основи. Потім методом вакуумного напилення наносяться шари (їх може бути кілька, при чому різного складу: з чистого алюмінію, оксиду алюмінію чи алюмінію, легованого марганцем), які збільшують коефіцієнт

відбиття чи, навпаки, створюючи матову поверхню. Чим тонші шари, тим гірше показники по світло відбиттю та довговічності. Рівномірність нанесення шарів повинна бути виключно високою – від цього залежить відсутність інтерференційної покраски. В заключенні виробляється виглаження поверхні чи нанесення ребристого профілю за допомогою спеціальних машин; стрічка покривається захисною плівкою, котра буде зніматися перед упакуванням [36].



Рисунок 2.4 – Процес виготовлення алюмінієвої анодованої стрічки

В результаті анодування на поверхні алюмінієвої стрічки утворюється практично не руйнуюча оксидна плівка. Анодована поверхня не піддається корозії, на ній не проявляються плями та бульбашки, покриття не стирається та набуває антистатичні властивості. А головне, що при цьому анодований алюміній можливо різати, гнути, штампувати та пробивати у ньому отвори [36].

Висновки до розділу 2

В наш час композити все частіше і частіше застосовують в конструкціях літальних апаратів з огляду на високі характеристики міцності і жорсткості та малу масу в порівнянні з традиційними матеріалами (Д16, сталь, титан, сплави). Проте ці прогресивні матеріали зазнають негативного впливу навколишнього середовища, отримують пошкодження під час експлуатації та ТО, тому і в них виникає ціла низка дефектів (тріщини, вм'ятини, проколи, розшарування конструкцій, корозія та фретінг-корозія). Ці дефекти досліджені досить мало, але вони призводять до зниження працездатності як самого матеріалу, так і всієї конструкції в цілому.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ФРЕТИНГ-КОРОЗІЮ

3.1 Установка для дослідження фретинг-корозії

Виконання досліджень в області фретинг-корозії характеризуються великою різноманітністю методик, зокрема стосовно схеми навантаження та типу контакту, оцінки пошкодження поверхні. Вибір методики будемо проводити у відповідності з двома вимогами:

1) моделювання фретинг-корозії в лабораторних умовах повинно максимально наближатися до умов виникнення цього виду поверхневого руйнування в реальних конструкціях;

2) вибрана методика повинна давати можливість проводити порівняння отриманих результатів з даними інших робіт.

До випробувального обладнання у зв'язку зі специфікою виникнення фретинг-корозії пред'являються наступні вимоги:

а) кріплення зразків в затискувальних пристроях повинні бути вільними від люфтів;

б) необхідність забезпечення жорсткості крученню та малої деформації обладнання;

в) наявність віброковзального руху з регульованою частотою та амплітудою;

г) наявність контрольованої нормальної сили для створення необхідного контактного тиску;

д) можливість підводити змащувальний матеріал.

Вітчизняні та зарубіжні дослідники використовували такі типи контакту як: сфера – площина, циліндр – площина, циліндр – сфера, циліндр – циліндр та площина – площина. Дослідження проводяться, як правило, на лабораторних установках, при цьому підтримується постійний контакт зразків під певним

навантаженням. Різноманітні типи контакту мають свої переваги та недоліки. До недоліків контакту площина – площина можна віднести неоднакові умови зношування робочих ділянок зразків, оскільки амплітуда переміщень при такій схемі прямо пропорційна відстані від осі обертання. Цей недолік усувається вибором оптимальної геометрії одного зі зразків. При інших видах контакту відбувається нерівномірний розподіл тиску в зоні контакту, а це призводить до різноманітних умов зношування.

В основу прийнятої методики проведення роботи покладено комплексне дослідження якісних параметрів тертя трибопар. Схема контакту площина – площина використана на установці типу МФК (ГОСТ 23.211-80), загальний вигляд якої показано на рисунок 3.1.

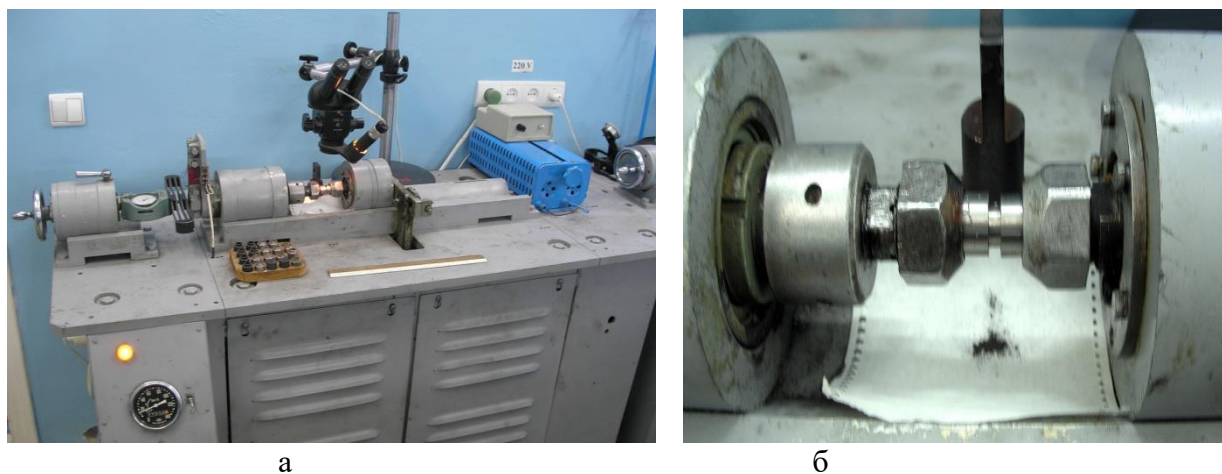
Основними перевагами даного методу є:

- можливість швидкої оцінки зносостійкості матеріалів та покриттів в умовах фретинг-корозії;
- отримання задовільних результатів дослідження при мінімальній кількості випробуваних зразків;
- простота методу та відповідного обладнання;
- можливість безступеневого регулювання частоти, нормального навантаження та амплітуди мікропереміщень;
- проведення випробувань з використанням пластичних та рідких мастильних матеріалів;
- реєстрація сили тертя в процесі випробувань.

Вибір плоского кільцевого контакту та зворотно-обертального руху поверхонь контакту обумовлений необхідністю контролю нормального навантаження та усунення крайового ефекту.

Сутність методу заключається в тому, що рухомий циліндричний зразок (контрзразок) дотикається торцем до нерухомого циліндричного зразка при заданому тиску, здійснює зворотно-обертальний рух з заданою амплітудою та частотою. Число циклів – задане, після випробувань вимірюється знос

нерухомого зразка та робиться висновок про зносостійкість досліджуваного матеріалу.

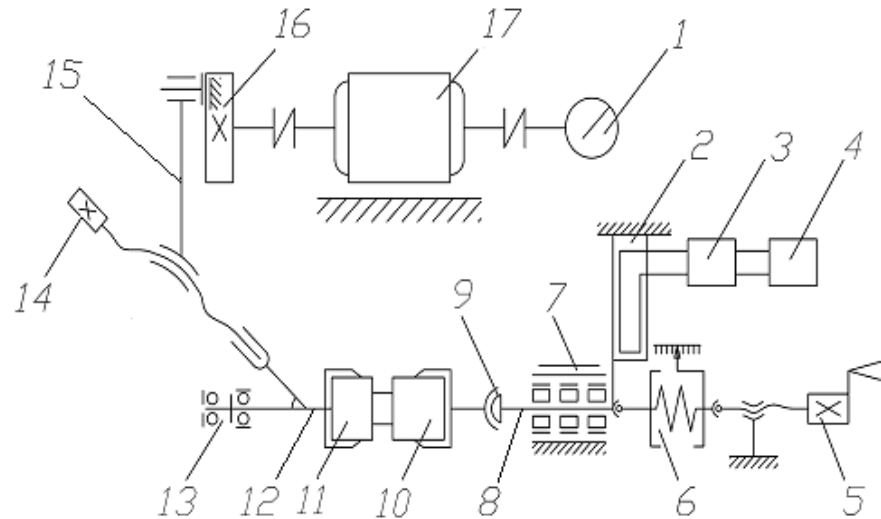


а) – загальний вигляд установки; б) – цанги установки МФК зі зразками

Рисунок 3.1 - Зовнішній вигляд установки МФК для досліджень на фретинг-корозію

Принципальна схема установки МФК наведена на рисунок 2.2. Установка працює наступним чином. Електродвигун 17 передає обертальний рух ексцентрику 16 з регульованим ексцентриситетом. Частота обертання та кількість обертів реєструються приладом 1. Ексцентрик 16 через шатун 15 зв'язаний з кулісою 13 валу 12 приводу зворотно-обертального руху контрзразка 11. Амплітуда переміщення контрзразка 11 регулюється ексцентриком 16 та підлаштовуючим пристроєм 14. Нерухомий зразок 10 закріплюється в самоцентрувальній цанзі 9, яка встановлена на валу 8 рухомої бабки 7. Навантаження зразків здійснюється навантажувальним пристроєм 5. Величина осьового навантаження на зразки реєструється динамометром 6 (ЗИП 02-79 типу ДОСМ-3-0,2; ГОСТ 2283-79) з границею вимірювання від 0,2 до 2 кН. Реєстрація сили тертя здійснюється приладом 4 (НО 71.5М) через підсилювач 3 (8-АНЧ-7М) за допомогою тензобалки 2. Кількість циклів дослідження контролюємо лічильником, встановленим на передній панелі установки.

Амплітуда коливань регулюється зміною ексцентрика (грубо) та зміною довжини плеча горизонтального шатуна (точно). Грубе регулювання амплітуди дозволяє змінювати її величину в межах від 10 до 1000 мкм, точна – від 5 до 15 мкм.



1 – лічильник обертів; 2 – тензобалка; 3 – підсилювач; 4 – реєструюча апаратура; 5 – навантажувальний пристрій; 6 – динамометр; 7 – рухома бабка; 8 – вал рухомої бабки; 9 – самоорієнтувальна цанга; 10 – нерухомий зразок (контрзразок); 11 – рухомий зразок; 12 – вал приводу зворотно-обертального механізму; 13 – куліса; 14 – підлаштовуючий пристрій; 15 – вертикальний шатун; 16 – ексцентрик; 17 – електродвигун

Рисунок 3.2 - Принципіальна схема установки МФК

Амплітуда відносного переміщення визначається як різниця амплітуд коливання рухомого та нерухомого зразків. Вимірювання амплітуди здійснюється безпосередньо на зразках за допомогою оптичного бінокулярного мікроскопа МБС-2, х8 - 98 з використанням стробоскопічного ефекту.

Установка дозволяє здійснювати досліди при наступних параметрах:

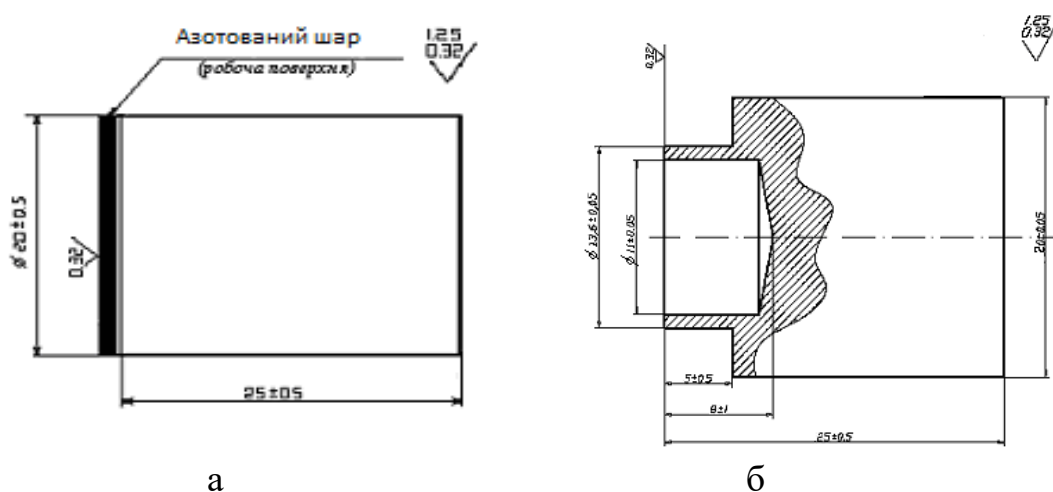
1. навантаження зразків в осьовому напрямку силами від 200 до 1000 Н;
2. зворотно-обертальний рух контрзразка відносно нерухомого зразка з частотою від 10 до 30 Гц та амплітудою від 10 до 1000 мкм;

3. вимірювальна система установки забезпечує в процесі експерименту безперервну реєстрацію кількості циклів зворотно-поступального руху контрзразка з похибкою не більше 50 циклів.

3.2 Зразки для дослідження зношування

Креслення зразків для досліджень представлені на рисунку 3.3. Контакт зразків, що випробовуються, здійснюється по поверхні, яка являє собою замкнуте кільце з номінальною площею контакту $0,5 \text{ см}^2$, внутрішнім діаметром 11мм та зовнішнім діаметром 13,6 мм.

Зразки промиваємо та висушуємо до та після експерименту. У якості рідин для промивання використовуємо: бензин ГОСТ 443-76, ацетон ГОСТ 2603-79, спирт етиловий ГОСТ 18300-72. Перед проведенням дослідів перевіряємо та маркуємо вимірювальну та реєструвальну апаратуру.



а) – нерухомий зразок; б) – рухомий зразок (контрзразок)

Рисунок 2.3 - Зразки для дослідження зношування

3.3 Вимірювання величини зносу

Вимірювання зносу зразків здійснюється за допомогою оптиметра вертикального типу ІКВ шляхом зняття профілограм з восьми ділянок робочої поверхні зразка в радіальному напрямі згідно рисунку 3.4. Важливою перевагою

визначення зносу лінійним методом є те, що величина зносу не залежить від питомої ваги матеріалу та можливих змін маси зразків.

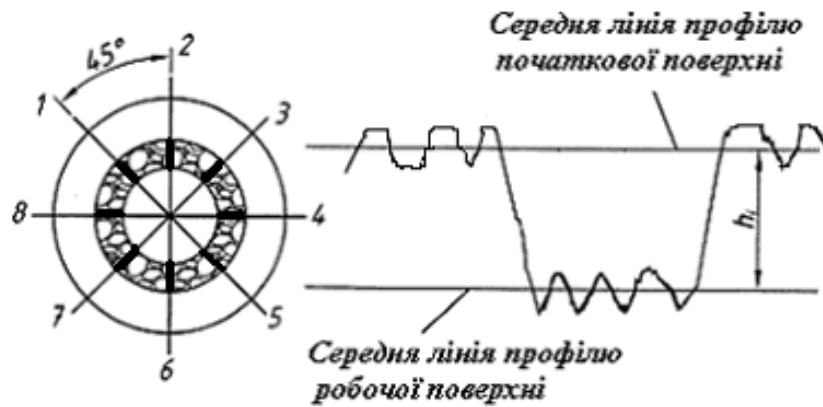


Рисунок 2.4 - Схема вимірювання зносу зразків після проведення досліджень на зношування

Знос h_m зразка визначаємо за формулою (3.1):

$$h_m = \frac{\sum_{i=1}^8 h_i}{8} \quad (3.1)$$

де h_i - відстань на профілографі доріжки тертя між середніми лініями профілю початкової та робочої поверхонь згідно ГОСТ 2789-73.

Проте, здійснюючи вимірювання оптиметром, середню лінію профілю початкової поверхні безпосередньо визначити практично неможливо (оскільки розташувати голку точно на середній лінії профілю початкової поверхні і при цьому виставити на нуль лінійку в окулярі оптиметра дуже складно). Тому потрібно скористатися запропонованою нижче методикою. При цьому вимірюються сім точок на восьми ділянках таким чином: по одній справа і зліва якомога ближче до робочої поверхні та п'ять точок на самій робочій поверхні ділянки. Таким чином знаходиться попередня величина зносу (назвемо її умовною величиною зносу).

Значення цієї величини відраховуємо від позначки 0 – 0 по лінійці оптиметра (яку видно в окуляр) до трикутника (знаходиться зліва), який може розташуватися вгорі (додатні значення) або знизу (від’ємні значення).

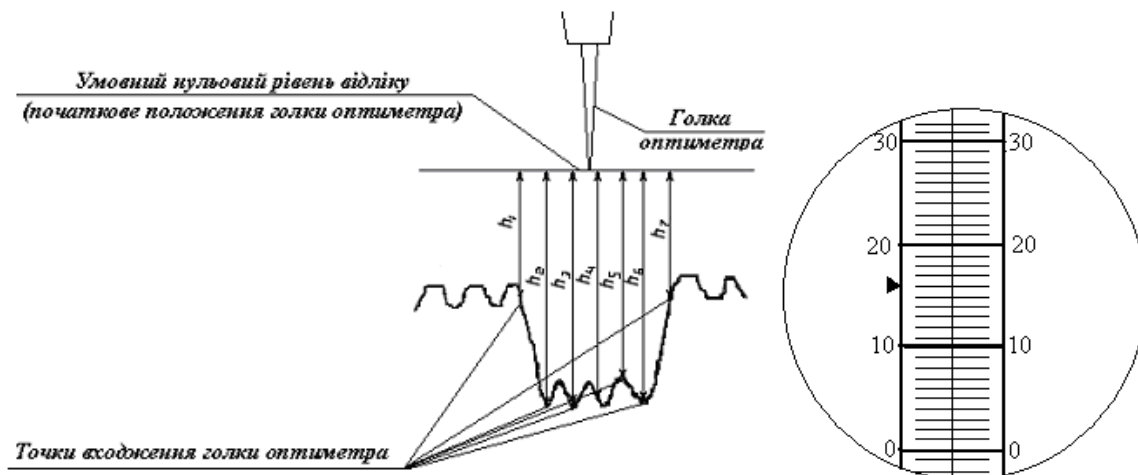


Рисунок 3.5 - Схема вимірювання попередніх (умовних) величин зносу за допомогою оптиметра (ліворуч) та приклад визначення попередньої величини зносу, що дорівнює 16 мкм (праворуч)

Спочатку знаходимо середнє значення попередньої величини зносу на краях поблизу робочої поверхні:

$$h_{\text{ср}_\text{край}} = \frac{h_1 + h_7}{2} \quad (3.2)$$

Причому різниця між h_1 та h_7 не повинна перевищувати 10 мкм.

Потім знаходимо середнє значення умовної величини зносу на робочій поверхні:

$$h_{\text{ср}_\text{рп}} = \frac{h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6}{5} \quad (3.3)$$

Нарешті, знаходимо різницю (3.3.3.) та (3.3.2.), що і буде реальною величиною зносу на одній з восьми ділянок робочої поверхні досліджуваного зразка:

$$h_{\text{зносу}_v} = h_{\text{ср}_\text{рп}} - h_{\text{ср}_\text{край}} \quad (3.4)$$

Тоді величина зносу одного зразка буде обчислюватися за формулою:

$$h_m = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} \quad (3.5)$$

3.4 Фрактографічні дослідження композиційних матеріалів

Фрактографія. Під фрактографією пошкоджень контактуючих поверхонь, в данному випадку, маємо на увазі визначення видів, слідів контактної взаємодії, аналіз яких дозволяє виявити особливості поверхонь руйнування – стінок і днища ямок, рісок, канавок і так далі. Атакож класифікацію слідів (пошкодження) з метою визначення провідного механізму зношування поверхні.

Перший етап лабораторного аналізу – дослідження поверхонь зовнішнім оглядом. В більшості випадків на поверхнях завжди спостерігаються оксиди. Не дивлячись на те, що продукти ФК багатообразні по своєму зовнішньому прояву, природі і структурі можна визначати, з великою часткою вірогідності, процеси руйнування при ФК за кольором оксидів на пошкоджених поверхнях.

Видалення продуктів зносу з аналізованої поверхні. Практично у всіх випадках можна зробити наступнимскладом:

Склад №1

- 1.Плавикова кислота.....5 мл.
- 2.Азотна кислота.....5 мл.
- 3.Вода.....90 мл.

Склад №2

- 1.Гідрохінон.....4 гр.
- 2.Ортофосфорна кислота (конц.).....22 мл.
- 3.Спирт.....20 мл.
- 4.Вода.....100 мл.

Оброблена за даною технологією поверхня, готова для подальшого аналізу (третій етап дослідження пошкоджених поверхонь) за допомогою бінокулярного мікроскопа МБС-9. За допомогою методів оптичної металографії, проводилися

дослідження характерних змін, що відбуваються на поверхні і в поверхневих шарах зразків трібопар. Вивчали пластичні деформації, розвиток мікротріщин, окислення поверхонь і так далі. Всі досліджені поверхні розглядалися при різних збільшеннях від 5 до 500 крат. Велику увагу, при цьому, необхідно приділяти розташуванню джерел світла.

Металографія. Вимір мікротвердості є одним із засобів аналізу структурних вимірів, що виникають в поверхневих шарах в процесі тертя. Мікротвердість поверхневих шарів матеріалів в перетині визначали на шліфах, виготовлених в спеціальних струбцинах, що оберігають краї шліфів від завалів при поліруванні. Шліфи дозволяють робити виміри мікротвердості в найтонших поверхневих шарах металів від самого краю від поверхні тертя. Вимір мікротвердості структурних складових проводили на приладі ПМТ-3 при навантаженні 20 і 50 гр. відповідно до ГОСТ 9450-89. В кожному випадку проводилося не менше 9 вимірів мікротвердості, досліджуваної структурної складової. Приведені значення мікротвердості, є середньоарифметичними значеннями вимірів.

Висновки до розділу 3

1. Вибрана установка та параметри проведення випробування для дослідження композиційних матеріалів та металів на фретингостійкість.
2. Вибраний лінійний метод визначення зносу як найбільш оптимальний та достовірний для даного виду досліджень.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

4.1 Підготовка зразків для проведення дослідження композиційних матеріалів на фретинг-корозію

Експеримент здійснюємо з наступними композитами: це полімерні композити (склопластики) з наповнювачем зі склотканини Т-10-14 та зв'язуючими: ЭДТ-69Н (білий колір, чотири шари), 5-211-БН (світло-жовтий колір, два шари та темно-жовтий колір чотири шари), ФП-520 (темно-червоний колір, шість шарів). Товщина одного шару препрега згідно технологічної документації на виготовлення цих КМ складає 0,24 мм.

Спочатку композити вирізаємо ножицями, ножівкою та обточуємо на точильному станку у вигляді кругів (по три на кожний різновид КМ плюс чотири для налаштування установки МФК-1). Таким чином, маємо шістнадцять зразків для проведення експерименту). Після цього наклеюємо композити на металічні бочонки. Використовуємо клей „Суҗаноран МЕ” (основа – ціанакріл), товщина шару клею не повинна перевищувати 0,5 мм. Всі зразки нумеруємо у такій послідовності:

- наповнювач: склотканина Т-10-14, зв'язуюче 5-211-БН (світло-жовтий колір, два шари): №1, №2, №7;
- наповнювач: склотканина Т-10-14, зв'язуюче ЭДТ-69Н (білий колір, чотири шари): №4, №5, №6 плюс зразки для налаштування установки: №3, №14;
- наповнювач: склотканина Т-10-14, зв'язуюче 5-211-БН (темно-жовтий колір, чотири шари): №8, №9, №10.
- наповнювач: склотканина Т-10-14, зв'язуюче ФП-520 (темно-червоний колір, шість шарів): №12, №15, №16 плюс зразки для налаштування установки: №11, №13.

4.2 Вихідні дані експерименту

Після відпрацювання різних режимів роботи установки МФК-1 та підбору матеріалів контрзразків було прийняте рішення про наступні вихідні дані.

Кількість циклів $n = 300000$.

Навантаження, що задається динамометром: $N = 50 \text{ кГ} = 10 \text{ МПа}$.

Амплітуда коливань: $A = 175 \text{ мкм}$.

Контрзразки: сталь 30ХГСА, Д16.

Моделювання фретинг-корзії: у заклепочних (Д16) та болтових з'єднаннях (30ХГСА). При цьому здійснювався контроль сили тертя (з інтервалом у 10000 циклів). Кількість зразків (чистових, тобто тих, що досліджуються): дванадцять. Кількість зразків (чорнових, для налаштування установки): чотири.

Зразки композитів випробовувалися з контрзразками в трибопарах, наведених в таблиці 4.1 (примітки подані для зразків, які використовувалися для налаштування установки з зазначеними відмінностями). Так як наповнювач у склопластиках є однаковим (склотканина Т-10-14), то класифікувати КМ в цій таблиці будемо за зв'язуючими.

Таблиця 4.1 - Трибопари для дослідження

Зв'язуюче	Трибопара	Примітка
5-211-БН (2 шари)	№2 контрзразок - Д16	
	№7 анодований сплав – Д16Т	
	№7 контрзразок - сталь 30 ХГСА	
ЭДТ-69Н (4 шари)	№5, №6 контрзразок – Д16	$n = 200000, N = 20 \text{ МПа}$
	№6 анодований сплав – Д16Т	
	№4 котрзразок - сталь 30 ХГСА	
ФП-520 (6 шарів)	№12, №15 контрзразок – Д16	$n = 300000, N = 10 \text{ МПа}, \text{ сталь } 40\text{X}$
	№16 анодований сплав – Д16Т	
	№16 контрзразок – сталь 30 ХГСА	$n = 100000, N = 10 \text{ МПа}$

4.3 Обчислення величин зносу зразків

Представимо визначення величини зносу лише для чистових зразків (див. третій підрозділ третього розділу). Наведемо лише кінцеві розрахунки величини зносу самих зразків, див. формулу (3.5).

1. Композиційний матеріал з наповнювачем зі склотканини Т-10-14 та зв'язуючим 5-211-БН (два шари).

Величина зносу зразка №1 $h_{m, \text{№}1}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}1} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{58,9 + 16,3 + 27,9 + 30,1 + 2,8 + 25,6 + 56,4 + 47,4}{8} \approx 33,2 \text{ мкм}$$

Величина зносу зразка №2 $h_{m, \text{№}2}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}2} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{106,7 + 109,2 + 104 + 114,5 + 113,3 + 97,6 + 110,1 + 109,5}{8} \approx 108,1 \text{ мкм}$$

Величина зносу зразка №7 $h_{m, \text{№}7}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}7} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{34,4 + 63 + 43,2 + 50,4 + 45,1 + 33,4 + 50,8 + 31,6}{8} \approx 44 \text{ мкм}$$

2. Композиційний матеріал з наповнювачем зі склотканини Т-10-14 та зв'язуючим ЕДТ-69Н (чотири шари).

Величина зносу зразка №4 $h_{m, \text{№}4}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}4} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{13 + 14,3 + 23 + 29,5 + 27,9 + 9,7 + 3 + 12,2}{8} \approx 16,6 \text{ мкм}$$

Величина зносу зразка №5 $h_{m, \text{№}5}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}5} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{73,6 + 70,1 + 67,2 + 70,8 + 23,6 + 20,2 + 19,4 + 22,1}{8} \approx 45,9 \text{ мкм}$$

Величина зносу зразка №6 $h_{m, \text{№}6}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}6} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{носу}_v}}{8} = \frac{64,7 + 22,8 + 69,6 + 8 + 81,6 + 72 + 89,2 + 71,8}{8} \approx 60 \text{ мкм}$$

3. Композиційний матеріал з наповнювачем зі склотканини Т-10-14 та зв'язуючим 5-211-БН (чотири шари).

Величина зносу зразка №8 $h_{m, \text{№}8}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}8} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{11,4 + 43,1 + 15 + 27,2 + 52,9 + 53,8 + 9,2 + 3,4}{8} \approx 27 \text{ мкм}$$

Величина зносу зразка №9 $h_{m, \text{№}9}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}9} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{68,7 + 69,4 + 64,3 + 60,9 + 3 + 11 + 76 + 70,5}{8} \approx 53 \text{ мкм}$$

Величина зносу зразка №10 $h_{m, \text{№}10}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}10} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{69,9 + 14,3 + 50,4 + 15 + 17,7 + 57,7 + 27,4 + 37,2}{8} \approx 36,2 \text{ мкм}$$

4. Композиційний матеріал з наповнювачем зі склотканини Т-10-14 та зв'язуючим ФП-520 (шість шарів).

Величина зносу зразка №12 $h_{m, \text{№}12}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}12} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{357 + 339,5 + 324 + 350 + 355 + 341,1 + 334 + 330}{8} \approx 341,3 \text{ мкм}$$

Величина зносу зразка №15 $h_{m, \text{№}15}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№}15} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{404 + 472 + 459 + 450,5 + 476 + 462 + 451 + 449}{8} \approx 453 \text{ мкм}$$

Величина зносу зразка №16 $h_{m, \text{№}16}$ буде становити:

$$h_{m, \text{№16}} = \frac{\sum_{v=1}^8 h_{\text{зносу}_v}}{8} = \frac{95,1 + 99,9 + 126,7 + 119,1 + 97,7 + 70,8 + 93,7 + 97,65}{8} \approx 100,1 \text{ мкм}$$

Отримані результати величин зносу зразків занесемо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Величини зносу h_{mi} зразків композитів

Зв'язуюче	Трибопара	Величина зносу h_{mi} ,мкм
5-211-БН (2 шари)	№2 контрзразок – Д16	100,1
	№7 анодований сплав – Д16Т	24
	№7 контрзразок – сталь 30 ХГСА	48
ЭДТ-69Н (4 шари)	№5, №6 контрзразок – Д16	53
	№6 анодований сплав – Д16Т	22
	№4 контрзразок – сталь 30 ХГСА	23
ФП-520 (6 шарів)	№12, №15 контрзразок – Д16	398
	№16 анодований сплав – Д16Т	28
	№16 контрзразок – сталь 30 ХГСА	100,1

4.4 Вказівки до виконання анодного оксидування

Розглянемо схему анодування алюмінію. Вона включає:

1. Видалення забруднень.
2. Монтаж для підвіски.
3. Знежирення.
4. Миття в гарячій і холодній проточній воді.
5. Травлення.
6. Миття в теплій і холодній проточній воді.
7. Освітлення.
8. Миття в холодній проточній воді.

9. Анодування.
10. Миття в холодній проточній воді.
11. Наповнення.
12. Миття в теплій проточній воді.
13. Сушка, демонтаж підвісок.
14. Контроль якості анодної плівки.

Розберем тепер кожен пункт окремо.

1. Видалення забруднень.

Видалення забруднень проводити за допомогою бензину з присадкою «СИГБОЛ» чи миючими засобами типу АС-1, Деперол.

2. Монтаж для підвіски.

Деталі монтувати на підвіски, виготовлені з алюмінієвих чи титанових сплавів. При монтажі необхідно забезпечити гарний контакт деталей з підвісками. В наслідок того, що деталі в місцях контакту з підвісками не анодуються, площа контактних поверхонь повинна бути по можливості мінімальною, але достатньою для запобігання перегрівання в місцях контакту при проходженні струму.

3. Знежирення.

Проводиться в фосфатно-лужному розчині наступного складу (г/л)

Тринатрійфосфат 20-50

Їдкий натрій 8-12

Скло рідке натрієве 25-35

Режим: температура 40-70 °С

Час до повного обезжирення(візуально)

4. Миття в гарячій і холодній проточній воді.

Деталі щільно промити послідовно в гарячій та холодній воді. Добре промиті деталі повинні повністю змачуватися водою.

5. Травлення.

Травлення деталей проводити в розчині їдкого натрію з концентрацією 40-60 г/л при температурі (45-60) °С. Час травлення 1,0-2,0 хвилини. Деталі, оброблені за високим класом чистоти та з точними розмірами травленню не підлягають.

6. Миття в теплій і холодній проточній воді.

Деталі промити в теплій та холодній воді. Добре промиті деталі повинні повністю змачуватися водою.

7. Освітлення.

Освітлення проводити в розчині азотної кислоти з концентрацією 20-30 %. Температура розчину (18-25) °С. Час обробки - до повного видалення темного нальоту (2-5 хв.)

8. Миття в холодній проточній воді.

Деталі промити в холодній проточній воді.

9. Анодування.

Анодне окисдування проводиться в сірчаній кислоті концентрацією 180-200 г/л. Деталі, які підлягають анодному окисдуванню, підвішувати на анодні штанги. Катодом служать пластини зі свинцю чи нержавіючої сталі марки 12Х18Н10Т, які підвішують на катодні штанги.

Режим анодування:

- анодна густина струму 1,0-1,5 А/дм²
- температура електроліту (13-25) °С
- кількість пропущеної електрики 35А*хв/дм²
- напруга на шинах ванн 13-24В

10. Змивка у холодній проточній воді

Деталі після анодування змити в холодній воді шляхом 3-х – 4-х кратного занурення і витримки під водою протягом 3-х хвилин.

11. Наповнення

Наповнення анодної плівки проводять у гарячій воді або в розчині інгібірованого складу "Гама-1" в залежності від вимог посібника по ремонту або креслення.

Для наповнення анодною плівки у воді за шифром Ан, Окс.нв. використовувати конденсат або водопровідну воду. Температура води (90-95) °С. Тривалість обробки 20-25 хв, рН води підтримувати додаючи сірчаної кислоти в межах 5,6 – 6,5.

Для наповнення анодною плівки в розчині інгібірованого складу "Гама-1" за шифром Ан.Окс.нхр. застосовувати розчин до складу якого входить 5,0-6,5 г/л інгібірованого складу "Гама-1". Температура розчину (70-75) °С. Тривалість обробки 6-15 хв. рН розчину 6,5-7,5 і контролювати один раз за зміну.

12. Промивання у теплій проточній воді

Деталі промити у теплій проточній воді, температура якої (40-59) °С. При промиванні деталі занурювати у воду декілька разів.

13. Сушка, демонтаж з підвісок

Деталі висушувати обдувом теплим стисненим повітрям до повного видалення вологи. Деталі демонтувати з підвісок, обережно, так як анодна плівка легко руйнується при механічному впливі.

14. Контроль якості анодної плівки

Контроль якості анодної плівки проводять по зовнішньому виду, товщині окисного шару відповідно до СТП 410.0307-79.

Висновки до розділу 4

Найкращі зносостійкі характеристики (найменші середні величини зносу) мають композити на основі зв'язуючих ЭДТ-69Н та 5-211-БН (там, де матеріал складається з чотирьох шарів препрега та вакуум-автоклавне формування здійснювалося при температурі 120 °С. В першому випадку це пояснюється фізико-механічними та хімічними властивостями самого зв'язуючого, в другому – більшою в два рази товщиною матеріалу та, можливо, вищою на 10 °С температурою вакуум-автоклавного формування .

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ФРЕТІНГ-КОРОЗІЮ

5.1 Аналіз результатів дослідження

Визначимо середні величини зносу h_{mcp} зразків (додатково таблиця 4.2).

Для КМ на основі зв'язуючого 5-211-БН (два шари, контрзразок – сталь 30ХГСА):

$$h_{mcp1} = \frac{33,2 + 44}{2} = 38,6 \text{ мкм}$$

Для КМ на основі зв'язуючого 5-211-БН (два шари, контрзразок – Д16):

$$h_{mcp2} = 108,1 \text{ мкм}$$

Для КМ на основі зв'язуючого ЕДТ-69Н (чотири шари, контрзразок – сталь 30ХГСА):

$$h_{mcp3} = 16,6 \text{ мкм}$$

Для КМ на основі зв'язуючого ЕДТ-69Н (чотири шари, контрзразок – Д16):

$$h_{mcp4} = \frac{45,9 + 60}{2} \approx 53 \text{ мкм}$$

Для КМ на основі зв'язуючого 5-211-БН (чотири шари, контрзразок – сталь 30ХГСА):

$$h_{mcp5} = 27 \text{ мкм}$$

Для КМ на основі зв'язуючого 5-211-БН (чотири шари, контрзразок – Д16):

$$h_{mcp6} = \frac{36,2 + 53}{2} = 44,6 \text{ мкм}$$

Для КМ на основі зв'язуючого ФП-520 (шість шарів, контрзразок – сталь 30ХГСА):

$$h_{mcp7} = 100,1 \text{ мкм}$$

Для КМ на основі зв'язуючого ФП-520 (шість шарів, контрзразок – Д16):

$$h_{mcp8} = \frac{341,3 + 453}{2} \approx 397,2 \text{ мкм}$$

Зведемо отримані результати до таблиць 5.1 та 5.2.

Таким чином, як видно з таблиць, найгірші (найбільші) середні величини зносу мають КМ на основі зв'язуючих ФП-520 та 5-211-БН (там, де матеріал складається з двох шарів препрега та вакуум-автоклавне формування здійснювалося при температурі 110 °С. В першому випадку це пояснюється фізико-механічними та хімічними властивостями самого зв'язуючого, в другому – малою товщиною матеріалу. Гістограма величин зносу зразків наведемо на рисунок 5.1 та 5.2 (на цій гістограмі h_i – це середні величини зносу зразків композитів).

Таблиця 5.1 - Середні величини зносу зразків-трибопар (контрзразок – сталь 30ХГСА)

Зв'язуюче	Середня величина зносу h_{mcpj} , мкм
5-211-БН (2 шари)	38,6
ЭДТ-69Н (4 шари)	16,6
5-211-БН (4 шари)	27
ФП-520 (6 шарів)	100,1

Таблиця 5.2 - Середні величини зносу зразків композитів (контрзразок – Д16)

Зв'язуюче	Середня величина зносу h_{mcpq} , мкм
5-211-БН (2 шари)	108,1
ЭДТ-69Н (4 шари)	53
5-211-БН (4 шари)	44,6
ФП-520 (6 шарів)	397,2

Гістограма залежності величини зносу зразків від типу зв'язуючого, кількості шарів композиційного матеріалу та матеріалу контрзразка (Д16)

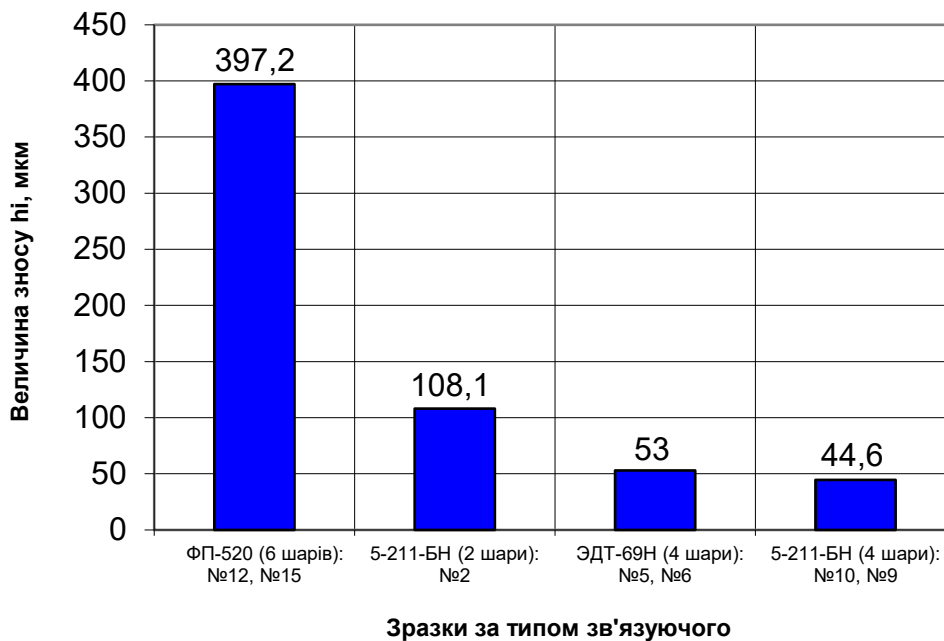


Рисунок 5.1 - Величини зносу зразків

Гістограма залежності величини зносу зразків від типу зв'язуючого, кількості шарів композиційного матеріалу та матеріалу контрзразка (сталь 30 ХГСА)

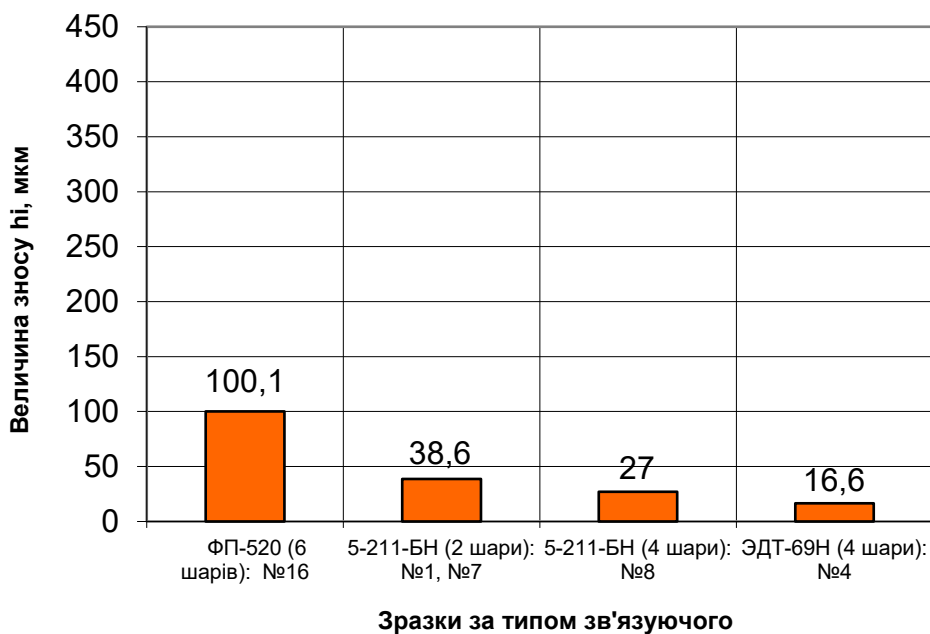


Рисунок 5.2 - Величин зносу зразків

Найкращі зносостійкі характеристики (найменші середні величини зносу) мають композити на основі зв'язуючих ЭДТ-69Н та 5-211-БН (там, де матеріал складається з чотирьох шарів препрега та вакуум-автоклавне формування здійснювалося при температурі 120 °С. В першому випадку це пояснюється фізико-механічними та хімічними властивостями самого зв'язуючого, в другому – більшою в два рази товщиною матеріалу та, можливо, вищою на 10 °С температурою вакуум-автоклавного формування .

5.2 Узагальнення результатів дослідження

Таким чином, фретинг-корозія стосовно КМ виникає в тих місцях, де не передбачено реальний рух однієї поверхні відносно іншої; це клепані та болтові з'єднання у вузлах навішування поверхонь керування, стики: залізів, обтікачів, композитних панелей з металевою обшивкою, вузли кріплення силових балок. Як результат – послаблення характеристик міцності та жорсткості всієї конструкції.

При моделюванні фретинг-корозії у болтовому та заклепковому з'єднаннях встановлено, що:

- при контактах Д16 з поверхнею композиту (на відкритому повітрі) утворюється оксид алюмінію Al_2O_3 , який дуже активно і інтенсивно сприяє швидкому зносу цієї поверхні (величини зносу в 3,97 - 1,65 рази більші, ніж при взаємодії зі сталлю 30ХГСА);

- при контактах сталі 30ХГСА з поверхнею композиту (на відкритому повітрі) утворюється оксид заліза Fe_2O_3 , який менш активно та інтенсивно впливає на величину зносу поверхні, проте ці величини для деяких видів композитів можуть бути дуже істотними (наприклад, на основі зв'язуючого ФП-520) і перевищувати 50 мкм.

Виявлення фретинг-корозії відбувалося: візуально, безпосередньо по продуктам зносу (чорний, червоний порошки - частинки композитів, окисли металів) та по доріжкам тертя.

На основі проведених експериментальних досліджень, для запобігання появи фретинг-корозії рекомендовано:

- суворо виконувати всі вимоги нормативно-технічної документації під час проектування, виготовлення (особливо складання) та експлуатації виробів з композиційних матеріалів;

- здійснення клепання бажано проводити на пресах (для отримання рівномірного зусилля клепання);

- при встановленні болтів обов'язково передбачити їхнє стопоріння (стопоріння шплінтами, шайбами бажано проводити зі сторони металу; стопоріння контргайками, дротом, самоконтрящими прорізними гайками можна проводити і зі сторони композиту) - як наслідок, рух поверхонь одна відносно одної зменшиться;

- для зниження концентрації напружень ефективним є нанесення сітки канавок певної глибини на поверхню (зокрема, металеву), яку потрібно захистити від руйнування перевірка цього методу, проведена на болтах з центруючим пояском при з'єднанні металевих поверхонь показала, що довговічність такого з'єднання в умовах фретинг-корозії збільшилася в три рази [6];

- як свідчать результати дослідження, контакти з металами, що містять у своєму складі алюміній, є небажаними, оскільки окисли цього металу сприяють інтенсивним процесам зносу композитів, діючи як наждачний папір; тому заклепки, болти та інші елементи з'єднання мають бути виготовлені зі сталі або інших матеріалів (наприклад, заливні заклепки із термопластів, які формуються після впорскування розплаву в порожнину, обмежену стінками отвору, через охолодження термопласта; комбіновані металопластикові заклепки, в яких металічна частина працює на зріз, а пластмасова - фіксує деталі від осьових переміщень; досить цікавим є використання заклепок із волокнистих полімерних композитів, адже підбором зв'язуючого в матеріалі заклепки можна здійснити зварне або клейове з'єднання на границі контакту тіла заклепки і з'єднаних

листів, при цьому міцність заклепкового з'єднання може бути підвищена на 40 % [4];

- в результаті проведеного експерименту з КМ на основі зв'язуючих 5-211-БН (два та чотири шари), ЭДТ-69Н (чотири шари), ФП-520 (шість шарів) та армуючого матеріалу (склотканина Т-10-14) встановлено, що найкращі зносостійкі характеристики мають композити з основою на зв'язуючих ЭДТ-69Н (чотири шари) та 5-211-БН (чотири шари); це варто враховувати при виборі КМ, які працюватимуть в умовах фретінг-корозії.

При усуненні фретінг-корозії (коли вона вже з'явилася і виявлена) необхідно:

- видалити продукти зносу (окисли, частинки композитів), знежирити поверхні;

- розсвердлити пошкоджені отвори до необхідного розміру, враховуючи ремонтні допуски;

- вставити елементи з'єднання більшого діаметра, використовувати лише ті болти, заклепки, гайки, шайби, які не містять у своєму складі алюміній; також можна скористатися заклепками із волокнистих полімерних КМ (повинна бути розроблена технологія проведення робіт з врахуванням зусиль та умов, в яких працюватиме той чи інший вид з'єднання);

- здійснити klepanня (бажано на пресі) заклепок; затяжку болтів, їхнє стопоріння; при цьому зусилля klepanня та сила затяжки повинні бути збільшені на 5-10 % від попередніх значень);

- при виявленні проявів фретінг-корозії на сумарній площі більше одного квадратного метру, необхідно поставити питання про заміну КМ, елементів з'єднання та кріплення на інші, більш зносостійкі;

- необхідно проводити додаткові теоретичні та експериментальні дослідження з композитами; активно співпрацювати в цих питаннях з розробником, виробником, експлуатантами та організаціями з відновлення працездатності авіаційної техніки.

Висновки до розділу 5

Найкращі зносостійкі характеристики (найменші середні величини зносу) мають композити на основі зв'язуючих ЭДТ-69Н та 5-211-БН (там, де матеріал складається з чотирьох шарів препрега та вакуум-автоклавне формування здійснювалося при температурі 120 °С. В першому випадку це пояснюється фізико-механічними та хімічними властивостями самого зв'язуючого, в другому – більшою в два рази товщиною матеріалу та, можливо, вищою на 10 °С температурою вакуум-автоклавного формування .

Таким чином, фретінг-корозія стосовно КМ виникає в тих місцях, де не передбачено реальний рух однієї поверхні відносно іншої; це клепані та болтові з'єднання у вузлах навішування поверхонь керування, стики: залізів, обтікачів, композитних панелей з металевою обшивкою, вузли кріплення силових балок. Як результат – послаблення характеристик міцності та жорсткості всієї конструкції.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники при роботі з авіаційною технікою

Згідно ДСТУ 2293-99 «Терміни та визначення»:

- шкідливий виробничий чинник – це виробничий чинник, вплив якого на працюючого робітника в певних умовах призводить до захворювання або зниження працездатності;

- небезпечний виробничий чинник – це виробничий чинник, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травми або раптового погіршення здоров'я.

Згідно класифікації небезпечних та шкідливих чинників (правила безпеки праці при технічному обслуговуванні і поточному ремонті авіаційної техніки ДНАОП 5.1.30 – 1.06 – 98), які впливають на стан здоров'я людини під час виробництва, насамперед, це:

- шум, що призводить до розладу нервової та серцево-судинної систем, втрати гостроти слуху, зниженню реакції та працездатності;

- вібрації (використання пневматичних інструментів). Вплив вібрації виробничого обладнання може призвести до вібраційної хвороби, яка характеризується порушенням шкіряної чутливості, спазмами судин рук, та сильним болем в суглобах та кістках;

- незахищеність рухомих елементів обладнання та машин. Обертаючі частини можуть викликати травмування та загибель людини;

- відділення часток оброблюваного матеріалу та інструменту. При обробці деталей на металорізючих станках, загостренні інструменту на абразивних дисках та інших роботах можливе відділення часток оброблюваного матеріалу та інструменту, а це може призвести до травмування робітників;

- шкідливі хімічні речовини; дана категорія небезпечних виробничих факторів обумовлена утворенням токсичних речовин та газів (вплив ПММ, розчинників);

- використання вибухо- тапожежонебезпечних матеріалів. Небезпека вибуху та пожеж може виникати при технологічних процесах, пов'язаних з використанням та збереженням ПММ; можливість пожеж та вибухів визначається вибухо- та пожежонебезпечними характеристиками речовин (температура спалаху та запалення, нижні та верхні концентрації меж запалення);

- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання, яке може пройти через тіло людини;

- недостатнє природне та штучне освітлення призводить до підвищення зорової втоми, великої кількості помилок, втрати зору, зниженню продуктивності праці та збільшенню ймовірності травмування.

6.2 Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Застосовуються наступні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих чинників:

- від впливу шуму застосовуються протишумні навушники при роботі на автоматах і пневмоінструментах;

- для зменшення шкідливого впливу вібрації необхідно інструмент облаштувати спеціальними віброрукоятками, а робітників забезпечити віброрукавицями; сумарний час впливу на робітника не повинен перевищувати 2/3 робочої зміни; вчасно організовувати проведення медичного огляду робітників; тривалість одноразового безупинного впливу вібрації ручних машин, включаючи мікропаузи, що входять у дану операцію, не повинна перевищувати 15 – 20 хвилин;

- рухомі елементи, приводні та передаточні механізми повинні бути обладнані захисними кожухами;

- при обробці деталей на металоріжучих станках, загостренні інструменту на абразивних дисках, та інших подібних роботах робітник повинен мати захисні окуляри, прибрати волосся під головний убір, всі гудзики на спецодязі повинні бути застебнутими;

- у зв'язку з небезпекою руху автокарів у цеху необхідно передбачити розмітку підлоги; проїзди повинні бути закриті захисними кожухами; при експлуатації кран – балки необхідно дотримуватися норм і правил Держнагляду з охорони праці; забороняється підіймати вантаж, маса якого перевищує вантажопідйомність машини; робітникам не дозволяється знаходитись на вантажі чи під ним, коли він переміщується; для попередження небезпечної взаємодії, кабінки візків та електрокари необхідно пофарбувати в жовтий або жовтогарячий колір.

Засоби захисту від аеродисперсних систем та шкідливих хімічних речовин:

- видалення шкідливих та небезпечних речовин з повітряного середовища за допомогою загальнообмінної вентиляції;

- застосування засобів індивідуального захисту органів дихання (респіратори та інші засоби);

- забезпечення захисту шкіряних покривів від потрапляння аерозольних частинок, які можуть мати велику швидкість та високу температуру;

- використання засобів захисту очей;

- для локалізації та видалення шкідливих та небезпечних речовин із зони їх утворення може бути впроваджена організацією місцевих відсмоктувачів.

Заходи захисту від підвищеної напруги.

Згідно ДНАОП 0.00-1.21-98 струмоведучі частини установок, що експлуатуються, повинні мати огороження зі спеціальним блокуванням, змінювати напругу при відкриванні захисних частин. Конденсаторні батареї великої ємності повинні розташовуватись або в сусідньому блокувальному приміщенні, або поза приміщенням в спеціальній сталевій шафі. Всі

конденсаторні батареї повинні бути обов'язково заекрановані та забезпечені засобом для автоматичного розрядження конденсаторів при зніманні екранів.

Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих чинників при роботі з композиційними матеріалами. Для забезпечення охорони праці необхідно дотримуватись організаційних і технічних заходів, запобігати впливу на робочих місцях небезпечних і шкідливих чинників, відповідно до нормативних документів.

Заходи щодо техніки безпеки повинні базуватися на підставі вимог "Положення про розробку інструкцій з охорони праці", затвердженого наказом Держнагляду з охорони праці України №9 від 29.01.1998 року з метою забезпечення безпечних умов праці при виконанні робіт по обслуговуванню деталей з композиційних матеріалів. Також необхідно дотримуватися вимог та положень наступних держстандартів: ГОСТ 12.1.003 – 74 ССБТ; ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ; ГОСТ 12.1.007 – 91 ССБТ; ГОСТ 12.1.003 – 83 ССБТ; ГОСТ 12.1.005 – 88 ССБТ; ГОСТ 12.1.019 – 79 ССБТ; ГОСТ 12.4.034 – 85 ССБТ; ГОСТ 12.4.016 – 83 ССБТ.

Згідно цим вимогам розробляють профілактичні заходи по запобіганню випадків травматизму.

1. Необхідно організувати упорядкований кільцевий рух транспорту в виробничих приміщеннях та по території підприємства. Для цього передбачена розмітка підлоги. До управління електрокарами допускаються особи, що досягли 18-ти річного віку, пройшли медогляд, спеціально навчені та отримали посвідчення на керування електрокарами.

2. Рухомі частини обладнання повинні бути закриті кожухами. Забороняється працівникам знаходитись на вантажі або під ним.

3. До роботи з композиційними матеріалами допускаються особи, що досягли 18 років, що пройшли медичний огляд, що вивчили інструкцію з техніки безпеки, що пройшли інструктаж з охорони праці, атестовані і мають посвідчення

на право роботи. Повторний інструктаж проводиться не рідше одного разу на квартал.

4. Усі робітники, що працюють з композиційними матеріалами, повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям і індивідуальними захисними засобами: халат чи комбінезон, хустка чи берет, спеціальні рукавички, окуляри з щільно прилягаючою до обличчя оправою, респіратор.

5. Виробничі приміщення в яких виготовляються деталі з композиційних матеріалів, повинні бути обладнані обмінною припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує 6-ти кратний обмін повітря за годину. Робочі столи обладнані місцевими бортовідсмоктувачами.

6. Для запобігання утворення статичної енергії передбачити заземлення зон, помостів і робочих площадок, ручок дверей, поручнів, східців і рукояток приладів. Щоб уникнути утворення статичної електрики в процесі знежирення арматури передбачити введення в бензин антистатичної протизношувальної присадки типу "Сигбол".

7. Клеї, розчинники зберігати в герметично закритих ємкостях з кольорового металу, з нанесеною на них інформацією, у кількостях, що не перевищують добового запасу.

8. У виробничих приміщеннях двічі за зміну роботи вологе прибирання.

9. У приміщенні, де обслуговуються деталі з композиційних матеріалів, не потрібно здійснювати зварювальних робіт, не користуватись відкритим вогнем, не захарашувати проходи до пожежного інвентаря.

10. У випадку одержання травми, необхідно негайно повідомити майстра чи керівника підрозділу, зберегти обстановку місця події нещасного випадку, якщо це не загрожує життю і здоров'ю поруч працюючих і обов'язково звернутися в медсанчастину (МСЧ) для надання першої медичної допомоги і реєстрації даного нещасного випадку.

11. У випадку появи працівника на робочому місці в стадії алкогольного чи наркотичного сп'яніння, адміністрація не допускає його до роботи, направляє його

в наркологічний кабінет або складає відповідний акт. Адміністрація має право звільнити працівника з підприємства за появу на роботі в стадії сп'яніння, згідно статті 40 пункту 7 Кодексу законів України про охорону праці

12. Працівник зобов'язаний:

– знати і виконувати вимоги нормативних актів про охорону праці, правила поведіння з машинами, механізмами, устаткуванням і іншими засобами виробництва стосовно даної професії, користатися засобами колективного й індивідуального захисту;

– дотримуватися інструкцій з охорони праці, передбачених колективним договором і правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства (стаття 18 закону України „Про охорону праці”).

13. За порушення законодавства й інших нормативних актів про охорону праці, створення перешкод для діяльності посадових осіб, органів державного нагляду і представників профспілок, винні працівники залучаються до дисциплінарної, адміністративної, матеріальної і кримінальної відповідальності відповідно до законодавства (стаття 49 закону України „Про охорону праці”).

6.3 Забезпечення пожежної і вибухової безпеки в робочому цеху

Відповідно з ГОСТ 12.1.004-91 джерелами ініціювання пожежі є:

- електричні розряди при роботі з ручним електроінструментом, а також джерела освітлення робочої зони;
- іскри від ударів ручного інструменту при виконанні операцій технічного процесу стикування вузлів і агрегатів;
- ударні хвилі у разі вибуху компресорних станцій, повітропроводів;
- вибух парів гасу при змивальних роботах. Імовірність виникнення пожежі від одиничного технічного виробу чи обладнання при їхній розробці і виготовленні не повинні перевищувати значення 10^{-6} на рік.

Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004-91; ГОСТ 12.1.004 – 85 ССБТ; ГОСТ 12.1.010 – 76 ССБТ; ГОСТ 12.1.011 – 78 ССБТ; ГОСТ 12.1.018 – 76 ССБТ; ГОСТ 12.1.011 – 86 ССБТ; ГОСТ 12.1.041 – 83 ССБТ; ГОСТ 12.1.044 – 84 ССБТ організаційно-технічні заходи щодо забезпечення пожежної та вибухової безпеки включають:

- необхідність постановки плавких запобіжників в лічильниках електроенергії, для стабілізації напруги в мережу живлення електроприладів повинні включатися стабілізатори напруги;
- застосування на інструментах засобів захисту від іскор, використання такого інструменту, який виготовлений з безіскрових матеріалів або у відповідному пожежобезпечному виконанні;
- додаткове огороження ділянки виконання техпроцесу;
- дотримання персоналом істановлених правил при роботі з пожежо- та вибухонебезпечними речовинами;
- установлення на обладнанні, що може вибухнути або загоріти, знаків, які забороняють користуватися відкритим полум'ям;
- потрібно не допускати виконання виробничих операцій на несправному обладнанні, адже це може призвести до спалахування та пожеж, а також при відключених контрольно-вимірювальних приладах, за якими визначаються технологічні параметри (температура, тиск та інше);
- доставка легкоспалахуючих та горючих рідин у невеликій кількості в безпечній негорючій тарі;
- для миття й знежирення обладнання, виробів, деталей застосовуються негорючі миючі засоби та спеціальні методи очищення;
- профілактичний огляд, планово-попереджувальний та капітальний ремонт технологічного обладнання з врахуванням виконання заходів по забезпеченню пожежовибухобезпеки;
- встановлення компресорних станцій у спеціально відведених місцях (камерах з посиленими стінами і стелями для захисту суміжних приміщень у

випадку вибуху, періодичне технічне обслуговування й контроль параметрів роботи);

- застосування спеціальних підпільних оболонки для повітроводів і періодична перевірка кранів і штуцерів на наявність витіку повітря ;
- роботи по очищенню витяжних пристроїв повинні проводитися систематично та фіксуватися в журналі;
- суворе дотримання правил пожежної безпеки при роботі з гасом і іншими вогнебезпечними речовинами, застосування потужної вентиляції, обладнання робочих місць шухлядами з піском, припинення усіх видів інструментальних робіт там, де ведуться змивні роботи.

Ще при проектуванні та будівництві необхідно враховувати, що цех відноситься до категорії А (за ступенем застосування вогнестійких матеріалів). У цеху необхідно встановити жорсткий протипожежний контроль, підвищити вимогливість щодо дотримання правил протипожежної безпеки з боку адміністрації, головного механіка та енергетика. Необхідно забезпечити безпечний виїзд літаків з цеху, для чого передбачають широкі ворота. Ці ворота повинні бути змащені, канавки чисті, під'їзд до воріт повинен бути вільним.

Для запобігання статичної електрики передбачено заземлення. При використанні місцевого освітлення використовують напругу 36 В. Для збирання промасленого ганчір'я застосовуються спеціальні шухляди, які прибираються наприкінці робочого дня.

У цеху заборонено:

- застосування відкритого вогню без спеціального дозволу пожежної охорони;
- збереження сигнальних ракет, ПММ і кислот у не встановлених для цього місцях ;
- робити зборку , пайку за межами спеціальних місць.

Для того, щоб забезпечити гасіння пожежі на початковій стадії, передбачено два пожежних крана, приєднаних до господарсько – виробничого

трубопроводу. Довжина кожного шлангу 15 м, продуктивність – 2,5 л/с. Зі стаціонарних вогнегасників необхідно мати двобалонний вогнегасник УП – 2М. Для повідомлення про пожежу в зручних місцях необхідно встановити два телефонних апарата. Для попередження про пожежу у відсутності людей, необхідно встановити автоматичну систему електричної пожежної сигналізації. Як прийомну станцію електричної пожежної системи, використовується система – станція СДПУ – 1 з оповіщувачем.

У пожежній охороні потрібно передбачити пожежну автоцистерну АЦ – 30 на базі ЗіЛ – 130. Повинен бути передбачений в'їзд пожежної машини в цех, через розсувні ворота.

6.4 Розрахунок повітрообміну при роботі з композиційними матеріалами

Під час розрахунку будемо використовувати ГОСТ 12.4.021 – 75 ССБТ.

Так як при роботі з композиційними матеріалами найбільша кількість летючих речовин виділяється із зв'язуючого, то розрахунок будемо проводити на його основі. Для прикладу розрахуємо повітрообмін при роботі із зв'язуючим ЭДТ-69Н. Компоненти, що входять до складу зв'язуючого, їх гранично допустима концентрація (ГДК) наведені в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 - Компоненти, що входять до складу зв'язуючого та їх ГДК

Найменування компонентів, які входять до складу зв'язуючого	ГДК шкідливих речовин, мг/м ³
Епіхлоргідрин	1
Толуол	50
Ацетон	200
Спирт етиловий	1000

Кратність обміну повітря визначимо за формулою:

$$n = \frac{Q_{\text{сум}}}{V}, \quad (6.1)$$

де $Q_{\text{сум}}$ – сумарна кількість повітря, яка необхідна для боротьби і захисту від шкідливих випаровувань, м³/год;

V – об'єм приміщення, м³.

$$V = a \cdot b \cdot c, \quad (6.2)$$

де a – ширина приміщення;

b – довжина приміщення;

c – висота приміщення.

$$V = 8 \cdot 10 \cdot 8 = 640 \text{ м}^3$$

Визначимо сумарну кількість повітря, необхідного для захисту та боротьби з шкідливими випаровуваннями за формулою

$$Q_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (6.3)$$

де Q_i – кількість повітря, необхідне для захисту та боротьби з шкідливими випаровуваннями кожного з компонентів зв'язуючого.

$$Q_i = \frac{kn_{\text{об}}}{(k_1 - k_2) \cdot 10^{-6}}, \quad (6.4)$$

де $k=0,1$ – кількість шкідливих випаровувань від одиниці обладнання на протязі години, кг;

k_1 – гранично допустима концентрація шкідливих речовин у повітрі приміщення, мг/м³;

k_2 – концентрація шкідливих домішок у приточному повітрі, мг/м³;

$n_{\text{об}}$ – кількість одиниць обладнання, $n=1$

Приймаємо $k_2=0$, вважаючи, що приточне повітря не містить шкідливих домішок. Тоді:

$$Q_1 = \frac{0,1 \cdot 1}{(1 - 0) \cdot 10^{-6}} = 100000 \text{ м}^3,$$

$$Q_2 = \frac{0,1 \cdot 1}{(50 - 0) \cdot 10^{-6}} = 2000 \text{ м}^3,$$

$$Q_3 = \frac{0,1 \cdot 1}{(200 - 0) \cdot 10^{-6}} = 500 \text{ м}^3,$$

$$Q_4 = \frac{0,1 \cdot 1}{(1000 - 0) \cdot 10^{-6}} = 100 \text{ м}^3,$$

Тоді сумарна кількість повітря: $Q_{\text{сум}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 102600 \text{ м}^3/\text{год}$.

Визначимо кратність повітрообміну: $n = \frac{Q_{\text{сум}}}{V} = \frac{102600}{640} \approx 160 \text{ 1/год}$.

Для реалізації механічної вентиляції вибираємо відцентровий вентилятор типу Ц-50 № 16, що має наступні характеристики:

- продуктивність: $L = 75000 \text{ м}^3/\text{год}$;
- тиск: $P = 1000 \text{ Н/м}^2$;
- коефіцієнт корисної дії: $\eta = 0,8$.

Визначимо кількість вентиляторів:

$$n_{\text{вен}} = \frac{2Q_{\text{сум}}}{L} = \frac{2 \cdot 102600}{75000} \approx 2,736 \quad (6.5)$$

Приймаємо кількість вентиляторів, що дорівнює трьом. Розрахунок здійснюємо за книгою Староверов І.Г. «Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений: вентиляция и кондиционирование воздуха», за таблицею «Рекомендуемые комплектующие центробежных вентиляторов общего назначения» вибираємо марку двигуна А4200L4 з такими характеристиками: потужність $N = 45 \text{ кВт}$; частота обертання ротора $n = 1475 \text{ об/мин}$; маса двигуна $m = 2245 \text{ кг}$.

6.5 Інструкція з охорони праці при роботі з композиційними матеріалами

Данна інструкція розроблена на основі вимог „Положення про розробку інструкцій з охорони праці”, затвердженого наказом Держнагляду з охорони праці

України №9 від 29 січня 1998 року з метою забезпечення безпечних умов праці при виконанні робіт з композиційними матеріалами.

1. Загальні вимоги:

а) до роботи з композиційними матеріалами допускаються особи, що досягли 18 років;

б) особи, що пройшли медичний огляд;

в) такі, що вивчили інструкцію з техніки безпеки, пройшли інструктаж з охорони праці, атестовані і мають посвідчення на право роботи; повторний інструктаж проводиться не рідше одного разу на квартал;

г) усі працюючі з композиційними матеріалами, повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям і індивідуальними захисними засобами: халат чи комбінезон, хустка чи берет, спеціальні рукавички, окуляри з щільно прилягаючою до обличчя оправою, респіратор ПРБ-5, ПРБ-5МП чи "Пелюсток".

2. Вимоги безпеки перед початком роботи:

а) одягти й упорядкувати спецодяг і засоби захисту, отримані відповідно до галузевих норм індивідуального захисту;

б) перевірити наявність і справність заземлення обладнання й оснащення;

в) увімкнути в приміщенні припливо-витяжну вентиляцію;

г) підготувати необхідний справний інструмент для роботи: шевський ніж для розкрою препрегів зі справною ручкою і чохлам;

д) при виявленні яких-небудь несправностей повідомити майстра і до роботи не приступати аж до усунення цих несправностей .

3. Вимоги безпеки під час виконання роботи:

а) виконувати тільки ту роботу, що доручена майстром чи адміністрацією цеху;

б) усі роботи з виготовлення деталей з полімерних композиційних матеріалів і їх механічну обробку робити під витяжкою з використанням пиლოსоса;

в) очищення поверхні оснащення й устаткування від набігів сполучного та клеїв робити інструментом, виготовленим з матеріалів, що не утворюють іскор при ударі;

г) не допускати потрапляння смол і розчинників на шкіру рук, обличчя чи в очі; клей, розчинник, що потрапив на шкіру, необхідно терміново видалити м'яким ватним тампоном, після чого вимити руки гарячою водою з милом і змастити маззю на основі ланоліну чи вазеліну; не дозволяється мити руки органічними розчинниками.

д) не зберігати їжу, особисті речі на ділянці; не приймати їжу на робочих місцях;

е) не захаращувати робоче місце на підходах до нього; відходи склотканин, вуглестрічки, борного волокна, гібридних тканин, використані серветки складати в ємкості з кришкою, наприкінці зміни ємності вивезти з приміщення.

4.Вимоги безпеки після закінчення роботи:

а) упорядкувати робоче місце, інструмент;

б) залишки легкозаймистих речовин (ЛЗР: бензин, ацетон і т.д.) винести у відведене для збереження місце;

в) зняти спецодяг і засоби захисту, забрати їх в індивідуальну шафу;

г) вимкнути вентиляцію;

д) про появу будь-яких несправностей доповісти майстру;

е) вимити обличчя і руки теплою водою з милом, прийняти душ.

Висновки розділу 6

Наповнювачі та зв'язуючі, що використовуються при виготовленні та обслуговуванні конструкцій з композиційних матеріалів, відносяться, як правило, до категорії шкідливих, пожежо- та вибухонебезпечних речовин. Тому, працюючи з ними, необхідно суворо дотримувати усі інструкції та вимоги з техніки безпеки, охорони праці та протипожежні заходи. Потрібно пам'ятати, що життя людини – найважливіше, а вірне та добросовісне виконання встановлених вимог і правил дозволить його зберегти.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

7.1 Визначення основних чинників діяльності цивільної авіації, що призводять до негативного впливу на навколишнє середовище

Забруднення атмосферного повітря, вод та земель речовинами, які є шкідливими для здоров'я людини, а також для нормального розвитку рослинного та тваринного світу, на сьогодні є найбільш гострою та невідкладною проблемою захисту навколишнього середовища.

Авіація, її діяльність, належать до найбільш високорозвинутих галузей господарства та промисловості, а отже, вона здійснює значний вплив на довкілля. В даному розділі розглянемо ті негативні чинники, що пов'язані з експлуатацією та обслуговуванням літаків, врахуємо також негативні наслідки для екології, спричинені аваріями та катастрофами.

Отже, чинниками впливу діяльності цивільної авіації на навколишнє середовище є:

- забруднення атмосферного повітря;
- забруднення води;
- забруднення ґрунтів;
- вплив авіаційного шуму, інфразвуку, звуковий удар;
- електромагнітні та іонізуючі випромінювання.

Варто зазначити, що при аваріях та катастрофах здійснюється комплексний вплив вищезазначених факторів на довкілля, причому з набагато більшою інтенсивністю та кількістю людських втрат, ніж при нормальній роботі цивільної авіації.

7.2 Захист атмосферного повітря від забруднення повітряними кораблями

Повітряні кораблі викидають шкідливі речовини з відпрацьованими газами авіаційних двигунів в зоні аеропорту та на трасах польоту, забруднюючи атмосферне повітря в глобальних масштабах.

До складу відпрацьованих газів газотурбінних двигунів входять наступні основні компоненти, що забруднюють атмосферу: оксид вуглецю, вуглеводні (метан CH_4 , ацетилен C_2H_2 , етан C_2H_6 , етилен C_2H_4 , пропан C_3H_8 , бензол C_6H_6 , толуол $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ та інші), оксиди азоту, альдегіди (формальдегіди HCHO , акролін $\text{CH}_2 = \text{CH} = \text{CHO}$, оцтовий альдегід CH_3CHO та ін.), оксиди сірки, сажа (видимий димний шлейф за соплом двигунів), бензапірен. Викид дренованого палива в атмосферу авіаційними двигунами нормами ІСАО не допускається і повинен виключатися в процесі конструювання нових авіаційних двигунів в повітряних суден.

Очевидно, що в зоні аеропорту емісія авіадвигуна залежить від режиму його роботи і тривалості роботи на цьому режимі. Найбільш тривалим і екологічно небезпечним є режим малого газу. Значення величини тяги на цьому режимі для сучасних авіадвигунів складає 3...9 % від її максимального значення R_0 .

Для типового сучасного двигуна залежність емісії шкідливих речовин від режиму його роботи має наступний вигляд (рисунок 7.1).

Кількісною характеристикою емісії авіаційного двигуна (АД) є його індекс емісії EI , який показує, скільки грамів того чи іншого полютанту (шкідливої речовини) викидається двигуном при згорянні 1 кг пального в камері двигуна, вимірюється в $\left[\frac{г}{кг} \right]$.

В 1981 р. Комітет з емісії авіаційних двигунів (ІСАО) розробив та прийняв проект норм на емісію та звів їх в Додаток 16 «Охорона навколишнього середовища».

Норми на емісію встановлюють межу газової емісії оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів (CH) та оксидів азоту (NO_x), а також „димлення” авіадвигунів. Знаючи під час сертифікаційних випробувань індекси емісії шкідливих речовин на відповідних режимах роботи двигуна, знаходять контрольний параметр емісії $\frac{M_i}{R_0} \left[\frac{г}{кН} \right]$ випробуваного двигуна, по якому встановлені норми ІСАО. Цей параметр характеризує «ступінь шкідливості» двигуна. В ньому: M_i – маса в грамах викинутої і-тої шкідливої речовини (інгредієнта) за деякий визначений час роботи двигуна, R_0 – зльотна тяга двигуна в кілоньютонах.

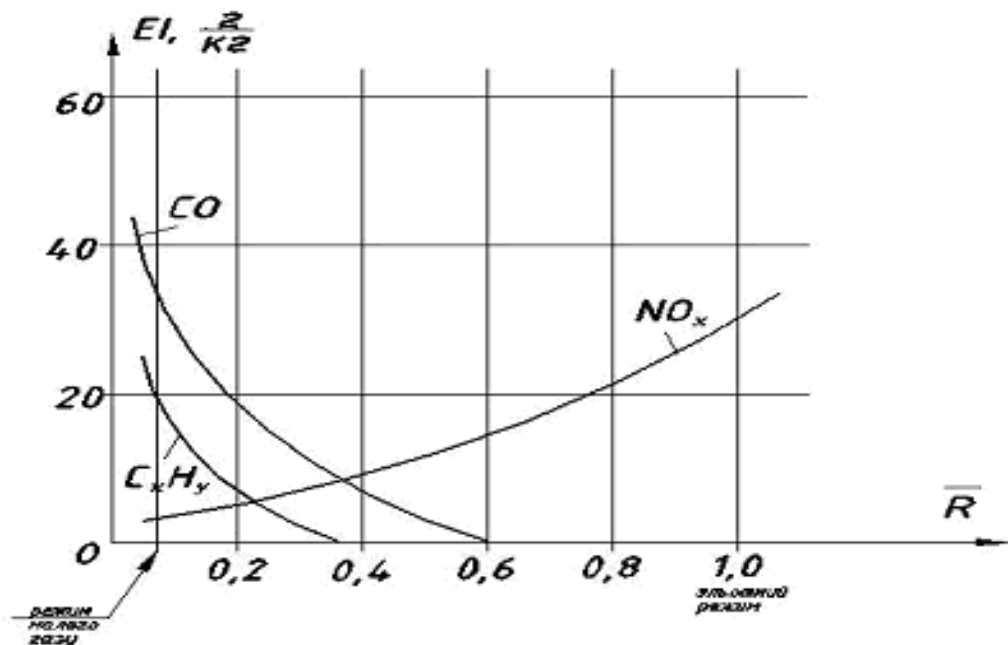


Рисунок 7.1 Залежність емісії шкідливих речовин від режиму роботи двигуна

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

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

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

$$\frac{M_{C_x H_y}}{R_0} = 19,6 \frac{г}{кН}$$

Шляхи зниження емісії авіаційних двигунів. Для зниження емісії продуктів неповного згоряння палива (СН та СО) при конструюванні необхідно збільшувати коефіцієнт повноти згоряння палива, від якого залежить індекс емісії EI_{CO} та EI_{CH} .

Це може досягатися:

- збагаченням паливо-повітряної суміші в зоні горіння;
- збільшенням числа зон горіння в камері згоряння, що дозволяє регулювати роботу двигунів шляхом включення або виключення частини форсунок.

Ці конструктивні заходи призводять до зниження питомої витрати палива, тобто поліпшенню економічності авіаційних двигунів, а значить, і до зниження індексів емісії СО і СН.

Для зниження емісії оксидів азоту NO_x авіаційними двигунами можуть застосовуватися наступні конструктивні рішення:

- вприскування води в зону горіння;
- застосування двох- та багатозонних камер згоряння;
- застосування в камерах згоряння каталітичного горіння, при якому температура газів в зоні горіння знижується; збіднення горючої паливно-повітряної суміші.

Також при створенні нових видів палива необхідно враховувати ступінь забруднення довкілля при їхньому спалюванні, досконалість конструкції АД, де ці палива будуть використовуватися.

Експлуатаційні методи зниження емісії шкідливих речовин від авіаційних двигунів ґрунтуються на скороченні тривалості та зміні режимів роботи двигунів в зоні аеропорту на етапі «запуск – руління – зліт – руління після посадки на стоянку».

Зниження емісії шкідливих речовин від авіаційних двигунів в зоні аеропорту може досягатися:

- буксируванням повітряних суден від стоянки до злітно-посадкової смуги;
- рулінням повітряних суден з частиною працюючих двигунів;
- найвигіднішим розподіленням повітряних суден по злітно-посадкових смугах (ЗПС) (при більш ніж одній ЗПС) при їх зльотах та посадках.

Заходи по захисту атмосферного повітря від забруднення також передбачають побудову очисних споруд:

- газоочисні та пилевловлювальні установки;
- мокрі осаджувачі;
- циклонні сепаратори;
- спеціальні фільтри (тканинні, електрофільтри).

7.3 Захист води від забруднення авіаційним транспортом

Основні джерела забруднень водного середовища серед авіапідприємств ЦА – це аеропорти, їхня інфраструктура та приписана до них техніка. Джерелами виробничих стічних вод в аеропортах є:

- будівлі та споруди з технічного обслуговування літаків (авіаційно-технічні бази, допоміжні виробництва та інші);
- будівлі та споруди з технічного обслуговування літаків (авіаційно-технічні бази, допоміжні виробництва та інші);
- будівлі та споруди підсобних приміщень (склади, автобази, пожежні депо, котельні та інші).

Основними джерелами господарсько-побутових стоків є:

- аеровокзали, готелі, їдальні, служби бортхарчування;
- авіамістечка, що розташовані поблизу аеропортів.

Джерелами забруднення водоймищ також є поверхневий стік. До основних джерел забруднення поверхневого стоку відносяться територія авіаційно-технічних баз; ділянки для доводочних робіт, мийки та обробки літаків рідинами

проти обледеніння (Арктика); перон та привокзальна площа; приміщення служб ПММ та інші.

В стічних водах аеропортів та інших авіапідприємств містяться: бензол, ацетон, нафтопродукти, кислоти, луги, розчинені метали (з'єднання алюмінію, берилію та хрому) та інші забруднюючі речовини, а також отрутохімікати. Для поверхневого стоку з території аеропортів характерна наявність мінеральних домішок, нафтопродуктів, розчинених, органічних домішок та азотоутворюючих речовин.

Стічні води потребують очищення та знешкодження від органічних та неорганічних забруднень. Очистка стічних вод включає наступні процеси: видалення зважених плаваючих речовин, грубо-дисперсних та колоїдних домішок, біологічну переробку та дезінфекцію. Очистка буває механічна та біологічна. Під час механічного очищення відбувається розділення рідкої та твердої фаз стічних вод пісколовками, затримуючими решітками, відстійниками, септиками. За допомогою цих пристроїв можна виловити до 30 % забруднень. Принцип біологічного очищення заключається в тому, що наявні у стічних водах органічні речовини, які залишилися після механічного очищення, руйнуються бактеріями в умовах забезпечення стоків великою кількістю кисню. До систем біологічного очищення стічних вод відносяться: аутотенки, зрошувальні поля, поля фільтрації та біологічні водойми. Для очищення води від токсичних металів використовують спеціальні технологічні, реагентні, електрохімічні, іонообмінні та комбіновані методи.

7.4 Захист ґрунтів від забруднення авіаційним транспортом

В умовах інтенсифікації авіатранспортних процесів, широкого використання хімічних речовин для утримання аеродромів і техніки в ґрунт аеродромів, заводів та інших підприємств ЦА надходять в значних кількостях хімічні речовини. Дослідження свідчать, що рівень забруднення ґрунтів в аеропортах та заводах достатньо високий. На 1м² ґрунту припадає до 200...250 гр.

органічних та неорганічних хімічних речовин штучного походження. В районі аеропортів ґрунт забруднений свинцем, який утворюється при згорянні автомобільного палива. У верхніх шарах ґрунту поблизу аеропортів концентрація свинцю складає приблизно 0,5 гр. на кг ґрунту та вище. Також дуже сильно забруднюється ґрунт через витік та скидання палива. Доля вуглеводнів в загальному об'ємі забруднюючих речовин складає приблизно 75...80 %. Окрім того, в процесі експлуатації авіапідприємств утворюються тверді відходи.

Негативні наслідки забруднення. Всі вищезазначені види забруднення негативно впливають на довкілля. Органічні з'єднання металів при надходженні в навколишнє середовище становлять серйозну загрозу життю та здоров'ю людей, оскільки ці з'єднання характеризуються високою летючістю, що сприяє розповсюдженню забруднюючих речовин на великі території. Сильне забруднення ґрунтів нафтопродуктами призводить до зниження урожаїв або повної загибелі рослин. Тверді шкідливі відходи підвищують смертність та викликають серйозні захворювання у населення навколишніх територій.

Захист ґрунтів. Для захисту ґрунтів необхідно: розробити жорсткі нормативи граничної кількості накопичення, застосування токсичних відходів на території авіапідприємств та заходи щодо їх безпечного зберігання. Сміття, відходи необхідно не захороняти (тому що мпри цьому не змінюється їх небезпека), а переробляти, наприклад, Японія успішно переробляє понад 50% сміття. Утилізувати сміття можна біологічним методом (компостування), коли знешкодження відбувається за рахунок мікробактеріального біохімічного розпаду органічних речовин. Також досить ефективний біотермічний метод (закладання в парники, спалювання сміття на спеціальних заводах). Енергію, що виділяється при цьому, можна пустити на обігрів приміщень, електропостачання. Також необхідно запровадити сортування сміття: частину спалювати, частину компостувати, а такі відходи, як резина, пластмас, лакофарбові покриття (ЛФП) необхідно знищувати шляхом високотемпературного спалювання та подальшого зберігання на спеціальних полігонах.

7.5 Авіаційний шум та способи захисту від нього

Джерелами шуму та інфразвуку є тверді, рідкі, газоподібні тіла, що коливаються. Інфразвук випромінюється під час коливання тіл, що мають велику масу та низьку частоту коливань. Джерелами звукового удару є літальні апарати, які рухаються на надзвуковій швидкості та створюють стрибки ущільнення. Рівень звукового тиску (сили звуку) для зручності вимірюють в дБ. Звуки, що мають однакові рівні, але різні частоти, по-різному сприймаються людиною. Для зіставлення подразливого впливу звукових хвиль різних рівнів і частот введений рівень шуму PNL (скорочення англійських слів „perceived noise level”), що вимірюється в РНдБ.

Важливе значення має також тривалість дії шуму, для врахування якої введено ефективний рівень шуму EPNL (скорочення англійських слів „effective perceived noise level”), що вимірюється в ЕРНдБ.

ІСАО на основі накопиченого досвіду впровадила міжнародний стандарт, згідно з яким на льотному полі вибирають три позиції (рисунок 7.2), в яких вимірюється рівень шуму ЛА: позиція 1 – при розбігу на відстані 450 м від осі ЗПС; позиція 2 – при набиранні висоти 500 м на відстані 6500 м від початку розбігу; позиція 3 – при зниженні на посадку на відстані 2000 м до початку ЗПС.

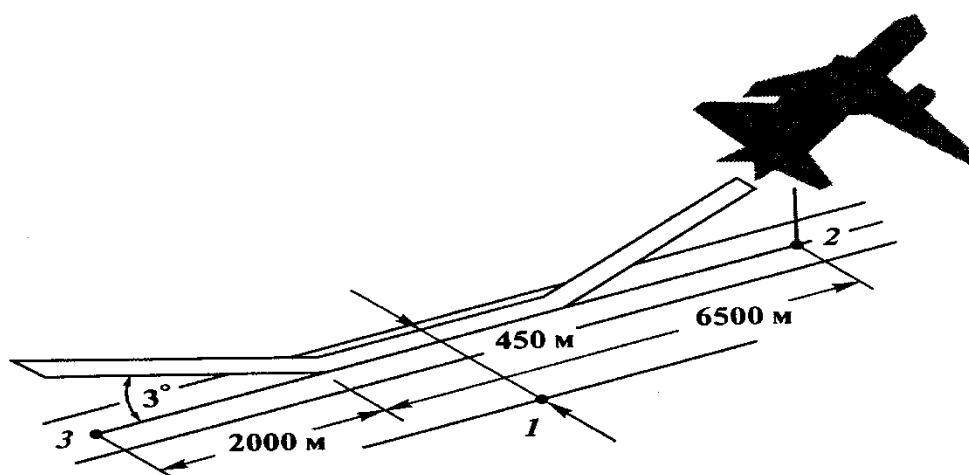


Рисунок 7.2 Позиції на льотному полі, в яких вимірюється рівень шуму

Допустимий рівень шуму залежить від злітної маси ЛА, кількості двигунів, траєкторії польоту; максимальне значення не повинно перевищувати 108 ЕРНдБ.

Негативний вплив шуму. При рівнях звукового тиску в 140 дБ людина відчуває фізичну біль у вухах. Це так званий „больовий поріг”, перевищення котрого на 20 дБ може призвести до розриву барабанної перепонки, а від так – до глухоти. Авіаційний шум спричиняє негативний вплив на льотно-технічний склад (ЛТС), що безпосередньо пов'язаний з експлуатацією авіаційної техніки,; пасажирів; робітників підприємств ЦА; населення, що проживає поблизу аеропорту. Інфразвук також негативно впливає на всі живі організми, адже під дією звукових коливань низької частоти, внутрішні органи також починають коливатися з частотою, яка відповідає частоті збуджуючої сили, з'являються неприємні відчуття в області живота та грудної клітини. Вплив звукового удару може викликати у людини та тварини страх, переляк, пробудження від сну.

Методи зниження шкідливого впливу шуму, інфразвуку та звукового удару на навколишнє середовище. Основним джерелом шуму літальних апаратів є їхні силові установки (СУ), тому найбільш ефективні методи зменшення шумового забруднення середовища пов'язані з вдосконаленням авіаційних двигунів, їх робочого процесу, конструкції, використання засобів шумоглушіння. Необхідно також враховувати компоновання двигуна на ЛА.

Заходи зі зниження рівня шуму та інфразвуку на авіапідприємствах:

- відмова від руління літаків з працюючими двигунами;
- організація спеціальних служб для контролю за рівнем шуму;
- зменшення загального часу роботи СУ;
- заміна застарілої авіаційної техніки;
- забезпечення раціонального режиму праці та відпочинку працівників;
- при побудові нових аеропортів необхідно враховувати відстань до густонаселених пунктів, наявні траси польоту, рельєф місцевості, метеоумови, типи літаків, що будуть обслуговуватися;

- побудова шумоглушительних ангарів з метою звукоізоляції джерела звуку або інфразвуку;
- застосування стаціонарних та пересувних аеродромних глушників шуму, акустичних екранів;
- використання звукопоглинальних та звукоізолюючих матеріалів в конструкціях ЛА та при побудові аеропортів (зокрема, залів очікування та робочих приміщень для більшого комфорту пасажирів і обслуговуючого персоналу);
- застосування засобів колективного захисту (наушники, вата, спецодяг, шоломи, пояси);
- наявність на авіапідприємстві медпунктів з надання невідкладної допомоги, зокрема, при ушкодженні шумом або інфразвуком;

Зменшення рівня впливу звукового удару можна досягти шляхом:

- відмови від використання надзвукових пасажирських літаків;
- розгін до надзвукової швидкості здійснювати лише над незаселеними районами.

Негативний вплив. Найбільшого негативного впливу дії електромагнітних полів (ЕМП) зазнає нервова система, в якій відбуваються виражені зміни: розладнання умовно рефлекторної діяльності, зсуви в електроенцефалограмі, патоморфологічні порушення в головному та спинному мозку. Зміни в нервовій системі викликають зміни в серцево-судинній, ендокринній та інших системах. Вплив ЕМП також викликає катаракту очей. Характер функціональних змін залежить від тривалості опромінення, частоти та параметрів полів, а також від індивідуальних особливостей організму.

Іонізуюче випромінювання є більш згубним, але в ЦА воно зустрічається не так часто, як електромагнітне. В основному, на літаках це - спеціальні датчики, прилади неруйнівного рентгенівського контролю. Таке випромінювання може викликати рак крові, рак щитовидної залози, облісіння, порушення діяльності

будь-яких органів, втрату імунітету, різке зменшення тривалості життя. Також радіаційного забруднення зазнає навколишнє середовище.

Захист від електромагнітного та іонізуючого випромінювання. Захистити навколишнє середовище можна наступним чином:

- запровадження жорстких норм випромінювання приладів та обладнання, яке використовується в авіації;
- визначити граничні дози опромінювання та час перебування в зоні опромінювання (особливо це стосується радіоактивного випромінювання);
- територія джерел випромінювання (радіоцентри, радіолокаційні станції) повинна бути огорожена, самі джерела повинні бути розташовані поза населеними пунктами з виконанням умов, що забезпечують досягнення встановлених для них в санітарних нормах гранично допустимих рівнів випромінювання;
- зниження потужності джерел випромінювання шляхом запровадження нових технологій, конструкційних вдосконалень (наприклад, більш точне наведення антени);
- запровадження кордону санітарно-захисної смуги, де напруженість електричного поля менше 1 кВ/м;
- екранування об'єктів захисту;
- застосування засобів попереджувальної сигналізації та індивідуального захисту;
- проведення регулярних медичних оглядів обслуговуючого персоналу.

Авіація, її діяльність є складним, багатофункціональним процесом, що вимагає врахування багатьох факторів та чинників, великої відповідальності, організованості, уважності. Але хоча ЦА є досить безпечним видом транспорту, проте і тут відбуваються аварії, катастрофи, різні інші інциденти, в результаті яких значного негативного впливу зазнає довкілля. При цьому здійснюється комплексний інтенсивний вплив: забруднюються повітря, вода, ґрунти, можливі електромагнітне та радіаційне опромінення. Але найжахливіше те, що при таких

інцидентах гине велика кількість людей. Тому на будь-якому авіапідприємстві для ліквідації аварій та катастроф необхідно забезпечити діяльність аварійно-рятувальних служб, до складу яких входять:

- пожежно-рятувальні служби;
- пошуково-рятувальні служби
- служби перевезення;
- медичні служби;
- служби спецавтотранспорту;
- відділ внутрішніх справ аеропорту;
- служби, що забезпечують зв'язок;
- служби, підрозділи яких здійснюють знезараження території;
- служби охорони (для попередження терактів, незаконного проникнення на територію аеропорту);
- митні служби, служби контролю (для попередження потрапляння вибухівки та інших небезпечних предметів на борт ЛА).

Всі вищезазначені служби повинні проходити постійні тренування для того, щоб забезпечити швидку та ефективну ліквідацію різних інцидентів, які становитимуть загрозу життю та здоров'ю людини та безпеку для довкілля.

7.6 Екологічна ситуація при виготовленні та обслуговуванні деталей з композиційних матеріалів

Наповнювачі і полімерні зв'язуючі, застосовані в виробництві КМ, як правило, відносяться до категорії шкідливих, пожежонебезпечних і вибухонебезпечних речовин. Тому, працюючи з ними, необхідно ретельно дотримуватись всіх спеціальних інструкцій з техніки безпеки, охорони праці і протипожежних заходів.

Виробництво та обслуговування конструкцій з композиційних матеріалів є досить шкідливим і може нанести великої шкоди навколишньому середовищу. Для запобігання цього на території авіапідприємства обов'язково

повинен бути передбачений цех утилізації відходів, куди будуть відправлятися усі відходи КМ (забруднене зв'язуюче, спирто-ацетонова суміш, целофан, серветки, залишки тканини від вакуумних мішків та інші відходи). Частина відходів може бути використана для виробництва предметів народного споживання, а для невикористаних відходів повинна бути розроблена технологія їх знешкодження.

У процесі виробництва та обслуговування деталей з КМ у повітря приміщень виділяється пил склопластику; при мокрому прибиранні підлог пил волокон може потрапити у воду. Для захисту водойм і ґрунту від забруднення стічними водами необхідно передбачити оборотну систему водопостачання, що дозволяє скоротити споживання води на виробничі витрати.

Вирішення проблем природокористування, регулювання процесів взаємодії суспільства з природою здійснюється на основі відповідного екологічного законодавства.

Початком дії природоохоронного права в Україні можна вважати січень 1988 року, коли була прийнята "Постанова про докорінну перебудову справи охорони природи в Україні". Була поставлена мета рішуче перейти від адміністративних до переважно екологічних комплексних методів управління природоохоронною діяльністю.

Важливе значення для забезпечення екологічних вимог у всіх сферах людської діяльності має закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" від 25 червня 1991 року. Закон визначає пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість додержання екологічних стандартів, лімітів незалежно від сфери господарювання, необхідність збереження просторової видової різноманітності та цілісності природних об'єктів і комплексів, гарантування екологічно безпечного середовища для життя та здоров'я людей, науково обґрунтоване узгодження екологічних, економічних і соціальних інтересів суспільства.

Нормативно-правову основу захисту атмосфери складає прийнятий 16 жовтня 1992 року закон України "Про охорону атмосферного повітря". Основні

вимоги цього закону спрямовані на запобігання хімічного та біологічного забруднення атмосфери, а також фізичного та механічного впливу на атмосферне повітря. Важливе значення для підприємств цивільної авіації має проблема відвернення і зниження шуму транспортних засобів.

У разі порушення підприємствами цивільної авіації законодавства про охорону навколишнього природного середовища їхня діяльність може бути тимчасово припинена або заборонена на основі затвердженого Верховною Радою України 29 жовтня 1992 року "Порядку обмеження, тимчасової заборони (зупинення) чи припинення діяльності підприємств, установ, організацій і об'єктів".

Серед нормативно-правових актів, спрямованих на виконання екологічних вимог виключно підприємствами цивільної авіації, слід відмітити затверджений Верховною Радою України 4 травня 1993 року "Повітряний кодекс України", який визначає зобов'язання підрядчика та експлуатанта щодо охорони навколишнього середовища при розвідуванні, будівництві, реконструкції та експлуатації об'єктів, при впровадженні нових технологій в цивільній авіації. Повітряний кодекс визначає також загальні положення щодо захисту від шкідливого шумового впливу польотів повітряних суден цивільної авіації та емісії шкідливих речовин авіаційних двигунів.

Правила сертифікації повітряних суден та захист від шуму і нормування емісії авіаційних двигунів визначені згідно з документами Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) - Додатком 16 " Охорона навколишнього середовища "

Фундаментом для нового природоохоронного законодавства став закон України "Про підприємства", затверджений Верховною Радою України 27 березня 1991 р. Закон закріпив принципи здійснення підприємством природоохоронних заходів за рахунок власних коштів та кредитів

Правова охорона землі регулюється головним чином "Земельним кодексом України". Земельне законодавство чітко визначає порядок надання земель в

користування і їхнє вилучення. Зафіксовані конкретні правові вимоги, які відносяться до організації землекористування на підприємствах цивільної авіації.

Використання водних об'єктів підприємствами цивільної авіації здійснюється згідно з „Водним кодексом України”. Водне законодавство регулює порядок надання водних об'єктів для загального і соціального водокористування і визначає підстави для припинення права користування водою, встановлює правові вимоги, що стосуються конкретних видів водокористування, у тому числі транспортного водокористування. "Водним кодексом України" передбачається комплекс вимог, які визначають обов'язки водокористувачів щодо раціонального використання водних ресурсів.

З метою забезпечення ядерної безпеки та виконання вимог утилізації радіоактивних відходів при роботі з джерелами іонізуючого випромінювання Верховною Радою України були прийняті закони України "Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку" від 8 лютого 1995 року та "Про поводження з радіоактивними відходами" від 30 червня 1995 року.

Важливе значення у справі забезпечення екологічної безпеки, охорони довкілля, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян має прийнятий Верховною Радою України 9 лютого 1995 року "Закон України про екологічну експертизу".

Таким чином, підсумовуючи все вище зазначене діяльність авіації супроводжується значним впливом на довкілля. Але забруднюється не лише навколишнє середовище, найголовніше – це загибель людей. Варто завжди пам'ятати, що: „Людина, її життя і здоров'я, честь і гідність, недоторканість і безпека визнаються в Україні найвищою соціальною цінністю” (Конституції України, стаття 3). Цим правилом потрібно користуватися постійно, впроваджувати такі міри і заходи, які б сприяли б комфортній і безпечній роботі та відпочинку людини. Необхідно прийняти всі відповідні закони, взаємодіяти з іншими державами з питань охорони життя людини та довкілля. На всіх підприємствах, організаціях та фірмах необхідно проводити роз'яснювальну

роботу, здійснювати відрахування у фонд захисту навколишнього середовища, кошти з якого фірми витрачали б на ліквідацію або попередження наслідків свого негативного впливу на довкілля та на здоров'я своїх співробітників.

Велику увагу необхідно приділяти реалізації маловідходних процесів виробництва, зокрема, це:

- комплексна переробка сировини, при якій одержують максимальний вихід продукції на кожній стадії переробки сировини та мінімальну кількість відходів;
- застосування мікробіологічних методів очищення;
- впровадження безстічних та замкнених систем водопостачання;
- утилізація відходів виробництва споживання, які являють собою повторні матеріальні ресурси;
- створення територіально-промислових комплексів з замкненим технологічним циклом матеріальних потоків сировини і відходів;
- впровадження нових технологій, які відрізняються мінімальною кількістю технологічних стадій та устаткування, а також високою ефективністю виробництва.

Висновки до розділу 7

Не потрібно забувати, що людина підвласна законам природи. Але, пізнавши закони природи і суспільства і розумно їх застосовуючи, вона може використовувати і поліпшувати природу на своє благо. Адже охорона природи – це охорона людини.

Окрім того, необхідно приймати нові стандарти щодо раціонального природокористування, які встановлювали жорсткіші норми викидів забруднюючих речовин, тривалості роботи обслуговуючого персоналу з небезпечними для життя і здоров'я органічними і неорганічними сполуками та інше (наприклад, сертифікація на відповідність стандартів ISO серій 9000, 9001, 9004 та ISO 19011).

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі були розглянуті основні напрямки відновлення працездатності сучасних типів повітряних суден. Отже, найбільш перспективним з технологічної та економічної точок зору є відновлення працездатності за допомогою: напилення покриттів (розрізняють: газополум'яні – газополуменеві, детонаційні та електричні – плазмові, електродугові, височастотні індукційні та інші методи напилення), лазерної обробки деталей, мікроплазмового зварювання (наплавлення). Ці напрямки є досить добре відпрацьованими технологічно і їхнє впровадження не потребуватиме значних додаткових коштів. Перспективним є налагодження контактів з іноземними розробниками авіаційної техніки, яка експлуатується в Україні, з метою видачі дозволів на проведення робіт по відновленню працездатності такої техніки.

Основна увага цього диплому приділена дослідженню фретінг-корозії композиційних матеріалів як особливому виду руйнування в результаті малих відносних мікропереміщень контактуючих поверхонь. Фретінг-корозія може виникати в місцях, де конструктор не передбачив такого руху, стосовно композитів - це клепані та болтові з'єднання у вузлах навішування поверхонь керування, стики: зализів, обтікачів, композитних панелей з металевою обшивкою, вузли кріплення силових балок. В результаті характеристики міцності та жорсткості погіршуються, а це призводить до послаблення всієї конструкції. Композиційні ж матеріали на сьогоднішній день широко розповсюджені в конструкціях літальних апаратів, і тому до них пред'являються жорсткі вимоги з безпеки, довговічності та економічності в обслуговуванні. Виникнення дефектів є небезпечним і може призвести до катастрофічних наслідків, особливо, якщо композити застосовуються в силових елементах. Тому питаннями зносостійкості, виникнення дефектів в результаті особливостей роботи виробу (наприклад, в умовах вібрації) слід приділяти велику увагу. Накопичення знань та досвіду дасть можливість ширше застосовувати ці новітні конструкційні матеріали у інших сферах промисловості та господарства (будівництво, машинобудування, ракетна

техніка, медицина, радіоелектроніка). А фретінг-корозія композитів вивчена дуже мало, тому ця проблема є досить цікавою, перспективною і важливою.

Для моделювання умов фретінг-корозії була вибрана установка МФК-1, а також застосовувалося додаткове обладнання, за допомогою якого відбувалося вимірювання, фіксування та обробка результатів роботи (мікроскоп, оптиметр, комп'ютер). Після налаштування установки був проведений сам експеримент з дванадцятьма зразками. При цьому контрзразки вибиралися з матеріалів, які реально застосовуються при з'єднанні композитів – це сталь 30ХГСА та Д16. Була розроблена методика вимірювання величини зносу за показниками оптиметра в результаті віднімання відносних величин на поверхнях зразків та доріжках тертя.

За результатами дослідження встановлено, що найгірші зносостійкі характеристики мають КМ на основі зв'язуючих ФП-520 (шість шарів) та 5-211-БН (матеріал складається з двох шарів препрега, вакуум-автоклавне формування здійснювалося при температурі 110 °С. Найкращі зносостійкі характеристики мають композити на основі зв'язуючих ЭДТ-69Н та 5-211-БН (матеріал складається з чотирьох шарів препрега та вакуум-автоклавне формування здійснювалося при температурі 120 °С. Це пояснюється фізико-механічними та хімічними властивостями самих зв'язуючих, товщиною матеріалу та температурою вакуум-автоклавного формування.

Встановлено, що при контактах поверхні композитів з Д16 величини зносу в 3,97 – 1,65 разів більші, ніж при контактах з 30ХГСА (адже один з продуктів зносу - оксид алюмінію - набагато активніше взаємодіє з поверхнею, ніж оксид заліза; алюміній м'якший матеріал, ніж сталь, і утворює з'єднання, яке діє як корунд). Це потрібно враховувати при виборі композиційних матеріалів, які працюватимуть в умовах фретінг-корозії. В даному випадку найдоцільніше використовувати композити на основі зв'язуючих ЭДТ-69Н та 5-211-БН з мінімальною кількістю шарів препрега, що дорівнює чотирьом (армуючий матеріал при цьому – це склотканина Т-10-14).

Фретинг-корозія – небезпечний і прихований вид руйнування, який негативно впливає на стан виробу, погіршуючи його характеристики надійності. Тому необхідно здійснювати періодичний огляд конструкцій на предмет виявлення продуктів зносу – окислів, порошкоподібних мас червоного та чорного кольорів та доріжок тертя. Елементи з'єднання мають бути виготовлені зі сталі або інших матеріалів (наприклад, заливні заклепки із термопластів, які формуються після впорскування розплаву в порожнину, обмежену стінками отвору, через охолодження термопласта; комбіновані металопластикові заклепки, в яких металічна частина працює на зріз, а пластмасова - фіксує деталі від осьових переміщень; перспективним є використання заклепок із волокнистих полімерних композитів, при цьому можна забезпечити с зварне або клейове з'єднання на границі контакту тіла заклепки і з'єднаних листів і підвищити міцність заклепкового з'єднання).

Відновлення працездатності конструкцій з композиційних матеріалів, які зазнали впливу фретинг-корозії, полягає у розсвердлюванні пошкоджених отворів з врахуванням ремонтних допусків, використання елементів кріплення більшого діаметру, з більшим зусиллям клепання або силою затяжки. При частих випадках виявлення фретинг-корозії необхідно передбачити застосування як інших конструкційних матеріалів, так і інших матеріалів з'єднання та кріплення. При цьому необхідно забезпечити швидкий та оперативний обмін інформацією між розробником, виробником, експлуатантом, організацією з відновлення працездатності про стан виробів з композитів.

Безперечно, відновлення працездатності авіаційної техніки є дуже важливим питанням для створення надійної авіації, яка б сприяла підвищенню комфорту та безпеки пасажирів, зменшувала експлуатаційні витрати вже існуючої та зовсім нової техніки. Такі кроки повинні підтримуватися державою, необхідно створити та виділяти кошти на програму розвитку авіаційного комплексу в Україні, адже наша країна має величезний науково-технічний потенціал, працюючі і талановиті кадри. Таке надбання, яке здобувалося десятиліттями, не

можна втратити, забути чи продати, необхідно сприяти його розвитку та примноженню на благо українського народу та всього світу.

Анодований алюміній – це алюміній зі спеціальним покриттям, який отримують лектролітичним методом – найбільш ефективним засобом для захисту поверхні металу від корозії, тобто від окиснення на відкритому повітрі. Таким чином, він не відшаровується та попереджує внутрішню деструкцію.

Процес анодування включає в себе наступні етапи:знежирення, травлення, освітлення, анодування алюмінієвого профілю та ущільнення. Під час проведення процедури, лист алюмінію занурюють в хімічно-кислотну ванну, де у більшості випадків використовується ацетон. При цьому алюміній стає позитивним анодом, а кислотна ванна – негативним. З метою покращення якості готового профілю, перед проведенням процедури обробляють поверхню щітками з нержавіючої сталі (шліфування) чи дробним потоком. Ця процедура дозволяє видалити дефекти пресування та отримати ідеальну однорідну матову поверхню. При анодуванні на метал впливає електричний струм, тому захисна плівка росте як на поверхні так і в середині. За рахунок цього досягається максимальна міцність поверхні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. 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.
3. Астанін В.В., Хоменко А.В. Шевченко О.А. Композиційні матеріали в конструкціях сучасних літальних апаратів. *Вісник НАУ.* – К.: НАУ, 2004. – №3. – с. 46-52
4. Бичков С.А., Гайдачук О.В., Гайдачук В.Є., Гречка В.Д., Кобрі В.М.; Під ред. члена-кореспондента ІАУ, д-ра техн. наук, професора Гайдачука В.Є. Технологія виробництва літальних апаратів із композиційних матеріалів: Підручник. – К.: ІСДО, 1995. – 375 с.
5. Волосович Г.А., Зайвенко Г.М., Лубяный В.В., Хижко В.Д., Кудрин А.П. Ремонт летательных аппаратов: Лабораторные работы 10-14. – К.: КМУГА, 1999. – 68 с.
6. Голего Н.Л., Алябьев А.Я., Шевеля В.В. Фреттинг-коррозия металлов. - К.: Техніка, 1974. – 272 с.
7. Zhang, W.; Crittenden, J.; Li, K.; Chen, Y. Attachment Efficiency of Nanoparticle Aggregation in Aqueous Dispersions: Modeling and Experimental Validation. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 7054–7062.
8. Джур Є.О., Манько Т.А. та ін. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник. – К.: Вища освіта, 2013. – 399с.: іл.
9. Couronne, I.; Vergne, P. Rheological Behavior of Greases: Part II—Effect of Thermal Aging, Correlation with Physico-Chemical Changes. *Tribol. Trans.* 2000, 43, 788–794.

10. Животовська К.А., Животовський М.О., Мамлюк О.В., Косовський І.Г.; Під ред. Терещенка Ю.М. Авіаційні матеріали та їх обробка: Підручник. – К.: Вища освіта, 2013. – 304 с.
11. Забашта В.Ф., Кривов Г.О., Бондар В.Т. Полімерні композиційні матеріали конструкційного призначення. – К.: Техніка, 2015. – 160 с.
12. Зайвенко Г.М., Волосович Г.А., Лубяный В.В. Ремонт летательных аппаратов: Лабораторные работы 1-9. – К.: КМУГА, 1999. – 68 с.
13. Копань В.С. Композиційні матеріали. – К.: Унів. вид-во „Пульсари”, 2014. – 200с.
14. Кудрін А.П., Зайвенко Г.М., Волосович Г.А., Хишко В.Д. Ремонт повітряних суден і авіаційних двигунів: Підручник. – К.: НАУ, 2002. – 492 с.
15. Лабунец В.Ф. Авиационные материалы с высокой удельной прочностью: Учебное пособие. – К.: КМУНА, 1993. – 116 с.
16. Ночевкин Г.Н., Савельев Г.В., Чирков С.В. Пассажирский самолёт – аэробус А 310-300: Конспект лекций. – К.: КМУГА, 1997. – 308 с.
17. Овсянкин А.М. и др. Дефектология и обеспечение качества в производстве и эксплуатации авиационной техники: Конспект лекций. – К.: НАУ, 2011. – 148 с.
18. Shih, Y.-H.; Liu, W.-S.; Su, Y.-F. Aggregation of stabilized TiO₂ nanoparticle suspensions in the presence of inorganic ions. *Environ. Toxicol. Chem.* 2012, 31, 1693–1698. Nafsin, N.; Hasan, M.; Dey, S.; Castro, R. Effect of ammonia on the agglomeration of zirconia nanoparticles during synthesis and sintering by Spark Plasma Sintering. *Mater. Lett.* 2016, 183, 143–146.
19. Azman, N.F.; Syahrullail, S.; Rahim, E.A. Preparation and dispersion stability of graphite nanoparticles in palm oil. *J. Tribol.* 2018, 19, 132–141.
20. Франчук Г.М., Малахов Л.П., Півтора Р.М. Екологічні проблеми довкілля: Навч. посібник. – К.: КМУЦА, 2010. – 180 с.

21. Фрегер Г.Е., Аптекарь М.Д., Игнатьев Б.Б., Чесноков В.В., Меликбекян А.Х., Коструб В.А. Основы механики и технологии композиционных материалов: Учебное пособие. – К.: Аристей, 2014. – 524 с.
22. ДНАОП 0.01-1.01-95 Правила пожежної безпеки в Україні
23. ДНАОП 0.03-8.03-97 Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу
24. ДНАОП 5.1.30 -1.06 -98 Правила безпеки праці при технічному обслуговуванні і поточному ремонті авіаційної техніки
25. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ Вредные вещества. Классификация, общие требования безопасности
26. ДСТУ 3191-95 Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції. Загальні вимоги безпеки.
27. Журнал „АвиаСоюз”: 2005, №1. – с. 58-60
28. Журнал „Авиационная и ракетная техника”: 2005, №9. – с.7-8
29. Журнал „Авиационная и ракетная техника”: 2005, №26. – с.3-5
30. Журнал „Полёт”: 2004, №3. – с.14-21
31. Журнал „Авиационно-космическая техника и технология”: 2003, №8. – с. 5-13
32. Журнал „Авиационно-космическая техника и технология”: 2005, №4. – с. 5-8
33. Журнал „Авиационно-космическая техника и технология”: 2006, №1. – с. 25-31
34. Журнал „Вестник воздушного флота”: 2003, №3. – с. 48-49
35. Журнал „Вестник воздушного флота”: 2004, №5. – с. 60-64
36. Инструкция ВИАМ № 636-71 «Глубокое анодное окисление алюминия и его сплавов».
37. Технологическая инструкция «По анодному и химическому окислению деталей из алюминия и его сплавов ТИ-410ГА 00-75 (Пред)»