

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
канд. техн. наук, доц.

_____ О. В. Попов
« ____ » _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
«МАГІСТР»

Тема: «Дослідження структур захисних покриттів деталей авіаційної техніки різними методами нанесення»

Виконав: _____ **С. О. Страхов**

Керівник: д-р техн. наук, проф. _____ **О. І. Духота**

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

охорона праці: канд. техн. наук, доц. _____ **О.М. Гунченко**

охорона навколишнього

середовища: канд.техн.наук, доцент _____ **Є.О. Бовсуновський**

Нормоконтролер: _____

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден

Освітній ступень «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

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

**на виконання кваліфікаційної роботи
СТРАХОВА СЕРГІЯ ОЛЕКСАНДРОВИЧА**

1. Тема роботи: **«Дослідження структур захисних покриттів деталей авіаційної техніки різними методами нанесення»** затверджено наказом ректора від 11 жовтня 2021 року № 2197/ст.
2. Термін виконання роботи: з 25 жовтня 2021 року по 31 грудня 2020 року.
Вихідні дані до роботи: статистичні дані за результатами досвіду експлуатації елементів авіаційної техніки, аналіз використання направок для відновлення деталей, аналіз матеріалів, що використовуються для наплавлення, аналіз методів дослідження мікроструктур поверхневих шарів .
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз методів відновлення деталей, розробка технологічних принципів проведення металографічних досліджень аналізу проведених досліджень наплавлених матеріалів , розробка заходів з охорони праці та навколишнього середовища.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:

Графічний (ілюстративний) матеріал виконано за допомогою Microsoft Office Excel, Power Point, САПР КОМПАС та AutoCad та представлено у вигляді презентації.

6. Календарний план–графік

Завдання	Строк виконання	Відмітка про виконання
Аналіз існуючих причин пошкодження деталей та їх вплив на довговічність і працездатність авіаційної техніки	25.10 – 13.11.2021 р.	
Аналіз методів і матеріалів, що використовуються для нанесення на сталеві конструкції	24.10 – 03.11.2021 р.	
Вибір методики наплавлення, металографічного дослідження і випробування на зносостійкість наплавлених матеріалів	01.11 – 05.11.2021 р.	
Розробка плану експериментів дослідження на зносостійкість наплавлених матеріалів	03.11 – 7.11.2021 р.	
Проведення досліджень та аналіз отриманих результатів	08.11 – 30.11.2021 р.	
Розробка рекомендацій щодо підвищення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів	01.12 – 04.12.2021 р.	
Виконання окремих розділів роботи : охорона праці, охорона навколишнього середовища	01.11– 06.12.2021 р.	
Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	25.11– 12.12.2021 р.	
Попередній захист дипломної роботи	13.12– 17.12.2021 р.	

7. Консультанти по окремих розділах

Розділ	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Канд. техн. наук, доцент Гунченко О.М.		
Охорона навколишнього середовища	Канд. техн. наук, доцент Бовсуновський Є.О.		

8. Дата видачі завдання: « ___ » _____ 2021 року.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ О. І. Духота

Завдання прийняв до виконання _____ С. О. Страхов

Реферат

Пояснювальна записка до дипломної роботи: «Дослідження структур захисних покриттів деталей авіаційної техніки різними методами нанесення»:

102 с., 32 рис., 7 табл., 58 посил.

Об'єкт досліджень – закономірності структурних і фазових пертворень в багат шарових наплавках.

Предмет досліджень – металографічні структури наплавлених матеріали під флюсом.

Мета дипломної роботи – є підвищення зносостійкості сталевих конструктивних елементів авіаційної техніки

Методи дослідження.

Методи математичної статистики, мікроструктурного дослідження поверхневих шарів, методи електронної растрової мікроскопії, триботехнічні дослідження.

Практичне значення роботи - Проведено комплексні дослідження на макро-, мікро- та субмікроскопічному рівні структури наплавленого металу, зони сплавлення та основного металу. Вивчено пошарово-наплавочні матеріали зі сталі з мартенситно-аустенітною та перліто-феритною структурами. В обох випадках формувалася регулярна структура з твердими зернами мартенситу або перліту, оконтурованими м'якою фазою аустеніту або фериту.

Головним резервом розробки зносостійкого матеріалу для умов зношування є отримання металу з максимально можливою кількістю зміцнюючої фази та її сприятливою орієнтацією до поверхні зношування.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати в практичній діяльності при створенні нових покриттів і відновленні зношених деталей.

НАПЛАВКА, ФАЗОВІ ПЕРТВОРЕННЯ, МІКРОСТРУКТУРА, ЗНОШЕННЯ, НАПЛАВКА, ДОСЛІДЖЕННЯ, ЛЕГУЮЧІ ЕЛЕМЕНТИ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ.....	9
ВСТУП	11
<u>1</u> АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ.....	14
1.1 Аналіз причин дефектів деталей	14
1.2 Зношування	15
1.3 Види зношування.....	16
1.3 Зносостійка наплавка.....	24
1.4 Методи наплавлення.....	26
1.5 Характеристика складу, Призначення та мікроструктура металу для наплавлення.....	30
1.6 Підвищення зносостійкості з використанням легуючих елементів	35
1.7 Умови зношування	38
Висновки до розділу 1	40
<u>2</u> ОБЛАДНАННЯ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НАПЛАВОК.....	41
2.1 Визначення хімічного складу наплавленого металу.....	42
2.2 Обладнання для металографічних досліджень наплавленого металу ...	43
2.3 Випробування зразків наплавленого металу на установці для дослідженні на фретинг.....	47
2.4 Використання методу електронної растрової мікроскопії для дослідження структури зносостійкого наплавленого металу	52
Висновки до розділу 2	54
<u>3</u> ДОСЛІДЖЕННЯ НАПЛАВЛЕНИХ МАТЕРІАЛІВ З ФЕРИТО-ПЕРЛІТНОЮ ТА АУСТЕНІТНО-МАРТЕНСИТНОЮ СТРУКТУРАМИ	55

3.1 Металографічні дослідження наплавних матеріалів з ферито-перлітною та аустенітно-мартенситною структурами.....	55
3.2 Дослідження наплавних матеріалів методом електронної мікроскопії, що отримані під флюсом ФЦ-16,	56
3.3 Розподіл легуючих елементів під флюсом ФЦ-16, ФК-45 у наплавних матеріалах, отриманих та основи із сталі ВКН-7	59
3.4 Дослідження наплавних матеріалах під флюсом ФЦ-16 та ФК-45 в умовах фретиг-корозії	65
Висновки до розділу 3	68
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	69
4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів ..	69
4.1.1. Аналіз параметрів мікроклімату	69
4.1.2. Аналіз природного та штучного освітлення	70
4.1.3. Аналіз шуму та вібрації.....	74
4.2. Розробка заходів з поліпшення умов праці.....	81
4.2.1. Розрахунок системи штучного освітлення за методом використання світлового потоку.....	81
4.3. Пожежна безпека	83
4.3.1. Аналіз умов та факторів, що характеризують пожежний стан об'єкту	83
4.3.2. Заходи протипожежного захисту	86
Висновки до розділу 4	89
5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	90
5.1 Заходи, спрямовані на зниження викидів шкідливих газів та пилу	90
5.2 Уловлювання пилу з газопилових викидів	91
5.3 Уловлювання газоподібних домішок із технологічних газів	93

5.4 Визначення еколого-економічної шкоди від викидів в атмосферу забруднюючих речовин та від забруднення стічних вод плазмової установки	95
Висновки до розділу 5	98
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	100
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	101

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

ВСТУП

В даний час проблема терміну служби деталей машин і агрегатів, їх довговічності і надійності придбала вельми велике значення. Термін служби швидкозношуваних деталей визначає рентабельність багатьох дорогих машин. Незаплановані зупинки обладнання для заміни зношених деталей новими призводять до суттєвих втрат матеріалів, праці, фінансових ресурсів, пов'язаних зі зниженням якості продукції, порушенням ритмічності процесу виробництва, необхідністю в спеціальному ремонтному персоналі. Все це є причиною колосальних невиробничих витрат, які знижують ефективність використання авіаційної техніки в тому числі.. Сучасні тенденції інтенсифікації виробничих процесів, збільшення робочих тисків, швидкостей, температури призводять до прискорення зношування деталей, і в поєднанні з необхідністю автоматизації виробництва, роблять проблему підвищення довговічності швидкозношуваних вузлів авіаційної техніки ще більш гострою.

Тільки розуміння і чітке уявлення про властивості, які контролюють здатність сталей і сплавів до опору руйнування їх робочих поверхонь в процесі зношування, допоможуть сформулювати вимоги до використання зносостійких матеріалів і розробити конкретні заходи, що забезпечать працездатність деталей і збільшення терміну їх служби. За результатами дослідження зносостійкості матеріалів в технічній літературі, є багато публікацій. У більшості з них містяться відомості про конкретні матеріали, що вивчаються в конкретних умовах експлуатації. Оскільки публікуються дані, які є актуальними тільки для обмежених випадків, тому такі твердження інколи виявляються суперечливими. Одні і ті ж сплави, що демонструють високу зносостійкість в одних умовах і помірний опір зношування в інших.

Спроби створити зносостійкий матеріал без одночасного врахування всіх параметрів, характеристики зношування, середовища і зовнішніх умов зношування в кращому випадку дають обмежене рішення, яке можна використати тільки для однієї конкретної деталі. Ця обставина є причиною

великих розбіжностей в оцінці зносостійкості практично однакових за складом і властивостями матеріалів, досліджених незалежними авторами, стосовно до різних деталей.

Застосування зносостійких твёрдосплавних покриттів (наплавлень) з високовуглецевих сплавів на основі заліза, за складом близьких до інструментальним сталям, є одним із дуже ефективних способів підвищення опору абразивному зношуванню на робочих поверхнях тертя. Однак, питання доцільного вибору наплавлення матеріалів в залежності від умов використання деталей, як і питання технологічних методів наплавлення, не отримали ще достатнього вивчення. Сплавів, що використовуються для наплавлення, відомо дуже багато, тому становить практичний інтерес зіставлення їх властивостей при однакових умовах випробування на абразивне зношування, яке є головним фактором обмежував терміни служби машин різного призначення.

Стабільність в роботі, успішність і ефективність застосування твёрдосплавного покриття визначаються його хімічним складом і структурою. Отримати наплавочні матеріали, найбільш раціонально за цими двома параметрами і вельми економічні по використанню легуючих елементів, можна на підставі систематичних досліджень впливу хімічного складу і структурного стану сплаву на властивості напавленого металу і, перш за все, на його опір абразивному зношуванню. Вивчення впливу легування на властивості напавленого металу не дає потрібного ефекту, якщо в якості основного фактора зв'язку між складом і властивостями не буде вжито структурний і фазовий стан сплаву. Опір абразивного зношування визначається станом, природою і властивостями двох основних складових будь-якого сплаву: найбільш твёрдої складової – карбидами (їх складом, кристалічною будовою, твёрдістю і ін.), і основою сплаву – матрицею, в якій ці карбіди розташовані (її складом, кристалічною будовою, відхиленням від рівноважного стану і ін.). Дослідження зв'язків цих двох складових з легуванням напавленого металу, а також вплив кожної з них на опір

абразивному зношуванню дозволяє визначити умови раціонального легування зносостійких покриттів різного призначення.

Актуальність роботи

Дослідження зміни характеристик мікрогеометрії поверхневих шарів трибоспрями, що працюють в моторних оливах є актуальним питанням сучасних авіаційних поршневіх двигунів.

Вивчення складу, будови та товщини металомістних плівок на поверхнях тертя металевих пар, розробка практичних рекомендацій щодо підвищення зносостійкості важконавантажених рухомих спряжень пар тертя в двигунах дозволить продовжити строк служби авіаційної техніки і знизити витрати на їх технічне обслуговування.+

Вивчення фізико-механічних властивостей та структури наплавленого металу після різноманітних технологічних режимів нанесення покриття, розробка рекомендацій щодо поліпшення процесів нанесення покриттів і удосконалення їх фізико-хімічних характеристик є актуальними питаннями сучасного авіа-машинобудування.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Аналіз причин дефектів деталей

Дефекти авіаційної техніки з технологічної точки зору класифікуються як дефекти вузлів та дефекти деталей. Дефекти деталей, у свою чергу, поділяються на поверхневі та об'ємні. До поверхневих дефектів відносяться зміна форми та розмірів деталей і поверхонь, порушення поверхневого шару (наліт, корозія, вибоїни, задири, наклеп, місця схоплювання, відхилення від циліндричності та круглості, ерозія). Зародження та розвиток поверхневих дефектів найчастіше відбувається через порушення поверхневого шару і насамперед утворення залишкових напружень та зміну шорсткості поверхні.

Об'ємні дефекти зачіпають велику глибину. Відновлення таких дефектів передбачає значні технологічні труднощі і, інколи, таке відновлення не можливо.

Сучасна авіаційна техніка є складною конструкцією, що складається з великої кількості різних за формою, розмірами, матеріалами, умовами роботи та призначенням деталей. В процесі експлуатації під впливом статичних та динамічних навантажень, температур, внаслідок конструктивних та виробничих дефектів, а також можливих порушень умов технічного обслуговування деталі пошкоджуються. Як правило, більшість пошкоджень призводить до втрати працездатного стану.

Вироби знімають з експлуатації та, якщо вони підлягають відновленню, відправляють у ремонт.

Основними причинами дефектів є:

- знос елементів конструкції;
- конструктивні недоліки та виробничі дефекти;
- порушення правил експлуатації.

У процесі експлуатації авіаційна техніка знаходиться під впливом різних сил (різних навантажень), вібрації, пилу, різних газів, високих та низьких температур та впливу навколишнього середовища. Всі ці фактори викликають природне зношування деталей і агрегатів, що полягає в поступовій зміні їх розмірів, форми, якості поверхні, властивостей і міцності. Ці зміни ведуть до зниження надійності і, зрештою, до виходу деталей авіаційної техніки з експлуатації [1].

1.2 Зношування

Процес зношування це сукупність складних явищ, що відбуваються при взаємодії поверхневих шарів металу у певних умовах температури та тиску у середовищі, де відбувається зношування. Всі компоненти цього процесу, що включають і метал, і навколишнє середовище, і зовнішні умови, за яких відбувається зношування, взаємно пов'язані і кожен з них впливає на кінцевий результат – процес зношування та величину зношування. Тому дуже важливо знайти шляхи оптимізації цих параметрів, що забезпечують отримання найменшої величини зносу а, отже, збільшення терміну служби як окремих деталей, так і машин і апаратів в цілому.

Проблема зношування металів та сплавів може бути вирішена при комплексному дослідженні умов роботи трибоспряжень, включають:

- 1) Характеристику зношування;
- 2) Зовнішні умови зношування:
 - тиск,
 - температура,
 - характер силового та корозійного впливу;
- 3) Склад, структура та властивості матеріалу, що піддається зносу.

Підвищення зносостійкості деталей машин можливе на основі достовірної інформації про механізм руйнування металів абразивними частинками, знання процесів, що відбуваються у зношувальному шарі при дії на нього абразивних часток.

Вивчення характеру цих процесів та оцінка їх впливу на опір зношуванню дозволяє визначити ті властивості сплаву. Визначити ті властивості, які найбільше дозволяють контролювати здатність сплаву опиратися руйнуванню при взаємодії з абразивами, а відповідно сформулювати вимоги до складу та структури зносостійкого матеріалу.

За останні роки знання про природу та особливості механізму зношування матеріалів значно розширилися завдяки застосуванню при дослідженні досконалих методик та засобів вивчення змін, що відбуваються у поверхневих шарах зношеного матеріалу, встановленню зв'язку між характером взаємодії твердих тіл у зоні контакту та реальною будовою поверхневого шару металу. У будь-якому разі за всіх умов процес зношування здійснюється відповідно до фундаментальних законів природи, зокрема закону збереження енергії. Для того, щоб відокремити від суцільної деталі, деякий мікро- або макрооб'єм потрібно витратити енергію, яка рівна величині енергії, що необхідна для утворення двох нових поверхонь відповідної площі. Зміна внутрішньої енергії зношеного матеріалу дорівнює величині енергії новостворених поверхонь, що утворюються при руйнуванні, і енергії, що акумулюється в металі у вигляді прихованої енергії деформації при взаємодії металу із середовищем зношування. В таких випадках відбувається розрив міжатомних зв'язків, що призводить до відділення однієї частини кристалічної ґратки від іншої та утворення нових поверхонь. Такі явища потребують певних енергійних витрат для здійснення таких перетворень і можуть відбуватися, якщо металу повідомлено необхідну кількість відповідної енергії.

1.3 Види зношування

Зношування – основний фактор, що скорочує термін служби обладнання, що працює в різних умовах. Класифікація зношування може бути виконана за ознаками, що відповідає умовам використання деталей або результату зношування, або явищ і закономірностей, що виникають в процесі зношування.

Хрущовим М.М. та Бабичевим М.А. у роботі [1] запропоновані такі визначення:

Зношування – процес поступової зміни розмірів тіла при терті, що полягає у відокремленні матеріалу з поверхні тертя та залишкової деформації початкової поверхні .

Знос - результат зношування, що полягає у вигляді відокремленні або залишкової деформації металу.

Лінійний знос – знос, що визначається зменшення розміру по нормалі до поверхні тертя.

Швидкість зношування – відношення величини зносу до часу, при якому відбувається зношування.

Інтенсивність зношування – відношення величини зносу до обумовленого шляху або об'єму, у якому відбувалося зношування, чи обсягу виконаної роботи.

Відносна зносостійкість (ϵ) – безрозмірний показник, що характеризує співвідношення абсолютних величин зношування двох матеріалів, з яких один прийнятий за зразок.

Зазвичай вид зношування визначається умовами використання деталей і вузлів. Однак у ряді випадків, одним і тим самим зовнішнім умовам використання пари взаємодії можуть відповідати різні види зношування.

За ознакою основних явищ, що спричиняють ефект зношування, різні види зношування можна згрупувати у такі три основні групи: механічне, молекулярно-механічне та корозійно-механічне.

Основну групу механічного виду зношування становить **абразивне зношування**. Абразивне зношування (рис 1.1) матеріалу можна розглядати як дію твердих частинок на поверхню деталі, з якою вона контактує (процес тертя частинки по поверхні деталі). У деяких випадках частинки можуть ковзати по поверхні контакту, викликати пластичну деформацію поверхні, або проникати в поверхню матеріалу і переміщатися разом з нею, при цьому зрізати

мікрооб'єми матеріалу. Інтенсивність абразивного зносу залежить від твердості, розмірів та форми абразивних частинок.



Рисунок 1.1 – Абразивне зношування

Абразивне зношування характерне для дуже великої кількості машин і механізмів, що працюють у найрізноманітніших умовах, коли тверді частинки, що захоплюються потоком води, повітря, газу зі значною швидкістю ударяються по поверхні деталі.

Абразивне зношування розглядається як самостійний процес руйнування матеріалів і характеризується як найінтенсивніший процес зношування. [1]

Особливість абразивного зношування полягає в тому, що пряме руйнування поверхневого шару металу в кожний момент часу становить незначну частину від числа абразивних частинок, що контактують з робочою поверхнею деталі. Результат взаємодії абразивних частинок з поверхнею зношування супроводжується супутніми процесами, такими як: виділення тепла, збільшення щільності дислокацій в поверхневому шарі, структурними перетвореннями тощо.

Втомне зношування (рис. 1.2) відбувається при повторних, досить високих, напруженнях, що сприймаються одним і тим же обсягом матеріалу поверхні, особливо при чергуванні знаку напруження. В результаті в ньому виникають мікротріщини, що призводять до місцевого поверхневого руйнування, виришування у вигляді ямок. Цей вид зношування можна відстежити лише через певний період роботи деталі. До цього виду зношування призводить і малоциклова втома, що виникає при повторних пластичних деформаціях одних і тих самих об'ємів металу.

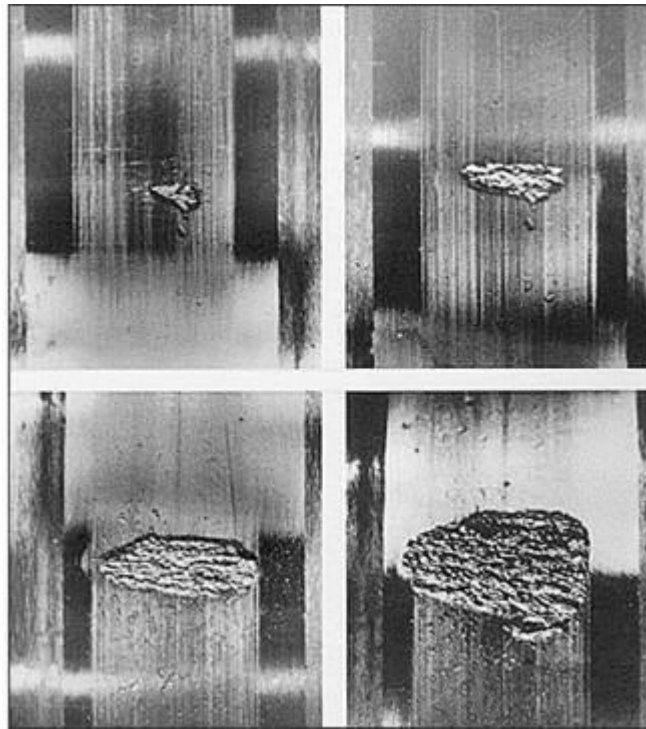


Рисунок 1.2 – Втомне зношування

Основним видом молекулярно-механічного зношування є **адгезійне зношування**, це процес «схоплення» металів при терті в результаті перенесення металу з однієї поверхні на іншу та виривання частинок з поверхні однієї деталі та налипання іншу спряжену поверхню. Це зазвичай призводить до появи на поверхні рисок і задирів, заїдання спряжених деталей, що провокує пошкодження поверхні. У цих випадках відбувається молекулярна взаємодія між близько розташованими поверхнями деталей. Необхідна умова для схоплювання – це забезпечення безпосереднього дотику «ювенільних» поверхонь, що виникають у процесі сумісної пластичної деформації.



Рисунок 1.3 – Адгезійне зношування

До різновиду такого виду зношування відносять і схоплювання при нагріванні поверхневих шарів пар тертя, це спостерігається в умовах тертя з великими швидкостями і значними питомими навантаженнями. В таких умовах зношування відбувається за рахунок утворення металевих зв'язків між поверхнями тертя. Таке явище можливе, коли поверхні знаходяться на відстані сил міжатомної взаємодії поверхневих шарів. Для цього ділянки поверхні повинні бути, як і у випадку «чисто адгезійного» зношування, вільні від різноманітних плівок, оксидів і адсорбованих речовин.

Корозійно-механічне зношування (рис. 1.4) – це механічне зношування, яке супроводжується процесами корозії. Поверхня металу взаємодіє з атмосферним киснем, що спричиняє утворення окисної плівки. Ці плівки мають неметалеву природу походження і схильні до схоплювання. Таким чином окисні плівки початковий момент ізолюють контактуючі поверхні деталей від прямого дотику «чистих» поверхонь. В умовах тертя, окисні плівки поступово стираються або відриваються і видаляються з поверхні тертя. Потім такі плівки утворюється знову, знову руйнуються в умовах тертя. В таких умовах, зношування являє собою видалення окисних плівок, які безперервно відновлюються.



Рисунок 1.4 – Корозійно-механічне зношування

В умовах агресивних середовищ збільшується інтенсивність корозійно-механічного зношування поверхонь тертя.

Окисне зношування (рис. 1.5) – один з найпоширеніших видів корозійно-механічного зношування, що відбувається при утворенні на поверхнях тертя плівок оксидів, як результат хімічної взаємодії металу з окисним середовищем та руйнування окисних плівок внаслідок процесу зношування. При усталеному стаціонарному процесі окисного зношування, тобто, при динамічній рівновазі руйнування та відновлення оксидних плівок, продукти зносу є оксиди, таким чином, пошкодження основного металу не відбувається. У таких умовах інтенсивність зношування невелика, але за певних умов, наприклад серед рідкого кисню, може бути значною. Інтенсивне окисне зношування спостерігається також при підвищених температурах (що сприяє зростанню оксидних плівок) та вібраціях (руйнування цих плівок). Таке зношування має місце, наприклад, у деталях кріплення вихлопних колекторів авіаційних двигунів внутрішнього згорання.

Слід мати на увазі, що при окисному зношуванні одночасно і взаємопов'язано відбуваються деформування найтонших поверхневих шарів та їх механічна активація, адсорбція кисню на активованих поверхнях тертя та хімічна реакція з утворенням оксидів, так що товщина та склад оксидів

залежать від умов зношування. Так, при помірному режимі граничного мащення, коли з металом реагує обмежена кількість кисню, розчиненого в мастильному матеріалі, утворюється ненасичена однорідна оксидна плівка, міцно пов'язана з основним металом і має товщину 10 – 100 нм.



Рисунок 1.5 – Окисне зношування

При сухому терті зазвичай утворюються більш товсті та насичені плівки оксидів, близьких за складом та властивостями до відомих оксидів металу. Так, в залежності від умов тертя і насамперед від температури на залізі утворюються плівки, що містять FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 . Слід мати на увазі, що, оскільки окислення поверхонь активується їх пластичним деформуванням при терті, збільшення твердості робочих елементів тіл, що труться, перешкоджає окисному зношуванню.

Фретинг-корозія (рис. 1.6) – це зношування тіл, що щільно контактують, при їх коливальному відносному переміщенні в умовах впливу корозійного середовища. Зношування при фретинг-корозії відбувається при малих коливальних переміщеннях. Це особлива форма зношування та за умов виникнення та характеру прояву помітно відрізняється від звичайного корозійно-механічного зношування при односпрямованому русі. Внаслідок малої амплітуди коливань продукти зносу повністю не видаляються із зони

тертя і надають певний абразивний вплив на основний метал, що може призвести до заклинювання пар. При цьому пошкодження локалізуються на ділянках дійсного контакту. Ці пошкодження мають вигляд натирів, налипань металу, виривів або раковин, часто заповнених продуктами корозії, зі специфічним забарвленням та мають вигляд пофарбованих плям.



Рисунок 1.6 – Фретинг-корозія

Фретинг-корозія зазвичай розвивається при пресових посадках на валах, що обертаються, в місцях посадки лопаток турбін, в шпонкових шліцевих і заклепочних з'єднаннях, в болтових і заклепочних з'єднаннях, схильних до вібрації, в підшипниках кочення, що передають навантаження в умовах відсутності, тобто, у тих випадках, коли мають місце мікроколивання та окисне середовище.

Кавітаційне зношування (рис. 1.7)– відбувається в результаті багаторазового впливу на поверхню гідравлічних ударів, що виникають при захопленні кавітаційних порожнин поблизу поверхні деталі.

Це зумовлено наступним. У потоці, що рухається з великою швидкістю при його звуженні і наявності перешкод на його шляху тиск може впасти до тиску, що відповідає тиску пароутворення при даній температурі. При цьому, залежно від опору рідини розтягуючим зусиллям, може статися розрив,

порушення суцільності потоку. Порожнеча, що утворюється, заповнюється парою і газами, що виділилися з рідини. Повітря, яке втягується в потік, полегшує виникнення кавітації. Парогазові бульбашки, що утворилися, розмірами порядку десятих часток міліметра, переміщуючись разом з потоком, потрапляють у зони високих тисків. Пара конденсується, гази розчиняються, і в порожнечу, що утворилася, з величезним прискоренням спрямовуються частинки рідини; відбувається відновлення суцільності потоку, яке супроводжуване ударом.



Рисунок 1.6 – Кавітаційне зношування

На практиці рідко трапляються випадки зношування за будь-яким одним із видів, або за іншими варіантами класифікації, відомими з літератури [2, 3]. Зазвичай зношування здійснюється у складних реальних умовах і за будь-якою з відомих класифікацій може бути віднесено до кількох виділених видів.

1.3 Зносостійка наплавка

Найбільш універсальним, економічним та широко застосовуваним у народному господарстві засобом відновлення та виготовлення деталей машин та механізмів є надання їм спеціальних якостей, що сприяють зростанню

зносостійкості – це є наплавлення. Цей процес являє собою нанесення на спеціально підготовлену поверхню деталей, що виготовляються або ремонтуються, розплавленого металу, що утворює з поверхневими шарами основного металу сплав з високими механічними і службовими властивостями. Потреба в наплавних матеріалах як покриття робочих поверхонь деталей, що швидко зношуються, після їх виготовлення, відновленні та ремонту. Процес відновлення нанесенням наплавки зростає з кожним роком у всіх галузях промисловості.

Наплавлення стало найважливішим і ефективним способом боротьби із зносом. Особливо широко наплавлення застосовується при ремонті та виготовленні нових бандажних полиць лопаток авіаційних двигунів, валів, осей та інш.

Маса сплаву, що наноситься в процесі наплавлення, зазвичай невелика і становить 2-6% маси самої деталі, що визначає високу економічну ефективність наплавлення. Наплавлення дозволяє підвищити зносостійкість деталі залежно від наплавного сплаву та умов експлуатації в 2-10 разів, а в деяких випадках і більше, знизити трудові витрати та простої при ремонті обладнання. Завдання підвищення зносостійкості та терміну служби деталей машин методом наплавлення зносостійких покриттів стало нагальним для сучасної авіаційної техніки [5].

Найчастіше наплавку застосовують як відновлювальну операцію початкових форм та розмірів деталі. Наплавним матеріалом може бути як матеріал зміцнюваної деталі, так і інший з вищими механічними та фізико-хімічними характеристиками. Розвиток цього зміцнення зводиться до пошуку більш зносостійких матеріалів, ніж матеріал зміцнюваної деталі. Як наплавлювальні матеріали зазвичай використовують леговану сталь. Основні чинники, що регламентують зносостійкість: хімічний склад наплавного матеріалу, можливість подальшого додаткового зміцнення, структурна стійкість наплавного шару за умов температурного впливу при зношуванні.

Для однотипних умов зношування іноді застосовують різні наплавні матеріали, оскільки достатньо обґрунтованих критеріїв їх вибору поки що немає [4]. Тому наплавні метали вибирають не під певний вид зношування, а під конкретну деталь конкретного вузла.

Застосування наплавочних процесів дозволяє багаторазово відновлювати зношені деталі, а також створювати нові біметалічні конструкції з необхідними технологічними та експлуатаційними властивостями, які у багато разів підвищують ресурс роботи агрегатів, значно скорочують витрату конструкційних та легованих інструментальних сталей. Завдяки цьому вдається досягти багаторазової економії матеріальних, сировинних, трудових, паливно-енергетичних і фінансових ресурсів за рахунок істотного збільшення довговічності деталей, що швидко зношуються, скорочення витрат на закупівлю запасних частин [6].

1.4 Методи наплавлення

Газова наплавка – один із способів зварювання плавленням, що у умовах локального оплавлення основного металу з використанням високотемпературного полум'я, одержуваного при спалюванні суміші пального газу з киснем з присадкою прутків чи з вдуванням порошку в газове полум'я. Основні переваги полягають у наступному: мале проплавлення основного металу, універсальність, можливість наплавлення шарів малої товщини.

Дугове наплавлення під флюсом (рис. 1.7). Назва цього способу пов'язана з тим, що дуга при наплавленні електродними матеріалами (дротом, стрічкою та ін) прихована під шаром гранульованого флюсу, попередньо насипаного на поверхню основного металу. Переваги способу наступні: універсальність, висока продуктивність, можливість отримання металу наплавленого практично будь-якої системи легування. Недоліки, що знижують ефективність застосування, зводяться до того, що значне проплавлення основного металу, особливо при наплавленні дротом, а також необхідні властивості виходять у третьому-п'ятому шарі.



Рисунок 1.7 – Дугове наплавлення під флюсом

Наплавлення відкритою дугою (рис. 1.8) – це наплавлення без захисного середовища, в середовищі повітря, що здійснюється дротом суцільного перерізу або порошковим дротом за відсутності подачі флюсу або захисного газу в зону дуги. Наплавлення дротом суцільного перерізу пов'язана з великими практичними труднощами і поступається способу наплавлення порошковим дротом із флюсовою серцевиною. Наплавлення відкритою дугою порошковим дротом має наступні переваги: простота використовуваного обладнання та технології, пов'язана з відсутністю необхідності застосування захисного газу та флюсу; можливість наплавлення в польових умовах; порівняно просте введення легуючих елементів у напавлений метал, склад якого можна регулювати в широкому діапазоні.

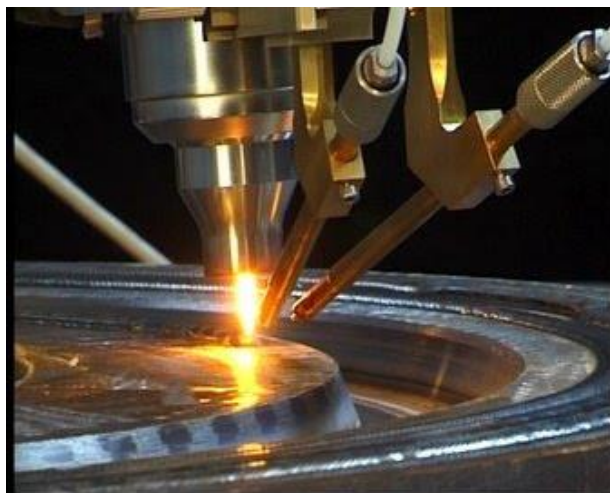


Рисунок 1.8 – Дугове наплавлення під флюсом

Електрошлакова наплавка (рис. 1.9) – наплавка цим способом відбувається в умовах безперервної подачі електродного дроту (або стрічки) всередину шару розплавленого шлаку, а плавлення їх відбувається за рахунок теплоти опору при пропусканні струму між основним металом і електродом. Електрошлакова наплавка має наступні переваги: економічність наплавлення зростає при збільшенні товщини шару, що наплавляється (застосування багатоелектродних головок забезпечує наплавлення шару великої товщини без істотного збільшення тривалості наплавлення); менша витрата шлаку, ніж при дуговому напавленні під флюсом; можливість наплавлення високовуглецевих та інших матеріалів, що мають високу чутливість до утворення тріщин, що забезпечується низькою швидкістю охолодження напавленого металу; відносна простота процесу наплавлення, особливо при використанні змінного наконечника.



Рисунок 1.9 – Електрошлакова наплавка

Напавлення в середовищі захисного газу – це напавлення електродом, що плавиться, в середовищі захисного газу відбувається в умовах газового потоку з боку подачі електродного дроту (напавного матеріалу), що забезпечує захист зони дуги від навколишнього середовища. Даний спосіб в залежності від використовуваного газу поділяється на: напавлення в середовищі вуглекислого газу – це напавлення електродом, що плавиться, в середовищі вуглекислого газу. Основна перевага напавлення CO_2 полягає в

можливості підвищення продуктивності процесу за рахунок його здійснення в автоматичному або напівавтоматичному режимі. Недолік цього способу, властивий і іншим способам із застосуванням захисних газів, пов'язаний з неможливістю роботи на відкритому повітрі через вплив вітру на процес наплавлення.

Наплавлення в середовищі інертного газу – спосіб полягає в дуговій наплавці при захисті зони дуги аргонном, гелієм або іншим інертним газом. Наплавлення в середовищі інертного газу здійснюють у двох варіантах: плавким і вольфрамовим електродами. Застосування інертного газу виключає необхідність використання флюсу, тому цей спосіб особливо ефективний при напавленні кольорових металів, високолегованих сталей та інших матеріалів, чутливих до окиснення та азотування. Висока якість напавленого металу забезпечується в широкому виборі напавочних матеріалів. Стабільна дуга утворюється в широкому діапазоні сили струму, що забезпечує стійке формування зварювальної ванни та рівний валик напавленого металу з гладкою поверхнею. Цей спосіб поступається напавленню електродом, що плавиться, за продуктивністю через високу концентрацію енергії і низьку ефективність використання теплоти дуги.

Плазменна напавка (рис. 1.10) Плазмова напавка відноситься до сучасних методів захисту покриттів від руйнівної дії агресивного середовища. Різновид високоточного зварювання дозволяє продовжити термін експлуатації дорогих деталей авіаційної техніки.

Процес напавлення металу здійснюється шляхом подачі присадного матеріалу (дріт, дрібнозернистий порошок) у струмінь плазми. Під впливом спрямованого потоку плазми, що діє на оброблювану зону, відбувається нагрівання присадки з подальшим розплавленням. В результаті поверхня виробу, що безперервно нагрівається, покривається захисним матеріалом, створюючи напавний шар.

Плазма є одним з варіантів сильно іонізованого газу, нагрітого до надвисоких температур. Під час процедури дугової іонізації газу під впливом

створеного електричного поля, створюється спрямований струмінь плазми. На виробництві такий струмінь отримують одним із двох способів формування електричного розряду:

- за допомогою плазмотрона, спрямованого на оброблювану поверхню (пряма дія плазми);
- за допомогою електрода та водоохолоджуваного сопла плазмотрона (непряма дія плазми).



Рисунок 1.10 – Плазменна наплавка

1.5 Характеристика складу, Призначення та мікроструктура металу для напавлення

Зазвичай наплавні матеріали розрізняють за хімічним складом та використанням їх у тій чи іншій галузі промисловості. У США [7] наплавні матеріали поділяють залежно від хімічного складу на чотири групи:

- 1) малолеговані на залізній основі (від 2 до 12% легуючих елементів);
- 2) високолеговані на залізній основі (від 12 до 50% легуючих елементів);
- 3) матеріали на основі нікелю та кобальту;
- 4) матеріали, що містять переважно карбіди вольфраму (75 % і вище).

Класифікація, хімічний склад та твердість наплавленого металу на основі заліза деяких наплавних матеріалів подано в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація, хімічний склад та твердість наплавних матеріалів

Тип наплавленого металу	Масова частка елементів, %									Твердість HRC
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	V	Mo	інші	
Нелеговані та низьколеговані сталі	0,4	0,5-3,0	≤1,0	≤3,0	≤3,0	-	-	1,0	-	20-45
Нелегированные и низколегированные стали	0,4	0,5-3,0	≤1,0	≤3,0	≤3,0	-	-	1,0	-	52-60
Хромовольфраміві, хромомолібденові теплостійкі сталі	0,2-0,5	≤2,0	≤1,0	1,0-5,0	≤5,0	1,0-10,0	0,2-1,5	4,0	-	52-60
Вольфраміві, вольфрамомолібденові швидкорізальні сталі	0,6-1,5	≤0,5	≤0,4	4,0-6,0	-	1,5-18,0	3,0	10	Co≤15	52-60
Низьковуглецеві хромисті сталі	0,2	≤0,8	≤2,0	12-30	≤5,0	-	-	2,0	-	35-50
Хромисті сталі з підвищеним вмістом вуглецю	0,2-2,0	0,3-1,5	≤3,0	5,0-18,0	≤5,0	1,5	-	2,0	-	50-60

Найбільш поширені зносостійкі наплавні матеріали включають: аустенітні високомарганцеві сталі, хромисті сталі, карбідні сталі класу швидкорізальних, високохромисті чавуни; хромовольфраміві теплостійкі сталі, кобальтові сплави з хромом і вольфрамом, нікелеві сплави з хромом і бором, нікелеві сплави з молібденом, карбідні спечені сплави і т.д. [8, 4]. Система легування наплавних матеріалів охоплює великий перелік поєднань: *Fe-C-Cr*; *Fe-C-Mn*; *Fe-C-W*; *Fe-C-Cr-Mn*; *Fe-C-Cr-B*; *Fe-C-Cr-Ni*; *Fe-C-Mo*; *Fe-C-Cr-Mo*; *Fe-C-Cr-W*; *Fe-C-Cr-W-V*; *Fe-C-Cr-W-B* та інші.

Основні структурні складові таких сплавів після наплавлення: мартенсит (58...60 HRC); аустеніт (35...40 HRC); перліт (50 HRC); аустеніт та ледебурит (40...50 HRC); ледебурит та карбіди (60... 63 HRC); сорбіт (50 ... 52 HRC) і т.д. Кількість вуглецю та легуючих елементів у наплавних сплавах зазвичай коливається в широких межах: *C* – від 0,3 до 4,8%; *Cr* – від 2 до 30%; *Mn* – від 0,5 до 15 %; *W* – від 1 до 18%; *B* – від 0,1 до 6 %.

Зносостійкість наплавних матеріалів істотно залежить від типу та кількості карбідної фази в сплавах. Карбіди також сприяють збереженню стійкості початкової структури сплаву при експлуатації, ускладненій підвищеною температурою. Найчастіше зміцнююча фаза в наплавних сплавах містить карбіди: Fe_3C ; Mn_3C ; Cr_7C_3 ; W_2C ; WC ; VC ; TiC ; B_4C , Mo_2C , та ін, а також карбобориди, нітриди, заліза та легуючих елементів.

В авіаційній промисловості осі шасі зазнають значного навантаження. На поверхні виникають значні зони зношування. Впровадження технології плазменного наплавлення на осі дозволить швидко відновлювати дані конструктивні елементи без значних затрат. Дослідження [4] показали, що більшу зносостійкість в умовах роботи осей шасі мають сплави, що мають зміцнюючу фазу у вигляді боридних голок.

Величина зношування зростає при зменшенні розмірів первинних карбідів та збільшенні відстані між ними [9]. Мікролегування та модифікування при електрошлаковому наплавленні забезпечило високі механічні властивості, гарячу твердість, зносостійкість та термічну витривалість металу типу 100ХНМ та 100СХНМ [10].

Для стабілізації твердого розчину та зміни карбідної евтектики наплавлений метал модифікували фероніобієм ФН-1. Структура металу отримала дрібнозернисту будову з дрібно роздробленою карбідною евтектикою, що виключило появу тріщин у наплавленому металі [11].

В роботі [12] було поставлено завдання – оцінити запропоновану наплавку на основі системи легування Fe-C-Cr-B-Si, що не містить дорогих легуючих елементів. У процесі роботи було проведено лабораторних випробувань різних сплавів (табл.1.2).

Відносна зносостійкість ε визначалася як відношення:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{\Delta L_{ет}}$$

де ΔL_0 – лінійний знос зразка, мм

$\Delta L_{ет}$ – лінійний знос еталону, мм.

Таблиця 1.2 – Відносна зносостійкість випробування матеріалів

	Найменування наплавки	Агрегатна твердість, HRC	Лабораторні дослідження твердості по Вікерсу
1	80X20P3T	60-63	6,07
2	ЕН-ІТС-01	59-62	5,45
3	ЕН-150X13P3Ф	62-64	6,5
4	ЕН-240X13C5P2	60-62	6,9

Лінійний знос ΔL_0 , $\Delta L_{ст}$ визначали як середнє арифметичне значення, отримане з 5 вимірювань на робочій поверхні кожного зразка. Як зразок використовувався циліндричні зразки діаметром 20 мм зі сталі ВКС-7.

Наплавлений метал, як правило, макронеоднорідний, що проявляється в нерівномірності його зношування у процесі експлуатації. Дослідженню макронеоднорідності наплавленого металу присвячувалося багато робіт, у яких використовувалися спектральний аналіз (фрактографічний та фотоелектричний), мікрорентгеноспектральний, хімічний та інші методи аналізу металів [13-16]. Зношування поверхневого шару відбувається нерівномірно. Причиною цього є наявність ділянок наплавленого металу з різною структурою та твердістю. Істотно знизити ступінь неоднорідності наплавленого шару за твердістю можна за допомогою попереднього підігріву до температури, близької (або дещо перевищує температуру початку мартенситного перетворення). У цьому випадку аустенітна структура зберігається практично у всьому наплавленому шарі і подальше перетворення відбувається більш уповільнено, що сприяє більш рівномірному структуроутворенню і розподілу твердості [17]. Нерівномірність хімічного складу наплавленого металу дещо посилює вибірковість процесу зношування, особливо при взаємодії з незакріпленими абразивами, наприклад, в умовах роботи асфальтозмішувачів.

Мартенситне перетворення у процесі пластичної деформації метастабільного аустеніту викликає додаткове зміцнення металу [18].

Найбільш широке застосування в промисловості знаходять електроди, системи легування вуглець-хром-бор, що забезпечують одержання в структурі наплавленого металу значну кількість зміцнюючої фази, що містить бор у карбідах або боридах [8]: Т 590 з 1,5...4,0 % вуглецю , 18,0... 27,0 % хрому та 0,5... 1,5 % бору; структура наплавленого ними металу, складається з ледебуриту та залишкового аустеніту зміцнених первинними карбідами Me_7C_3 та боридами $Cr_2(B;C)$.

Для деталей, що експлуатуються в умовах абразивного зносу при підвищених температурах, використовується наплавлений метал складу в залежності від робочої температури. Високовуглецеві та високохромисті сплави застосовуються для наплавлення деталей, що працюють при температурі до 500 °С.

Для роботи при температурах до 600 °С рекомендується високовуглецевий та хромовольфрамовий сплав типу X10B14, що містить 3,5...4,0 %; 9...10 % Cr; близько 14 % W. Механічна обробка такого металу дуже ускладнена. Тому для роботи при цій температурі деталі, що підлягають механічній обробці, рекомендується виготовляти зі сталі типу 3X2B8 [19]. Деталі, схильні до абразивного зносу при температурах до 800 °С рекомендується наплавляти твердими сплавами типу стелітів на основі кобальту (35...55 %), що містять вуглець (1...4 %), хром (15...45 %), вольфрам (10...25 %). Аустенітна структура таких сплавів зміцнена карбідами [20]. Стеліти мають значну зносостійкість і міцність, хороший опір корозії, ерозії та окалиноутворення при значних температурах.

У композиційних матеріалах для наплавлення деталей вузлів тертя, що працюють на повітрі при температурі 20...1000 °С, доцільно застосування карбідів Cr_2C_2 та TiC .

У карбідах Cr_3C_2 розчиняється 2...2,5 % титану, що не знижує їхню мікротвердість. Карбід Cr_3C_2 містить вуглець 39..40 %. При збільшенні вуглецю в карбідній складовій з 12,4 до 13,2 % мас.част. відбувається якісна зміна складу карбідів Cr_2C_2 та Cr_7C_3 до суміші Cr_3C_2 та графіту [21].

Слід відзначити, що карбід титану TiC – сильно ускладнює зростання зерна в сплаві, додатково сприяє збільшенню опору руйнуванню робочої поверхні деталі при абразивному зношуванні. Опір зношуванню залежить від відношення в карбіді вмісту легуючого елемента до вуглецю. Зносостійкість тим вище, чим більше це співвідношення [8]. При відношенні титану до вуглецю $TiC = 4$ весь титан і вуглець пов'язані в карбідом TiC , який перетворюється на твердий розчин; при $TiC > 4$ надлишок титану перетворюється на розчин, у своїй кількості карбідів менше і твердість сплаву після загартування менше, ніж у першому випадку. При $TiC < 4$, надлишок вуглецю перетворюється на розчин, а при загартуванні при температурі вище $1200\text{ }^{\circ}C$ частину карбиду титану також може переходити в розчин.

Деякі типи і властивості різних карбідів наведено в таблиці 1.3

Формула карбідів	Тип решітки	Кількість атомів на комірку	Мікротвердість	$T_p\text{ }^{\circ}C$	Пит. Вага $г/см^3$	Максимальна кількість розчиненого в карбіді елемента
Cr_7C_3	Гексоган. (тригом.)	80	1050-1260 2100	1665	6,915	Fe до 60%
$M_{23}C_6$	Складна кубічна	116	1000-1100	1550	6,97	Fe до 35%. Всі елементи, крім Nb, Ti, Ta - розчинні
W_2C	Гексагон.	3	3000	2850	17,15	-
WC	Гексагон.	2	1700-1750	2600	15,7	Fe, Ni, Cr погано розчиняються
TiC	Кубічна гцк	8	3200	3100	-	0,7% Ni
Mo_2C	Гексагон. щільна.	3	1600	2700	-	-

1.6 Підвищення зносостійкості з використанням легуючих елементів

Для збільшення опору сплавів абразивного зношуванню в різних умовах експлуатації, легування є одним з найефективніших шляхів підвищення працездатності деталей та довговічності. [2,48,]. Основним легуючим елементом, що визначає зносостійкість матеріалу, є вуглець. Вплив вуглецю на опір металу зношування істотно залежить від того, в якому вигляді він

знаходиться в сплаві, чи зв'язаний у спеціальні карбіди або розчинений у твердому розчині [50, 55]. Вуглець є одним з головних компонентів, що впливають на зносостійкість сталей та сплавів, хоча в залізі розчинення його супроводжується зменшенням величини сил міжатомного зв'язку у ферриті, аустеніті [20] та мартенсіті [64]. Зі збільшенням вмісту вуглецю зношування сталей зменшується, проте тільки до евтектоїдної точки, подальше його збільшення тягне за собою зниження опору металу абразивному зношуванню за рахунок послаблюючого впливу сітки карбідів. Високолеговані, але маловуглецеві сталі мають меншу зносостійкість ніж менш леговані але містять більшу кількість вуглецю. Вплив легуючих елементів на зносостійкість визначається їх взаємовідносинами з вуглецем. Доцільність легування зносостійких сплавів багато в чому визначається вмістом вуглецю, у поєднанні з яким ефективність впливу легуючих елементів істотно зростає. Тому підвищення концентрації вуглецю в легованих металах підвищує їх зносостійкість, таким чином дозволяє повніше реалізувати можливості легуючих елементів.

Зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі, зростає коефіцієнт зміцнення аустеніту при деформації, що обумовлюється, виділенням дисперсних карбідів з аустеніту, перебігом процесів взаємодії атомів вуглецю з дефектами кристалічної будови та зміною щільності та розподілу дислокацій. При цьому вуглець сильно знижує мартенситну точку і при відповідному його вмісті зумовлює отримання матриці, здатної при кімнатній температурі до перетворень в процесі зношування, з утворенням на площинах ковзання дрібнодисперсних карбідів, що викликає дисипацію енергії абразивних тіл. Крім того, ці карбіди збільшують твердість і сприяють більш рівномірному розподілу щільності дислокацій у шарі, що зношується, що значно підвищує енергоємність металу, а, отже, і опір сплавів зношування абразивами.

Відомо, що бор викликає підвищення твердості металу, головним чином рахунок інтерметалідів. Характерно, що вихідна твердість сплавів, що містять бор, зберігається при підвищених температурах. При вмісті бору в

наплавленому металі понад 0,4 - 0,5 % спостерігається різке зменшення ударної в'язкості та працездатності. Наявність бору в сталях, що мають феритну структуру, супроводжується зменшенням сил міжатомних зв'язків і через це деяким ослабленням здатності металу протистояти абразивному впливу. Бор, при його вмісті у сплаві 0,4 - 0,5 %, помітно підвищує зносостійкість, але одночасно у 6 - 9 разів знижує ударну в'язкість. На основі аналізу впливу бору на будову та властивості зносостійких сплавів у роботі [8] вказується, що легування хромистих, хромомарганцевих та хромовольфрамних сплавів бором у кількості 0,15 - 0,25 % недоцільно у зв'язку зі значним зменшенням ударостійкості при відносно малому зростанні. Бор при його великому вмісті досить широко використовується для підвищення зносостійкості наплавленого металу. Легування бором у кількості до 1 % застосовується у промислових наплавних сплавах БХ, КБХ, Н8, а також Т-590, ХР-19, Т-620, КБХ-45. Зносостійкість наплавів згідно з [8] підвищується завдяки появі твердих боридів та збільшення твердості хромистих карбідів.

Хром – один із базових легуючих елементів, який широко використовується в сплавах з вуглецем і бором, істотно визначає їх зносостійкість [58, 60]. Введення хрому в метал, що зумовлює збільшення твердості карбідів типу Fe_3C [65], підвищує сили міжатомних зв'язків у кристалічній решітці карбідів [67], сприяє утворенню боридів, карбідів, карбоборидів [58, 60,].

Хром застосовується для легування більшості конструкційних, інструментальних, жароміцних та інших сталей та сплавів спеціального призначення. Відомо, що хром, розчиняючись у фериті до 30 % і аустеніті до 13 %, підвищує властивості міцності і твердість матриці сплавів; збільшує стійкість карбідів типу Fe_3C , (у яких він може розчинятися понад 23 %) проти коагуляції та затримує процес зниження механічних властивостей при нагріванні. Введення хрому в сталь підвищує сили міжатомних зв'язків у кристалічній решітці карбідів та фериту, проте зростання величини цих

характеристик відрізняється зі збільшенням вмісту хрому лише до 8 %, а подальше збільшення хрому (до 16 %) не призводить до посилення міжатомних зв'язків [64]. При вмісті сталі більше 1 % С і 3,5 % хрому утворюється складний карбід $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$. Твердість такого карбиду досягає 140 -180 ГПа. Залізо може заміщати в Me_7C_3 до 40 % хрому, що спричиняє зниження твердості карбиду. Me_7C_3 може розчинятися в аустеніті, однак меншою мірою, ніж Fe_3C . У сталі, що містить вуглець (до 1 %), а також Мо або W поряд з Me_7C утворюється Me_{23}C_6 , твердість якого становить 1000 – 1100 HV. У Me_{23}C_6 до 30 % хрому може заміщатися залізом, що супроводжується збільшенням розчинності карбиду в аустеніті при 950 – 1100 °С. У сталі типу X12ВМБФР (0,25 % V, 0,37 % Nb) карбіди хрому типу Me_{23}C_6 розчиняються повністю при загартуванні з температури 1050°С.

У твердому розчині найбільш поширених з наплавних матеріалів знаходиться до 50 % хрому від загального вмісту в сплаві. Таким чином, вплив хрому в зносостійких матеріалах може виявлятися як за рахунок карбідів, так і за рахунок зміни властивостей матриці.

1.7 Умови зношування

В процесі взаємодії абразивних тіл з поверхнею деталі робота пружної деформації в місцях кожного одиничного контакту повністю переходить в теплоту. Хоча контактна температура в локальних обсягах може досягати значних величин, теплота швидко відводиться в холодні частини металу і зношуююче середовища відповідно до їх теплопровідності. Температура нагріву робочої поверхні робить досить істотний вплив на зносостійкість металів і сплавів. Так наприклад, термічна обробка, загартування високохромистих сталей типу X12 високими температурами, обумовлює отримання в структурі великої кількості залишкового аустеніту (80 %). Відомо, що залишковий аустеніт такого типу в сталях під впливом зовнішнього навантаження може перетворюватися в деформаційний мартенсит. При цьому існує деяка мінімальна величина напруження, з якої починається утворення деформаційного мартенситу. Вивчення впливу

температури на зношування деталі та на опір сплавів впливу зношуючого середовища займається багато вчених.

Як показано в дослідженнях [23,24] зношування деталей при нагріванні до температури початку мартенситних перетворень істотно різний. У сталей зі стабільною структурою, не чутливою до зміцнення в процесі зношування та сталей з нестабільною структурою, в якій відбуваються структурні перетворення під впливом абразивних тіл.

Встановлено, що зміцнення, повнота перебігу перетворень та зносостійкість сплавів із залишковим метастабільним аустенітом в своїй більшості залежить від температури випробувань. Так зі збільшенням температури від кімнатної до 250°C величина питомого зносу зростає вдвічі (рис.1.2).

Максимальний рівень зносостійкості метастабільних сплавів отримано при випробуванні без підігріву, коли зміцнення стали найбільш повним. Явище різкого зниження зносостійкості сплавів зі структурою залишкового аустеніту при збільшенні температури очевидно пов'язане зі стабілізацією γ - фази та зниженням зміцнення зношуваної поверхні.

Висновки до розділу 1

На сьогоднішній день питання зносостійкості пар тертя є досить актуальним. Аналіз дефектів вказує на те, що зношення в наслідок тертя можна зустріти в більшості випадків. Зношування залишається одним із критичних факторів, що впливає на міцність і довговічність деталі, вузла, агрегату і техніки в цілому.

Заміна зношеної деталі на нову є досить часто економічно недоцільно, оскільки, незначні пошкодження деталей потребують заміни на нову деталь.

Використання відновлювальних технологій значно знижує собівартість технічного обслуговування і ремонту конструктивних елементів літальних апаратів. Для відновлення на сьогодні використовуються різні технології, такі як гальванічні, газотермічні вакуумно дугові і інші.

Метод наплавки має обмежене використання в авіації, але він дозволяє якісні, міцні, абразивостійкі покриття. За рахунок того, що при наплавці, наплавлюваний матеріал вплавляється в матеріал основний матеріал, ми отримаємо дуже міцне з'єднання порівняно з іншими методами відновлення напиленням.

Для наплавки матеріалу на сталеві деталі використовують композиції на основі вуглицю, бору, хрому і інші. Кожен з легуючих матеріалів має свій вплив на кінцеві характеристики наплавленого матеріалу. В цілому, до кожної деталі потрібно підходити індивідуально, врахувати особливості роботи деталі навколишнього середовища, вимоги щодо довговічності і зносостійкості.

РОЗДІЛ 2

ОБЛАДНАННЯ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НАПЛАВОК

Матеріалом для дослідження з'явилися зразки зі сталі ВКС-7 на поверхню яких були нанесені по 5 наплавних шарів з різними хімічними складами системи Fe-C-Cr-Nb-Mo-V-B-Si-Mn. Товщина кожного наплавленого шару складала 2 мм. Після багатошарового наплавлення, 5-й шар практично знімався в результаті вирівнювання поверхні за рахунок остаточної механічної обробки шліфуванням. В якості зразків наплавлення і для дослідження було вибрано стандартні зразки (рис.2.1) для випробування на фретинг на установці МФК-1. Наплавка зносостійкого матеріалу виконувалася на робочі поверхні зразків.

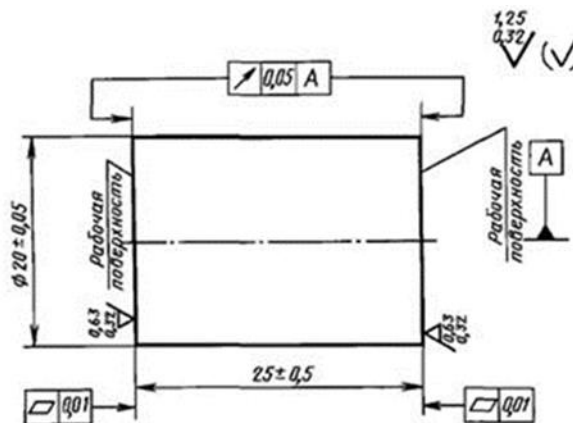
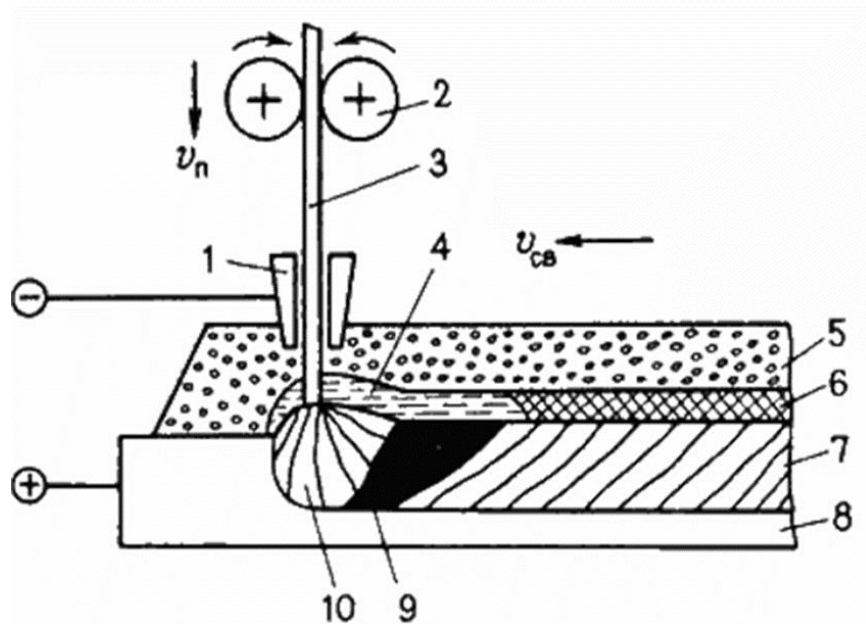


Рисунок 2.1 – Зразок для наплавлення дослідного матеріалу

На рис. 2.2 наведена схема електродугового наплавлення під шаром флюсу. Сутність процесу дугового наплавлення під шаром флюсу полягає у застосуванні наплавної стрічки та гранульованого флюсу, що насипається попереду дуги шаром певної товщини. Наплавку ведуть дугою, що горить під шаром флюсу у просторі газового середовища, що утворюється в результаті виділення парів та газів у зоні дуги.

Зверху середовище обмежено плівкою розплавленого шлаку, знизу – зварювальною ванною.

Наплавлення під шаром флюсу проводиться електродом, що плавиться, автоматично або рідше напівавтоматично і відрізняється найбільш високою продуктивністю від інших дугових способів. [90]



1 – струмопідвідні колодки; 2 – напрямлюючі ролики; 3 – електродний дріт; 4 – шар шлаку; 5 – шар сухого флюсу; 6 – шлакова кірка; 7 – зварний шов (наплавлений метал); 8 – основний метал; 9 – зварювальна ванна; 10 – електрична дуга

Рисунок 2.2 – Схема механізованого наплавлення металу під шаром флюсу

2.1 Визначення хімічного складу наплавленого металу

Досліджувалися наплавлення з феритно-перлітною та аустенітно-мартенситною структурами, які наносилися на сталь ВКС-7 за допомогою електродної стрічки марки 08КП під стандартними флюсами ФЦ-16 та ФК-45 відповідно. Стрічкова наплавка під шаром флюсу поряд з позитивними сторонами цього способу, такими як висока продуктивність процесу, можливість розподіленого введення тепла у зразок, стабільний хімічний склад наплавленого металу та ін., При напавленні стрічковим електродом притаманний ряд недоліків. Основний недолік – утворення непровару на ділянці перекриття попереднього шару наступним внаслідок різкого переходу

наплавленого металу до основного. Хімічні складові цих наплавних матеріалів наведено у таблиці 2.1.

Для дослідження мікроструктури цього наплавленого металу із зразків виконували шліфи. Зразки розрізалися під кутом 7° до досліджуваної поверхні таким чином, що зріз припадав на доріжку тертя і в повному обсязі виконати необхідні дослідження.

Таблиця 2.1 - Хімічні складові наплавних матеріалів, основи, стрічки та флюсу

Назва	Легуючі елементи, вес.%							
	C	Mn	Si	Cr	Cu	Ni	V	Mo
Наплавка з флюсом ФЦ-16	0,1	0,84	0,47	0,11	0,21	0,06	-	-
Наплавка з флюсом ФК-45	0,1	2,89	1,45	2,72	0,19	0,09	-	-
Стрічка 08КП	0,05- 0,11	0,25- 0,50	0,03	-	0,25	0,25	0,04	0,035
Флюс ФЦ-16	CaO 15 ÷ 21	MnO 3 ÷ 6	SiO ₂ 26 ÷ 32	MgO 6 ÷ 9	Al ₂ O ₃ 17 ÷ 21	CuF ₂ 12 ÷ 18	NaF 3 ÷ 8	Fe ₂ O ₃ 1,0
ФК-45	CaO 20 ÷ 30	MnO 5 ÷ 8	SiO ₂ 26 ÷ 32	MgO 3 ÷ 7	Al ₂ O ₃ 18 ÷ 25	CuF ₂ 12 ÷ 18	NaF 5 ÷ 10	Fe ₂ O ₃ 1,0

2.2 Обладнання для металографічних досліджень наплавленого металу

Для виконання всіх металографічних досліджень є виготовлення зразків (шліфів), які можуть бути використані для мікроскопічного дослідження за допомогою світлового та електронного мікроскопа, для визначення мікротвердості та кількісного виміру структурних складових [83-86]. Добре підготовлений металографічний шліф повинен відповідати низці вимог. Насамперед, він має бути типовим для даного матеріалу зразка; вирізання, шліфування і полірування зразка повинні здійснюватися таким чином, щоб на його поверхні залишався мінімальний шар ушкодженого і деформованого

металу (це необхідно для виявлення істинної мікроструктури матеріалу після травлення). Крім того, на поверхні шліфу не повинно спостерігатися полірувальних подряпин та ямок, а також плям, що виникли в результаті взаємодії з рідинами. Шліф повинен бути досить пласким, щоб його можна було розглядати при великих збільшеннях. Виготовлення металографічних шліфів зазвичай складається з 5 основних операцій:

1. Вирізання зразка та підготовка поверхні;
2. Його закріплення (необов'язково);
3. Шліфування;
4. Полірування;
5. Травлення.

Після вирізання зразки шліфувалися на папері різної зернистості з поступовим переходом від грубого до тонкого абразиву: № 100, 160, F250, F400, F680 і остаточне полірування на оксамиту [87, 88].

У роботі використовувалися два реактиви для травлення. Реактивом першого складу травили межі зерен, а реактивом другого складу – «тіло зерна»/29/. Склад першого реактиву: азотна кислота 20 - 25 мл, вода дистильована 80 мл., склад другого реактиву: соляна кислота 10 мл, етиловий спирт 90 мл.

Час травлення у першому реактиві залежно від хімічного складу зразка від 15 с до 1 хв. Температура 20 - 25 °С. Час травлення у другому реактиві також залежить від хімічного складу зразка і знаходиться в межах 1-2 хв. Температура 20 - 25°С. Протравлені шліфи досліджували та фотографували на оптичному металографічному мікроскопі ММР-4 (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Металографічний мікроскоп ММР-4

Вивчення мікроструктури відбувалося за допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ-106 (рис. 2.4), який призначений для дослідження рельєфу поверхні об'єктів у твердій фазі та визначення кількісного та якісного елементного складу об'єктів методом рентгенівського мікроаналізу за енергіями квантів характеристичного рентгенівського випромінювання в двох режимах: високого та низького вакууму в камері об'єктів.

Мікроскоп забезпечує зображення поверхні об'єкта у вторинних і відбитих електронах в режимі високого вакууму, у відбитих електронах в режимі низького керованого вакууму, експрес-аналіз рентгенівських променів за допомогою енергодисперсійного спектрометра. Мікроскоп дозволяє досліджувати непровідні об'єкти без спеціальної пробопідготовки.

Формування зображення зі збільшенням до 3000 кратно є унікальним досягненням розробників. Запис зображення здійснюється на картку пам'яті.

Можливості приладу значно розширюють сферу застосування. Він ідеально підходить для вирішення триботехнічних завдань: вивчення структури поверхні, ділянок тертя та зношування, присадок у рідких оливах,

вивчення морфологічних особливостей поверхонь після різних сучасних технологічних впливів та застосування нанотехнологій.

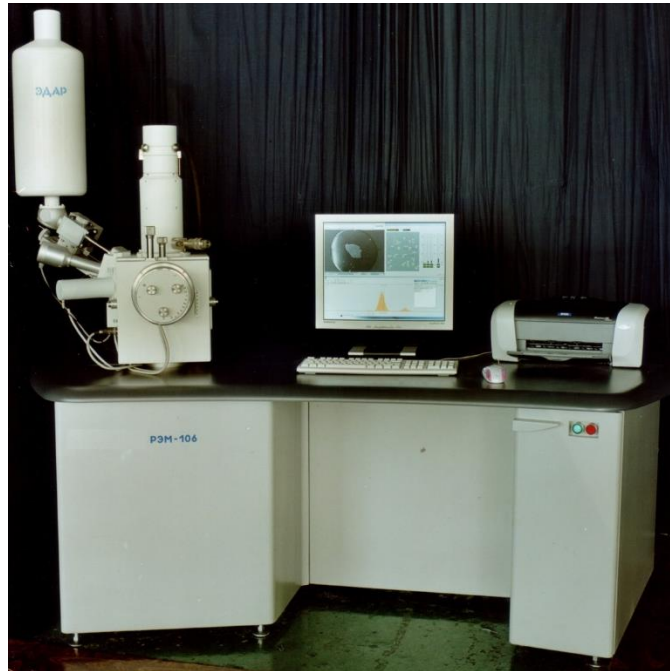


Рисунок 2.4 – Растровий електронний мікроскоп PEM-106

Для вивчення мікроструктури наплавленого металу використовувався металографічний мікроскоп ММР-4. До основних металографічних характеристик та можливих методів дослідження за допомогою цього мікроскопа можна віднести: спостереження у світлому полі при прямому та косому освітленні, у темному полі та поляризованому світлі; збільшення 50 - 1600 разів; є панкреатична система для плавної зміни збільшення; фотографування [86, 89].

Металографічні мікроскопи відрізняються від біологічних, головним чином методом освітлення зразка. Це пов'язано з тим, що металеві шліфи не прозорі для світлових променів і тому їх дослідження проводять у відбитому світлі.

Підготовлений відповідним чином шліф розміщується перпендикулярно до оптичної осі мікроскопа. Він підсвічується пучком світла, що проходить через об'єктивну лінзу майже паралельно оптичній вісі мікроскопа, який формується конденсором та напівпрозорим дзеркалом. Світло відбивається від поверхні зразка та потрапляє в об'єктив. Тому елементи зразка, що відбили

світло, приблизно нормальні для оптичної вісі мікроскопа; елементи, що відбиваються, розташовані під кутом до оптичної вісі мікроскопа. У зв'язку з цим на кінцевому зображенні зразка, створюваному в окулярі, всі елементи, що відбиваються світло, будуть світлими, а всі похилі – темними. Завдяки цьому виявляються різні структурні складові металографічних шліфів, наприклад, межі зерен, які при підготовці зразка витравлюються в канавки з нахиленими до поверхні шліфу бічними сторонами.

Якість зображення мікроскопа визначається головним чином об'єктивною лінзою. Об'єктивна лінза має низку параметрів: збільшення; числова апертура (кутова апертура конусоподібного світлового пучка, що пропускається лінзою, ця величина характеризує здатність лінзи збирати світлові промені); роздільна здатність (властивість лінзи об'єктива розділять близько розташовані деталі зразка); глибина різкості (характеризується величиною вертикального зміщення деталей зразка, що може бути зроблено без втрати фокусування).

2.3 Випробування зразків наплавленого металу на установці для дослідженні на фретинг

Дослідження фретингу та фретинг-корозії відрізняються широким розмаїттям використовуваних методів як для моделі навантаження так і типу контакту, так і для оцінки пошкодження поверхні. Необхідно вибрати техніку відповідно до двох основних вимог [1; 2]:

1. Імітація фретинг-корозії в лабораторних умовах повинна бути максимально наближена до умов виникнення цього виду руйнування в реальних конструкціях.

2. Обрана методика повинна бути такою, щоб можна було порівняти отримані результати з даними інших робіт.

У зв'язку зі специфікою виникнення фретингу та фретинг-корозії до випробувальних приладів пред'являються наступні вимоги:

- 1) Закріплення зразків без люфтів у затискних пристроях;
- 2) жорсткість до кручення і мала деформація пристрою;

3) Наявність характерного руху ковзання з регульованою частотою та амплітудою;

4) Наявність контрольованої нормальної сили для створення необхідного контактного тиску;

5) Можливість подачі мастила або іншого середовища.

Різні види контактів мають свої переваги і недоліки. До недоліків контакту «площина-площина» можна віднести неоднакові умови зносу робочих ділянок зразків, оскільки їх амплітуда зміщення в такій схемі прямо пропорційна відстані від осі обертання. Цей недолік усувається шляхом вибору оптимальної геометрії одного із зразків. При інших типах контакту в зоні контакту виникає нерівномірний розподіл тиску, що призводить до різних умов зносу.

Вибір плоского кільцевого контакту та обертального руху контактних поверхонь зумовлений необхідністю контролю нормального навантаження та виключення краєвого ефекту [3].

Прийнята для роботи методика заснована на комплексному дослідженні якісних параметрів тертя трибопар. Контактна схема «площина-площина» використовується на установці типу МФК - 1 (ГОСТ 23.211–80), загальний вигляд якої наведено на рис. 2.5.

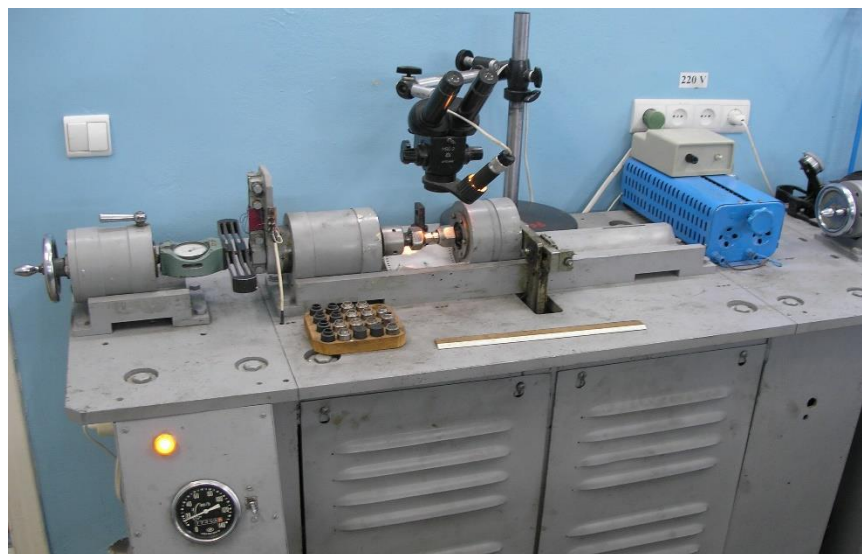


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд установки МФК-1 для випробувань наплавлених матеріалів на фретинг-корозію

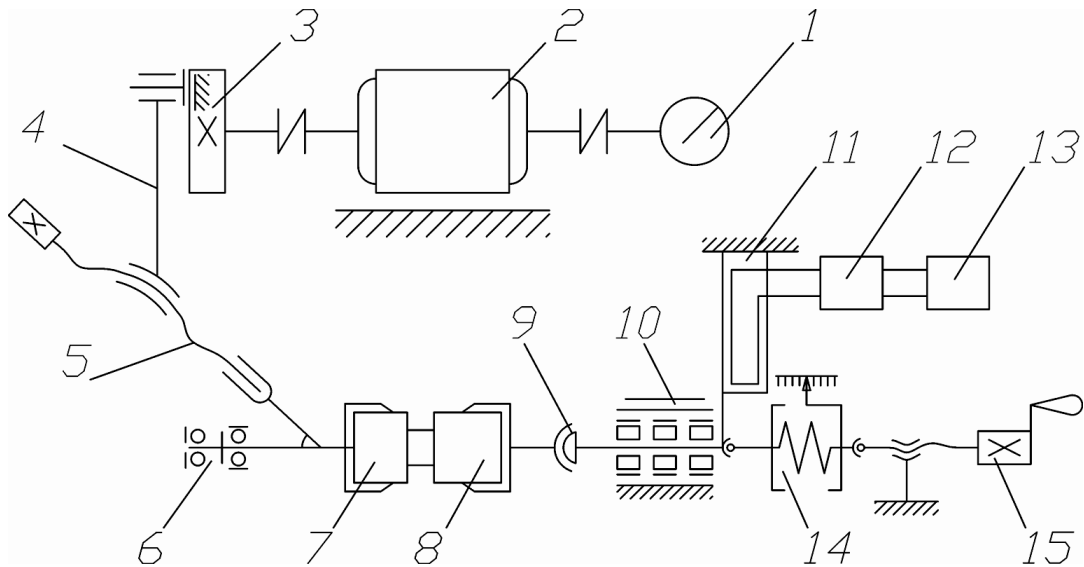
Основними перевагами методу є:

- 1) можливість швидкої оцінки зносостійкості матеріалів і покриттів в умовах фретинг-корозії;
- 2) задовільна відтворюваність результатів випробувань при мінімальній кількості випробувальних зразків;
- 3) простота методу і відповідного устаткування;
- 4) можливість безступінчастого регулювання частоти, нормального навантаження і амплітуди мікропереміщень;
- 5) проведення випробувань із застосуванням пластичних і рідких змащувальних матеріалів;
- 6) реєстрація сили тертя в процесі випробувань.

Суть методу полягає в тому, що рухомий циліндричний зразок (контрзразок) дотикається торцем до нерухомого циліндричного зразка при заданому тиску і приводиться в поворотно-обертальний рух із заданими амплітудою і частотою. Вимірюється знос нерухомого зразка за задану кількість циклів, по значенню якої визначається зносостійкість досліджуваного матеріалу.

Схема установки приведена на рис. 2.6. Установка працює таким чином: електродвигун 2 передає обертальний рух ексцентрику 3 з регульованим ексцентриситетом. Частота обертання і кількість обертів реєструється приладом 1. Ексцентрик 3 через шатун 4, пов'язаний з кулісою 6 валу 7 приводу поворотно-обертального руху контрзразка 8. Амплітуда переміщення контрзразка 8 регулюється ексцентриком 3 і пристроєм 5. Нерухомий зразок 9 закріплюється в цанге 10, що центрується, встановленої на валу рухомої бабці 11. Навантаження зразків здійснюється динамометром 14 і навантажуючим пристроєм 15. Величина осьового навантаження на зразки реєструється за допомогою динамометра ЗІП 02-79 типа ДОСМ-3-0,2 (ГОСТ 2283-79) з межею вимірювань від 0,2 до 2 кН. Реєстрація сили тертя проводиться приладом НО71.5М 13 через підсилювач 8-АНЧ-7М 12 за допомогою

тензобалки 11. Кількість циклів випробувань контролювали по лічильнику, встановленому на передній панелі установки.



1 – лічильник обертів; 2 – електродвигун; 3 – ексцентрик; 4 – вертикальний шатун; 5 – підстроєчний пристрій; 6 – горизонтальний шатун; 7 – рухомий зразок; 8 – нерухомий зразок; 9 – самоорентуюча цанга; 10 – рухома бабця; 11 – тензобалка; 12 – підсилювач; 13 – реєструюча апаратура; 14 – динамометр; 15 – навантажуючий пристрій.

Рисунок 2.6 – Схема установки МФК-1

Амплітуда коливань регулюється зміною ексцентриситету ексцентрика (грубо) і зміною довжини плеча горизонтального шатуна (точно). Грубе регулювання амплітуди дозволяє змінювати її величину від 10 до 1000 мкм, точна – від 5 до 15 мкм. Амплітуда відносного переміщення визначається, як різниця амплітуд коливання рухомого і нерухомого зразків. Вимірювання амплітуди проводиться безпосередньо на зразках за допомогою оптичного біноклярного мікроскопа МБС-2 (при збільшенні від 8 до 56 крат), використовуючи стробоскопічний ефект (стробоскоп ТСТ-100).

Зразки для випробувань показані на рис. 2.7. Контакт випробувальних зразків здійснюється по поверхні, що є замкнутим кільцем з номінальною площею контакту $0,5 \text{ см}^2$, внутрішнім діаметром 11 мм і зовнішнім діаметром 13,6 мм.

Зразки промивають і висушують до і після експерименту. Для промивки використовувалися рідини: бензин ГОСТ 443–76, ацетон ГОСТ 2603–79, спирт етиловий ГОСТ 18300-72. Перед проведенням випробувань перевіряють і маркують вимірювальну і реєструючу апаратуру.

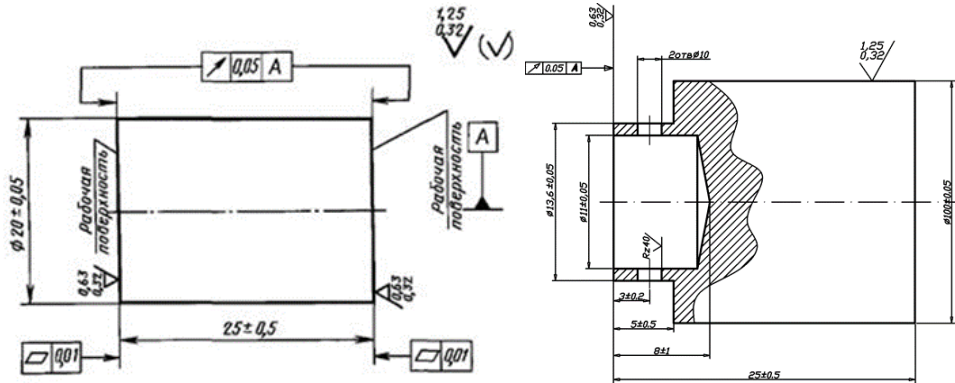


Рисунок 2.7 – Зразки для випробувань на фретинг-корозію

Установка дозволяє проводити випробування при наступних параметрах [4]:

- навантаження зразків в осьовому напрямі силами 200 – 1000 Н;
- поворотно-обертальний рух контр зразка, щодо нерухомого зразка з частотою 10 – 30 Гц і амплітудою 10 – 1000 мкм;
- вимірювальна система установки забезпечує в процесі випробувань безперервну реєстрацію кількості циклів поворотно-обертального руху контрзразка з погрішністю не більше 50 циклів.

Вимірювання зносу зразка і покриття проводилися за допомогою профілографа-профілометра Калібр-201 моделі 253 по ГОСТ 19300–86 до 10 мкм і оптиметра вертикального типу ІКВ понад 10 мкм, шляхом зняття профілограм з восьми рівновіддалених ділянок робочої поверхні зразка в радіальному напрямку (рис. 2.8).

Знос зразка h_j визначаємо по формулі

$$h_j = \frac{\sum_{i=1}^8 h_i}{8}$$

де: h_j – відстань на профілограмі доріжки тертя між середніми лініями профілю

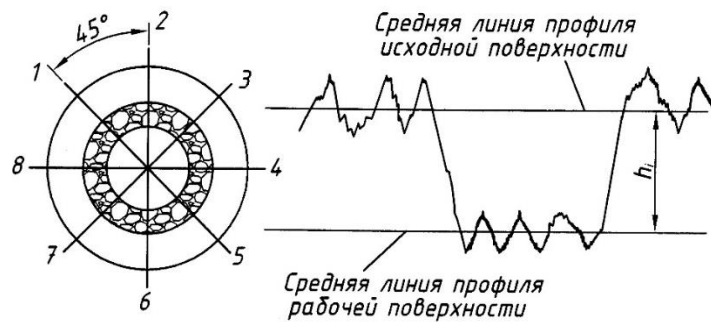


Рисунок 2.8 – Схема вимірювання зносу зразків після випробувань на фретинг-корозію

початкової і робочої поверхонь згідно ГОСТ 23.211–80.

Важливою перевагою визначення зносу лінійним методом [4] є те, що величина зносу не залежить від питомої ваги матеріалу і можливих змін маси зразків.

2.4 Використання методу електронної растрової мікроскопії для дослідження структури зносостійкого наплавленого металу

Електронна растрова мікроскопія дає можливість отримати в одному експерименті зображення з високою роздільною здатністю (аж до атомної роздільної здатності 0,1 мкм) та мікродифракційні картини однієї і тієї ж ділянки зразка, розмір цієї ділянки від 1 мкм до 50 мкм у кращих моделях мікроскопів, тому така ділянка, як правило, монокристалічний. [94].

В електронному растровому мікроскопі, на відміну від світлового мікроскопа, замість світла з довжиною хвилі близько 5000 Å застосовуються електрони з ефективною довжиною хвилі близько 0,05 Å. На електронному мікроскопі під час роботи можна отримати дозвіл близько 10 Å [94-96].

В електронних мікроскопах зазвичай застосовуються електромагнітні лінзи – магнітні котушки із залізними полюсними наконечниками [94-96]. Для забезпечення досить великої величини вільного пробігу електронів вся система повинна бути у вакуумі не гірше 10⁻⁴ мм рт. ст. [94]. Освітлювальною системою служить електронна гармата, що складається з нагрівальної нитки (до якої прикладено високий прискорюючий потенціал), оточений екраном, так званим циліндром Венельта, на який подається потенціал зміщення. Нижче

розташований заземлений анод з отвором у центрі, через яке електрони, що прискорюються, потрапляють у колону мікроскопа. По суті, гармата нагадує велику тріодну лампу. Крім електронної гармати освітлювальна система мікроскопа включає ще й дві конденсорні лінзи, за допомогою яких досягається зменшення мінімального перерізу пучка і його фокусування на об'єкті. Джерелом електронів служить вольфрамова нитка. Довжина хвилі електронів визначається напругою U , що прискорює, і дорівнює $\lambda(\text{Å}) = \sqrt{1500/U}$. Для звичайно використовуваної напруги 100 кВ, $\lambda = 0,6037 \text{ Å}$.

Фокусує електрони, а анод їх розсіює. На виході з електронної гармати, пучок електронів має діаметр близько 90 мкм. Перша конденсорна лінза проектує цей зменшений у діаметрі пучок на зразок. Перетин виділеної ним ділянки на зразку становить близько 1 мкм. Внаслідок взаємодії електронного пучка з кристалічною речовиною частина електронів проходить через тонкий ($\sim 2000 \text{ Å}$) «прозорий» для електронів зразок без зміни свого напрямку, частина поглинається або розсіюється ним. Принципова схема пристрою мікроскопа і надзвичайна дециля довжини хвилі електрона дозволяє отримати мікродифракційну картину на екрані тільки від тих мікроділянок зразка, в яких кристалічні атомні площини орієнтовані під кутом $\pm 2^\circ$ до пучка електронів, що падає [96].

Об'єктивна лінза, розташована під зразком, фокусує промені та формує первинне зображення. Проміжна лінза перекидає первинне зображення предмету на лощину проекційної лінзи. Проекційна лінза формує кінцеве збільшене зображення на флуоресцентному екрані або фотопластинці.

Методи растрової електронної мікроскопії, що просвічує - якісний (метод реплік) а кількісний (метод фольг), що дозволяло отримувати розрізнення в долі мікрона, це дозволяє вивчати тонку будову наплавленого металу.

Висновки до розділу 2

Для дослідження необхідно проводити з урахуванням всіх факторів, що впливають на процес зношування.

Якісні металографічні дослідження можуть бути забезпечені тільки якісній підготовці зразків для дослідження. Це процес має відбуватися суворо визначені технологічні послідовності.

Використання стандартизованого дослідницького обладнання, дозволяє правильно спланувати процеси дослідження, а використання усталених режимі випробування – дозволяє проводити порівняння з раніше проведеними дослідженнями при однакових умовах.

Растровий електронний мікроскоп (РЕМ), що має високу роздільну здатність і глибину фокусу, формує зображення об'єкта при скануванні його поверхні електронним зондом. Це один з найбільш універсальних та перспективних приладів для дослідження шліфів та зламів металів та сплавів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПЛАВЛЕНИХ МАТЕРІАЛІВ З ФЕРИТО- ПЕРЛІТНОЮ ТА АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОЮ СТРУКТУРАМИ

3.1 Металографічні дослідження наплавних матеріалів з ферито-перлітною та аустенітно-мартенситною структурами.

В даному розділі представлені результати дослідження структурних та фазових складових у різних шарах наплавних матеріалів з феритно-перлітною та аустенітно-мартенситною структурами, отриманих під флюсами ФЦ-16 та ФК-45, відповідно, а також вихідного стану металу основи зі сталі ВКН-7.

Дослідження структурно-фазового стану, твердості, хімічного складу багатошарових наплавок здійснювали в обох наплавних матеріалах, як у металі основи сталі ВКН-7, поблизу лінії сплавлення, так і на різних відстанях від неї з кроком 2 мм, у всіх наступних шарах, аж до четвертого поверхневого шару.

За допомогою оптичної мікроскопії було досліджено вихідний стан металу основи зі сталі ВКН-7. На рисунках 3.1 та 3.2 зображені панорами мікроструктури наплавних матеріалів, отриманих під флюсами ФК-45 (див. рис. 3.1) та ФЦ-16 (див. рис. 3.2) при 100 кратному збільшенні. Справа розташований вихідний метал основи із сталі ВКН-7.



Рисунок 3.1 – Наплавлений метал під флюсом ФК-45

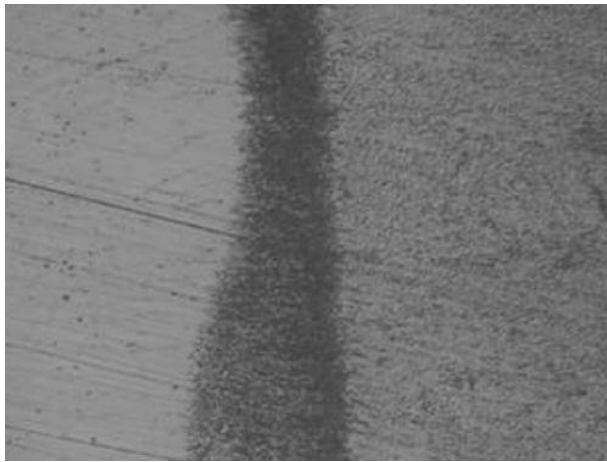


Рисунок 3.2 – Наплавлений метал під флюсом ФК-16

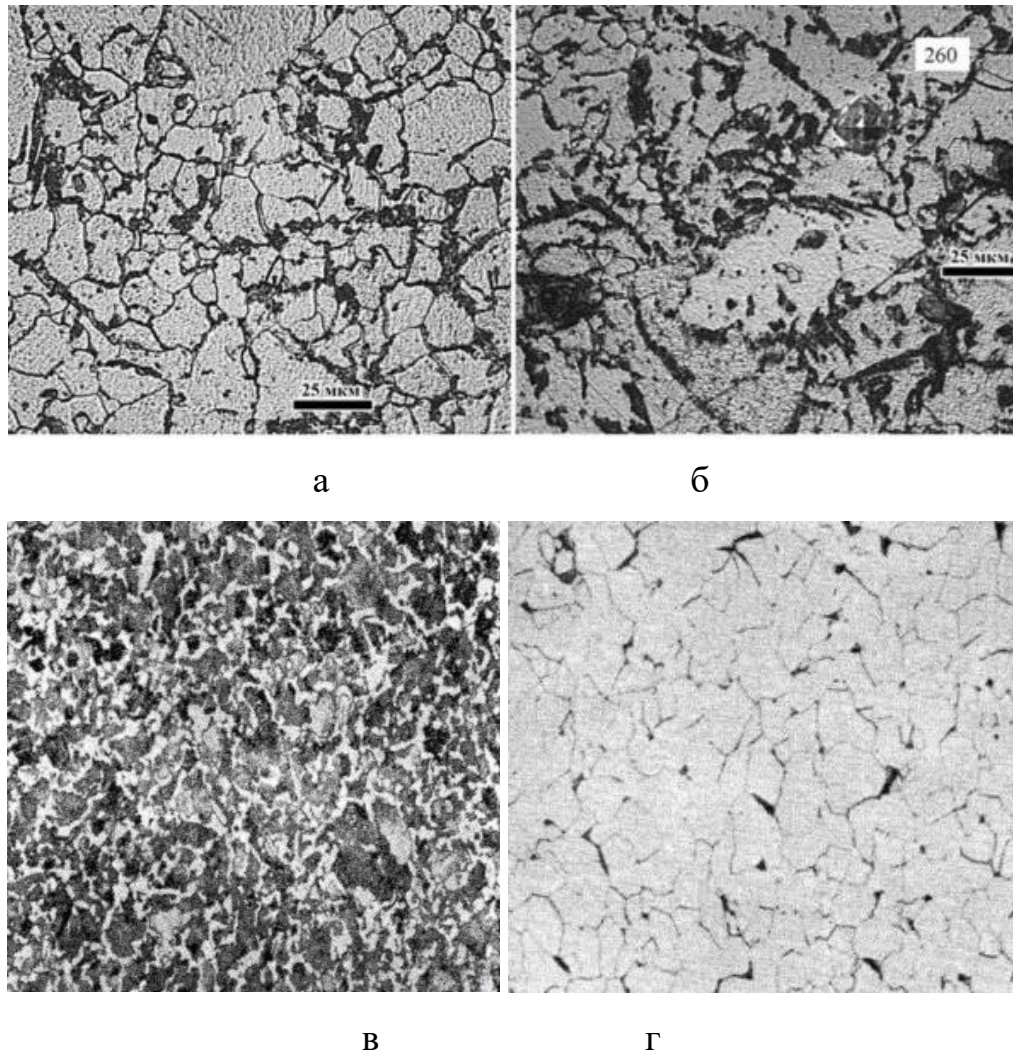
В обох випадках формувалася регулярна структура з твердими зернами з мартенситною структурою або перліту, оконтурованими м'якою фазою з аустеніту або фериту відповідно.

3.2 Дослідження наплавних матеріалів методом електронної мікроскопії, що отримані під флюсом ФЦ-16,

Для вивчення окремих структурних складових наплавних матеріалів, отриманих під флюсом ФЦ-16, були проведені пошарові електронномікроскопічні дослідження на електронному растровому мікроскопі РЕМ-6, методом просвічування.

За допомогою електронної мікроскопії, було виявлено, що в металі основи зі сталі ВКН-7 присутні зерна структурно-вільного фериту рис.3.3 (а, б), з твердістю 4500 МПа і колонії перліту розміром 5-15 мкм з міжпластинчастою відстанню $\lambda=0,08 - 0,14$ мкм, рис.3.3 (в) та твердістю 5000 МПа.

Поблизу лінії сплавлення з боку металу основи (рідко-фазного перетворення) були присутні потужні екстинкційні контури, рис.3.3 (г), обумовлені дією полів термічних напруг, досягалися мінімальні значення дислокаційної щільності $2 \cdot 10^{10}$, см^{-2} . Відбувалося розчинення пластин цементиту, спостерігалася значне підвищення мікротвердості світлої фази до 5700 МПа, рахунок пересичення його вуглецем і кремнієм до 0,1 і 0,2%, відповідно. Тут відбувалося формування верхнього бейніту, рис.3.3 (д).

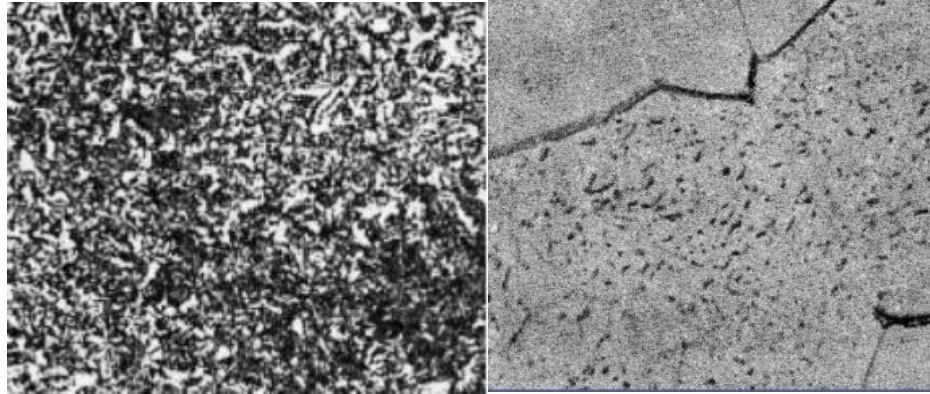


а, б – структурно-вільний ферит, в, г – колонії перліту

Рисунок 3.3 – Структура наплавленого металу під флюсом ФК-16

В структурі 2-го наплавного шару на відстані 3 мм від лінії сплаву, спостерігали значне розуміщення, як світлої фази (фериту) до 2800 МПа, так і темної (перліту) до 3300 МПа, що свідчило про значну релаксацію внутрішніх напружень. Спостерігали сліди твердофазного (без формування розплаву) $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ перетворення: розпад зерен вільного фериту та формування поряд з великими зернами фериту порядку 10...20 мкм, дуже маленьких розміром близько 1 мкм, рис. 3.4. (а) і високою дислокаційною щільністю порядку $5 \cdot 10^{10}$, см^2 . Спостерігали розпад великих частинок цементиту та повторне виділення вторинних дрібних частинок цементиту вздовж меж осередків, фрагментів, рис. 3.4 (б). Отримані результати свідчили,

у тому, що у другому наплавочному шарі протікали структурні перетворення під впливом теплового впливу, і зони термічного впливу (ЗТВ) на металі основи при зварюванні. Нерідко вздовж меж феритно-перлітних зерен спостерігали формування зародкових мікротріщин, рис.3.4 (в).



а

б

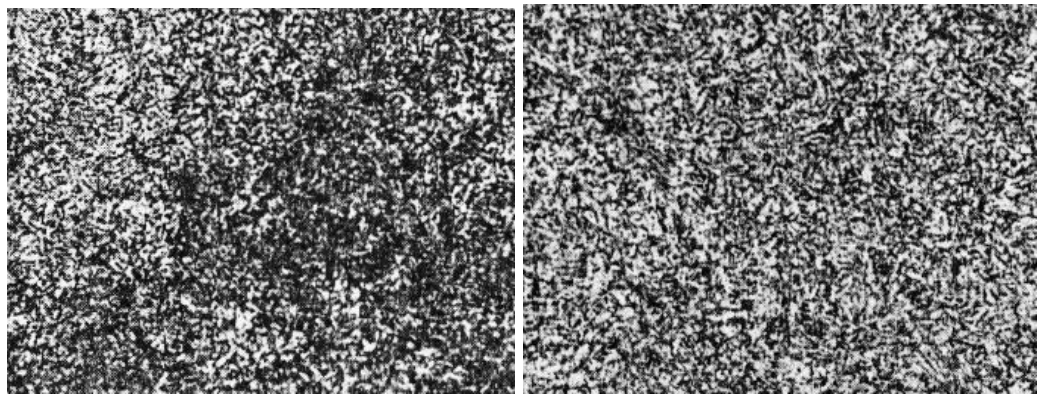


в

а – твердофазні $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ перетворення в фериті, б – утворення цементиту між осердків фкриту, в – утворення мікротріщини в сердовищі перліту і фериту

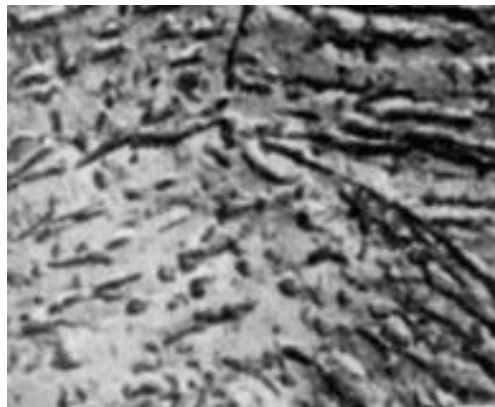
Рисунок 3.4 – Структура вердофазного перетворення наплавленого металу під флюсом ФК-16

У структурі 4-го поверхневого шару досягалося повторне зміцнення матеріалу рахунок формування дрібної дислокаційної субзернової структури з розміром комірки 0,5-0,8 мкм, рис.3.5 (а, б). Тут були максимальні значення щільності дислокацій $10 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ і мікротвердості, які досягали для фериту до 3300 МПа і перліту до 4300 МПа відповідно. У стиках феритно-перлітних зерен спостерігали острівці нижнього бейніту, рис.3.5(в).



а

б



в

а, б – субзернові структури в фериті, в – острівці нижнього бейніту
 Рисунок 3.5 – Формування дрібної дислокаційної субзернової структури в
 наплавленого металу під флюсом ФК-16

3.3 Розподіл легуючих елементів під флюсом ФЦ-16, ФК-45 у наплавних матеріалах, отриманих та основи із сталі ВКН-7

Дослідження аналізу хімічного складу наплавленого металу має важливе значення при визначенні властивостей матеріалу залежно від вибраного методу наплавлення.

У таблиці 3.1 наведено результати рентгеноспектрального аналізу в 5 точках поверхневому шару наплавного матеріалу, що отримано під флюсом ФЦ-16.

На рис. 3.7 наведено розподіл легуючих елементів Si, Cr, Mn за шарами наплавлення, отриманої під флюсом ФЦ-16, для світлої (з) фази -фериту та

темної (т) фази - перліту. Основна складова (від 97,88 до 98,57%) – залізо. Як видно з рис. 3.7, у другому наплавному шарі спостерігаємо зменшення вмісту марганцю та кремнію як у темній, так і у світлій фазі.

Таблиця 3.1 - Результати рентгеноспектрального аналізу наплавлення, отриманого під флюсом ФЦ-16

Спектр	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
Спектр 1	0.35	0.01	1.06	98.13	0.16	0.29
Спектр 2	0.40	0.12	0.65	98.55	0.16	0.13
Спектр 3	0.25	0.09	0.72	98.57	-	0.37
Спектр 4	0.38	0.10	0.85	98.07	0.33	0.26
Спектр 5(1)	0.35	0,07	1,05	97,88	0,39	0,26

Для 4 поверхневого шару спостерігається збільшення вмісту марганцю і кремнію в темній (т) і світлій (с) фазах (в перліті та фериті) в порівнянні з вихідним металом основи зі сталі ВКН-7 . Вміст хрому зменшується поблизу лінії сплаву з боку металу основи і потім не змінюється в наплавному матеріалі для темної фази, а для світлої фази – вміст хрому зменшується у 2 наплавному шарі та збільшується у 4 поверхневому шарі.

На рисунку 3.8 представлені структури наплавних матеріалів, отриманих під флюс ФК-45, зняті за допомогою растрового електронного мікроскопа. Видно, що основною складовою є залізо (див. рис. 3.8 (а, б)). На рисунку 3.8 (в) спостерігається тріщина за межами зерен.

На рисунку 3.8 (г) спостерігається структура наплавних матеріалів, отриманих під флюс ФК-45. Позначено три точки, де проводився рентгеноспектральний аналіз. Результати рентгеноспектрального аналізу у трьох точках представлені у таблиці 3.2.

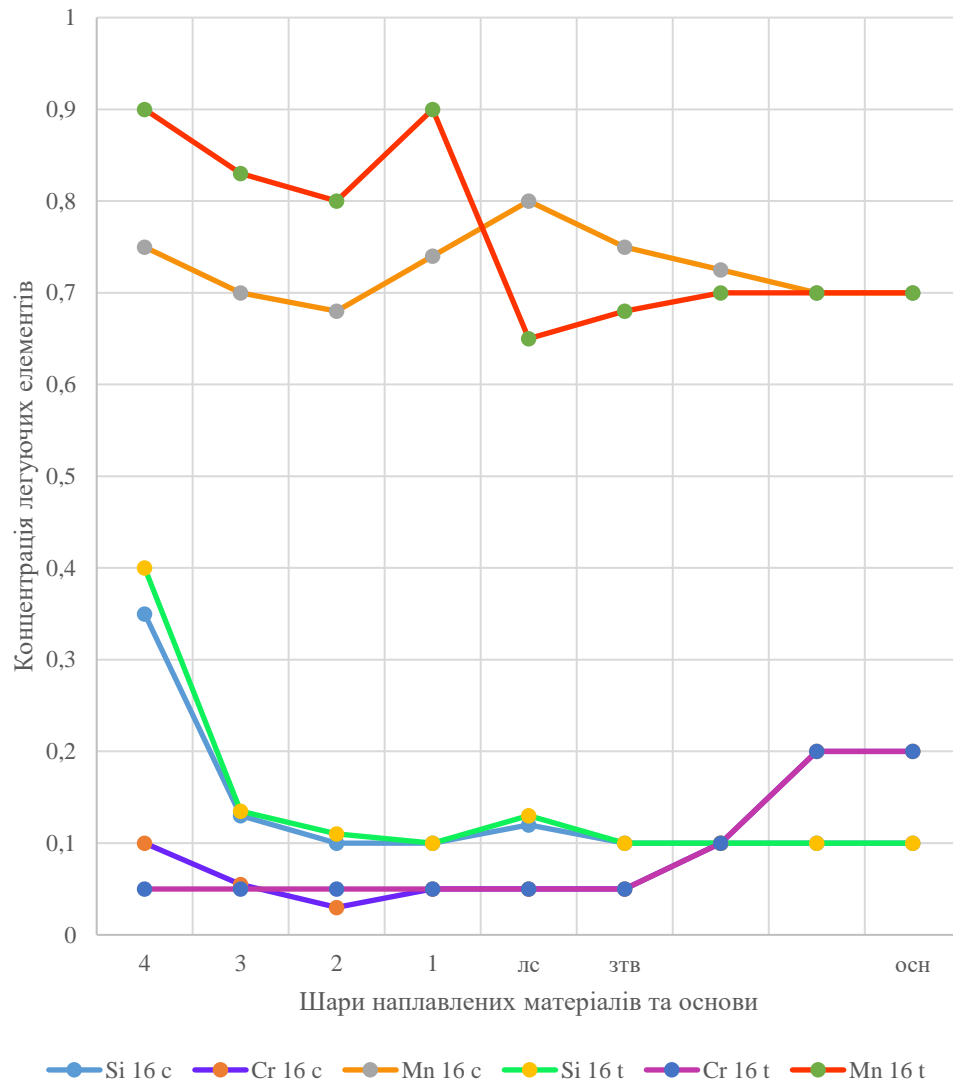
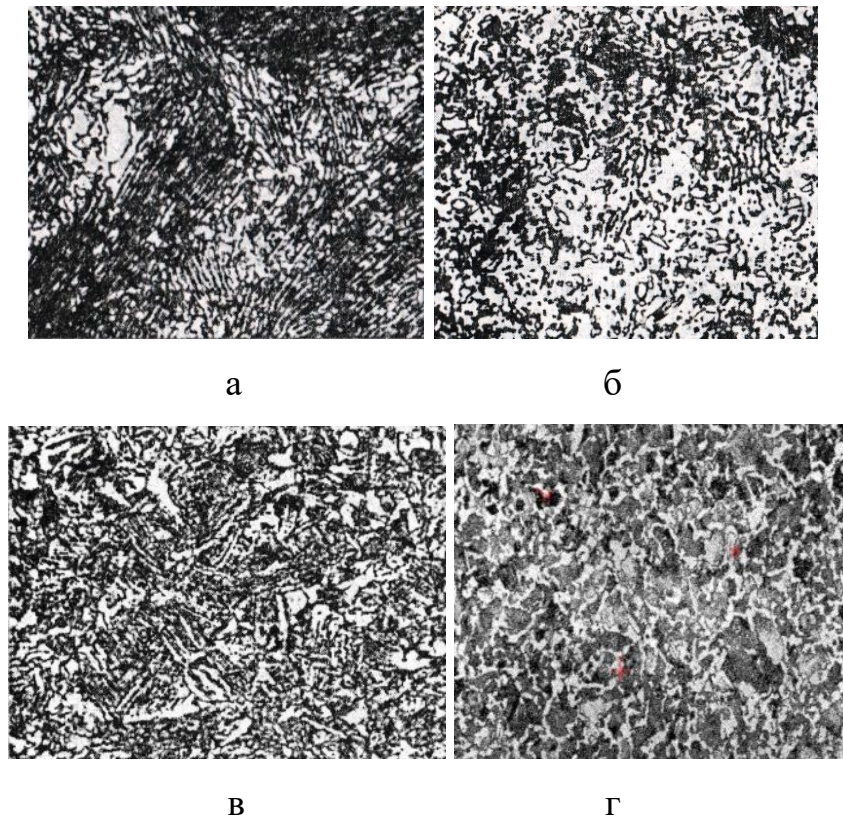


Рисунок 3.7 – Розподіл легуючих елементів Si, Cr, Mn за шарами наплавки, що отримано під флюсом ФЦ-16 та основи – сталі ВКН-7 (с – світла фаза, t – темна фаза)

Таблиця 3.2 - Розподіл легуючих елементів у точках наплавлення, отриманої під флюсом ФК-45

Спектр	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
Спектр 1	1.22	2.48	2.64	93.24	0.17	0.26
Спектр 2	1.44	4.83	4.65	88.66	0.20	0.21
Спектр 3	1.03	2.34	2.74	93.59	0.15	0.14



а, б – феритна будова наплавленого металу, в – тріщини на межі зерен,
 г – точки фериту по яким проводився аналіз структури

Рисунок 3.8 – Структури наплавних матеріалів, що отримані під флюс ФК-45

На підставі наведених вище результатів були побудовані графіки розподілу легуючих елементів по шарах наплавних матеріалів, отриманих під флюсом ФК-45 та вихідного стану металу основи зі сталі ВКН-7 для світлої (с) та темної (т) фаз (див. рис. 3.9). Спостерігається збільшення вмісту кремнію (від 0,1 до 1,4 %), хрому (від 0,1 до 2,5 та 4.83 % для темної та світлої фаз, відповідно) та марганцю (від 0,7 до 2,7 та 4.65) % для темної та світлої фаз, відповідно) порівняно з вихідним станом металу основи, як у темній фазі, так і у світлій.

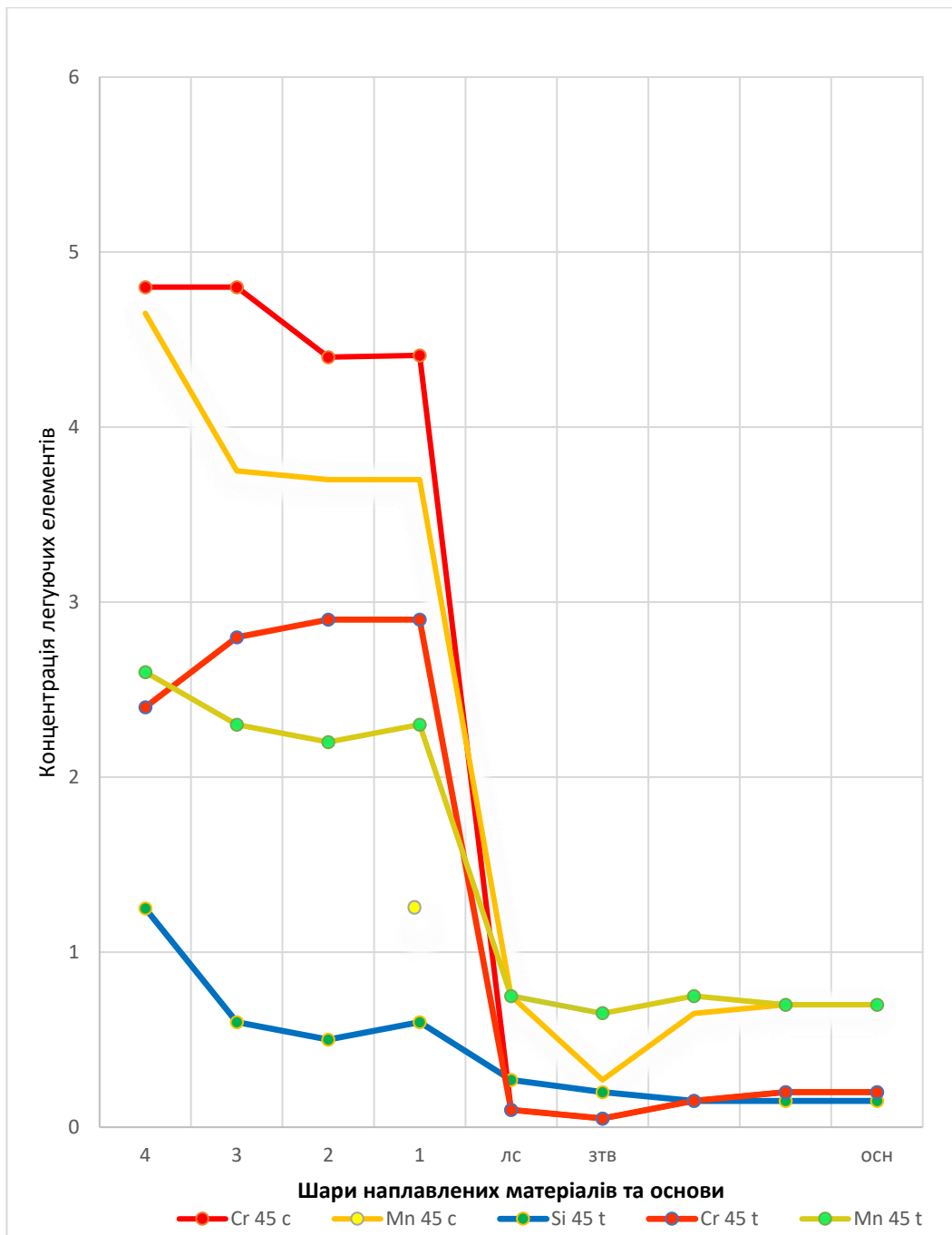


Рисунок 3.9 – Розподіл легуючих елементів Si, Cr, Mn за шарами наплавних матеріалів, отриманих під флюсами ФК-45, та вихідного металу основи ВКН-7

При порівнянні розподілу легуючих елементів за шарами наплавних матеріалів, отриманих під флюсами ФК-45 і ФЦ-16 та вихідного стану металу основи зі сталі ВКН-7 (див. малюнок 3.10), бачимо, що наплавні матеріали, отримані під флюсами ФК-45, мають концентрацію легуючих елементів більше, ніж наплавні матеріали, отримані під флюсами ФЦ-16, і більше, порівняно з вихідним металом, основи зі сталі ВКН-7.

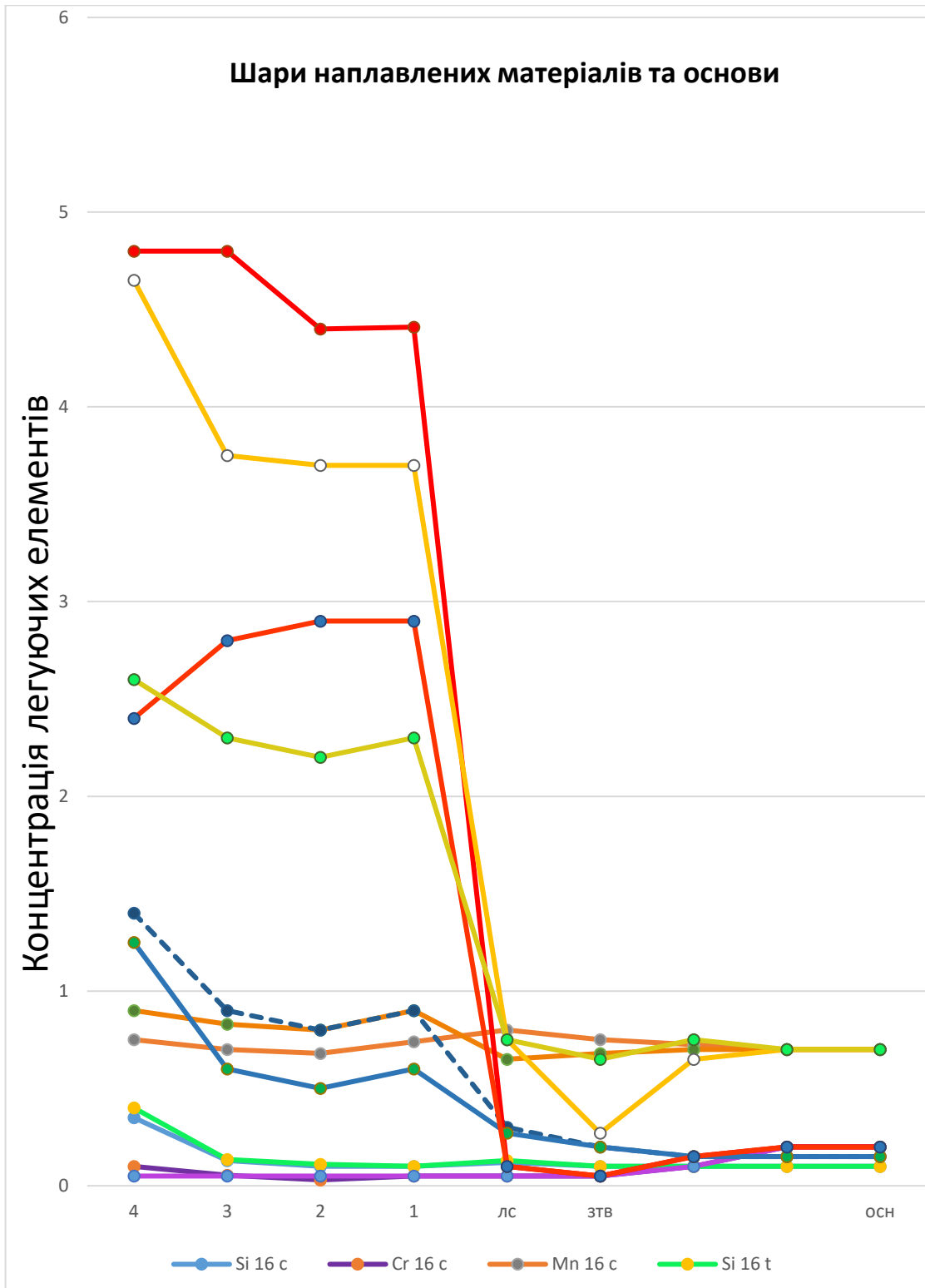


Рисунок 3.10 – Розподіл легуючих елементів за шарами наплавних матеріалів, отриманих під флюсами ФК-45 та ФЦ-16 та вихідного стану металу основи зі сталі ВКН-7

Таким чином, проведено комплексні дослідження на макро-, мікро- та субмікроскопічному рівні структури наплавних матеріалів, зони сплавлення та вихідного металу основи зі сталі ВКН-7 з кроком 2 мм на глибину 18 мм від поверхні, пошарове вивчення наплавочного матеріалу зі сталі з мартенситно-аустенітною та перлітною-феритною структурою. В обох випадках формувалася регулярна структура з твердими зернами з мартенситною структурою або перліту, що обмежувалася м'якою фазою з аустеніту або фериту відповідно. По перерізу наплавного матеріалу саме м'яка фазова складова зазнавала найчастіших змін.

3.4 Дослідження наплавних матеріалів під флюсом ФЦ-16 та ФК-45 в умовах фретинг-корозії

Дослідження виконувалися при постійному навантаженні, що відповідали 20 та 30 МПа. Частота коливань та амплітуда взаємного переміщення зразків залишалася незмінною і складала 30 Гц та 175 мкм відповідно. База випробувань складала $5 \cdot 10^5$ циклів. Температура зразків дорівнювала 293 К.

Результати випробувань фретингостійкості наплавлених матеріалів під флюсами ФЦ-16 та ФК-45 наведені на рис. 3.11 та в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 –Лінійний знос дослідних матеріалів в умовах фретинг-корозії

Матеріал основи	Навантаження МПа	Характер зношування	Знос зразка мкм
ВКН-7 без наплавки	20 МПа	рівномірний	11,7 мкм
	30 МПа	з виривами	15,3 мкм
Наплавлений метал під флюсом ФЦ-16	20 МПа	рівномірний	6,7 мкм
	30 МПа	рівномірний	9,6 мкм
Наплавлений метал під флюсом ФК-45	20 МПа	рівномірний	2,4 мкм
	30 МПа	рівномірний	5,3 мкм

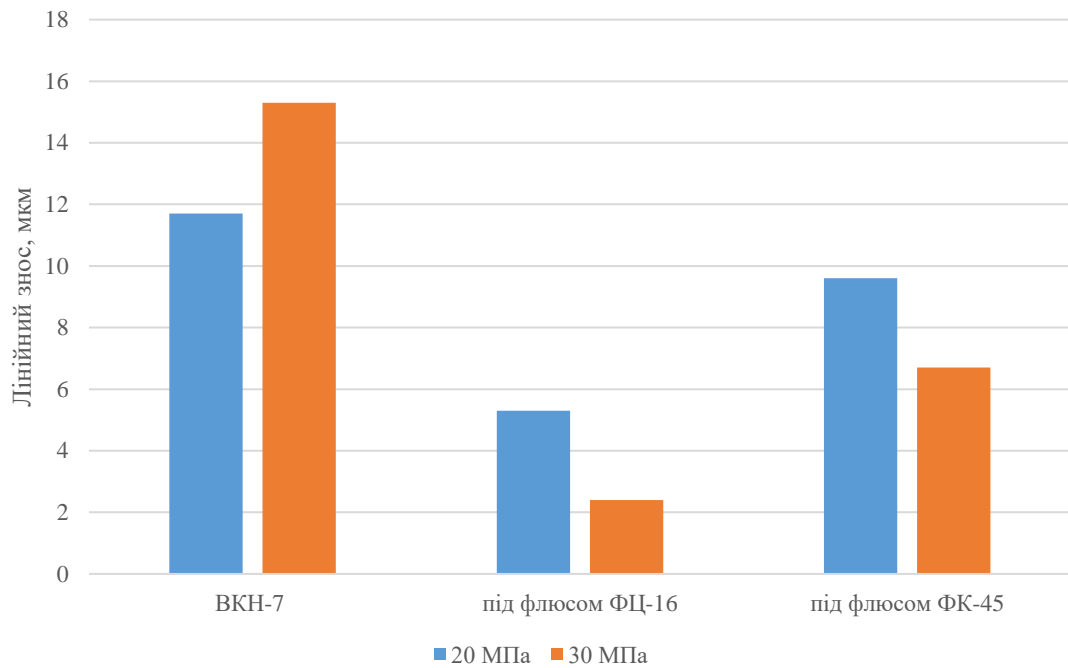
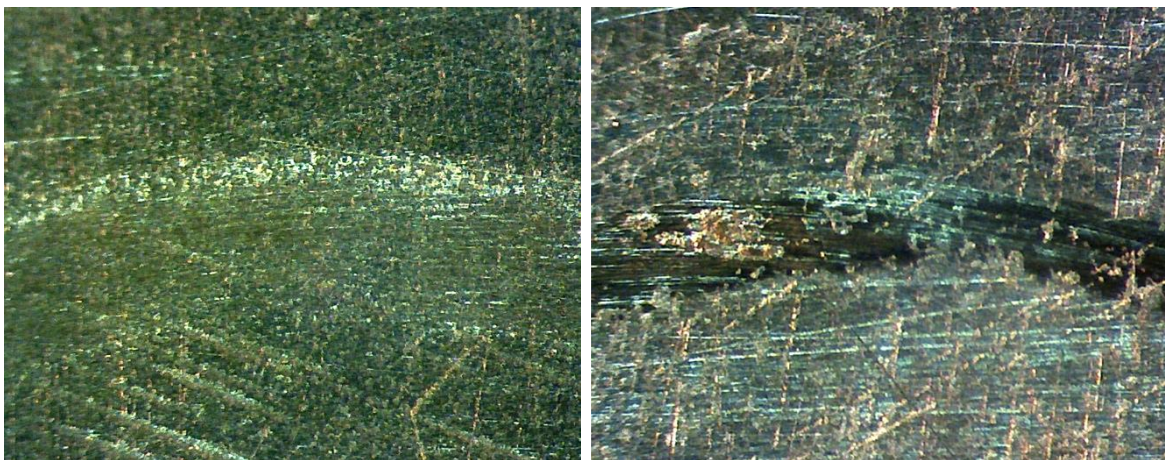


Рисунок 3.11 – Залежність лінійного зносу наплавленого металу під флюсом

На рис. 3.12 і 3.13 представлено доріжки тертя наплавлених матеріалів після дослідження на фретигостійскть.

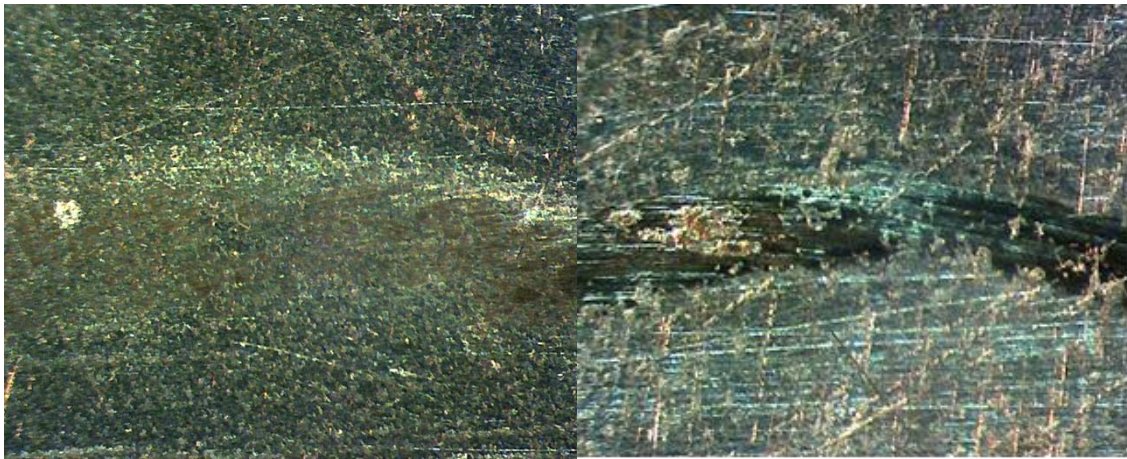


а

б

а – $P = 20$ МПа, б – $P = 30$ МПа, $A = 175$ мкм, $\nu = 30$ Гц, $N = 5 \cdot 10^5$ циклів

Рис. 2.8. Доріжки тертя наплавленого металу під флюсом ФЦ-16 (x56)



а

б

а – $P = 20$ МПа, б – $P = 30$ МПа, $A = 175$ мкм, $\nu = 30$ Гц, $N = 5 \cdot 10^5$ циклів

Рис. 2.8. Доріжки тертя наплавленого металу під флюсом ФК-45 (x56)

При навантаженні в 20 МПа зносостійкість наплавленого металу під флюсом ФК-45 є більшою, ніж під флюсом ФЦ-16 майже в три рази, а при навантаженні 30 МПа зносостійкість металів стала різна майже в два рази.

Высокая износостойкость наплавочных материалов с аустенитно-мартенситной структурой, полученных под флюсом ФК-45, объясняется наличием твердой мартенситной матрицы с остаточным аустенитом, оконтурывающим зерна мартенсита и прочно удерживающим частицы второй фазы. Для достижения высокой износостойкости наплавленного материала следует вводить следующие элементы: Cr, Mn, Si на максимальной концентрации.

Висновки до розділу 3

У наплавних матеріалах з перліто-феритною структурою за допомогою електронної мікроскопії, що просвічує, РСА, вимірювання мікротвердості, показано, що в зоні сплавлення (рідкофазного перетворення) з боку металу основи відбувається розчинення цементитних прошарків, збільшення вмісту С, Si. Значні термічні напруження призводять до зміцнення наплавного матеріалу за рахунок формування верхнього бейніту, що має так звану перисту будову. У верхньому бейніті карбідні частинки виділяються у вигляді ізольованих вузьких смужок між пластинами фериту або по межах і всередині пластин (перетворення м'якої феритної фазової складової на нерівноважний ферит пересичений Si з мікротвердістю 5500 МПа).

Показано, що у 2 шарі межі розділу зерен є місцями формування мікротріщин. У перлітній структурі, уздовж пластин фериту виявлені прошарки залишкового аустеніту, в результаті твердофазного $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ перетворення, значне розуміцнення матеріалу наплавлення.

Показано, що у 4 шарі наплавленого матеріалу відбувається дроблення, розпад, часткова сфероїдизація прошарків цементиту, підстроювання дислокаційними стінками обірваних прошарків. При цьому відбувається повторне зміцнення матеріалу, зумовлене формуванням дислокаційної субзеренної структури та формуванням нижнього бейніту, зміцнення феритної складової за рахунок формування дислокаційної структури та зняття внутрішнього напруження. Нижній бейніт має голчасту, мартенситоподібну будову, її важко відрізнити від структури відпущеного мартенситу. У нижньому бейніті карбідні кристали знаходяться переважно усередині пластин альфа-фази. Альфа-фаза бейніту утворюється в результаті мартенситного перетворення (звідси периста або голчаста будова бейніту) і є дещо пересиченим твердим розчином вуглецю в α -заліза.

Таким чином, за допомогою електронної мікроскопії, що просвічує, докладно вивчені процеси структурно-фазових перетворень в різних наплавних шарах з ферито-перлітної структурою.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Об'єктом дослідження є приміщення, де проводяться дослідження захисних покриттів. Дане приміщення повинно бути ізольоване від впливу шуму і вібрації, забезпечувати достатню освітленість. Приміщення оснащено устаткуванням для проведення металографічних досліджень. Забезпечення охорони праці в даному приміщенні повинно відповідати умовам роботи в наукових підрозділах.

4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

4.1.1. Аналіз параметрів мікроклімату

Мікроклімат – це сукупність параметрів середовища, що впливають на теплові відчуття людини: температури, вологості та швидкості руху повітря та інтенсивності теплового випромінювання від навколишніх поверхонь, характерних для конкретного приміщення. Мікроклімат істотно впливає на працездатність людини, її самопочуття та здоров'я.

Нормованими параметрами мікроклімату у виробничих приміщеннях є: температура повітря; відносна вологість повітря; швидкість руху повітря; температура поверхонь приміщення (стіни, стеля, підлога) та технологічного обладнання; інтенсивність теплового опромінення. При нормуванні параметрів мікроклімату враховують інтенсивність енерговитрат працюючих (категорію робіт з тяжкості), період року, час перебування на робочих місцях.

При цьому розрізняють оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Оптимальні мікрокліматичні умови представляють такі поєднання параметрів мікроклімату, які забезпечують відчуття теплового комфорту протягом 8-годинної робочої зміни за мінімальної напруги механізмів терморегуляції.

Допустимі мікрокліматичні умови можуть призводити до відчуття теплового дискомфорту, напруги механізмів терморегуляції, погіршення самопочуття та працездатності. За умови 8-годинної робочої зміни вони не спричиняють пошкоджень чи порушень стану здоров'я. Допустимі значення параметрів мікроклімату встановлюють у випадках, коли за технологічними вимогами, технічними та економічно обґрунтованими причинами не можуть бути забезпечені оптимальні значення.

4.1.2. Аналіз природного та штучного освітлення

Всі системи освітлення на підприємствах, в офісах, кабінетах та на виробничих ділянках за принципом їх пристрої діляться на природні, суміщені та штучні.

Природне освітлення здійснюється через світлові отвори і може бути бічним, верхнім або комбінованим. Бічне освітлення здійснюється через вікна. Верхнє – через світлові ліхтарі, ілюмінатори розміщуються в перекриттях, мають різні форми та розміри, комбіноване через вікна і світлові ліхтарі.

Суміщене освітлення застосовують в приміщеннях з недостатнім природнім світлом, яке доповнюється штучними джерелами світла.

Штучне освітлення влаштовується для роботи при недостатньому природному освітленні або в темний час доби, також у місцях, де відсутнє природне освітлення. За призначенням усі системи штучного освітлення поділяють на: загальне, місцеве і комбіноване, а також влаштовуються спеціальне освітлення безпеки (аварійне або евакуаційне), чергове та переносне.

При загальному рівномірному освітленні застосовуються однотипні однакової потужності джерела світла та освітлювальні прилади, які повинні розташовуватися на однаковій висоті і однаковій відстані один від одного. Місцеве освітлення застосовують у тих випадках коли обладнання розміщено несиметрично і коли воно різнотипне та вимагає різної освітленості. Комбіноване освітлення призначене для створення більшої освітленості на окремих робочих місцях. При такому освітленні тип світильників і потужність

джерела світла можуть бути різними, відстані між ними також різні. Це поєднання загального та місцевого освітлення.

Освітлення безпеки влаштовується на об'єктах з підвищеною небезпекою на випадок відключення стаціонарного освітлення. Воно повинно бути автономним і становити 5% від нормованої світлової потужності, але не менше 2 лк у приміщеннях і не менше 1 лк для території підприємства.

Евакуаційне освітлення влаштовується в приміщеннях, де працює 50 чоловік і більше в одну зміну. Чергове – мінімальне освітлення при відсутності потреби в звичайному освітленні. Переносне – створює тимчасове місцеве освітлення, де відсутнє загальне освітлення або його не можна встановити стаціонарне.

Розрахунок **природного освітлення** полягає у визначенні площі світлових отворів відповідно до нормованих значень КПО.

Площа вікон при боковому освітленні визначається за допомогою такого співвідношення:

$$100 \frac{S_{\text{в}}}{S_{\text{п}}} = \frac{e_{\text{н}} K_{\text{з}} \eta_{\text{в}} K_{\text{буд}}}{\tau_{\text{в}} \cdot r}$$

де $S_{\text{в}}$ – площа світлових отворів;

$S_{\text{п}}$ – площа підлоги приміщення;

$e_{\text{н}}$ – нормоване значення КПО для заданого світлового клімату;

$k_{\text{з}}$ – коефіцієнт запасу;

$\eta_{\text{в}}$ – коефіцієнт світлової характеристики вікон;

$k_{\text{буд}}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон будівлями, що стоять навпроти;

r – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО завдяки світлу, відбитому від поверхонь приміщення та поверхневого шару, що прилягає до будівлі;

$\tau_{\text{в}}$ – загальний коефіцієнт світлопропускання вікна.

Необхідна кількість вікон

$$n_{\text{в}} = S_{\text{в}}/S_1,$$

де S_1 – площа одного вікна m^2 .

Для розрахунку **штучного освітлення** використовують в основному три методи: метод коефіцієнта використання світлового потоку, питомої потужності, точковий.

Метод використання світлового потоку призначений для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь. Цей метод дозволяє врахувати як прямий світловий потік, так і відбитий від стін та стелі. Сумарний світловий потік освітлювальної установки Φ_{Σ} визначають за формулою:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \times S_{\Pi} \times k_3 \times Z}{\eta}, \quad (4.1)$$

де E_n – нормована освітленість, лк;

S_{Π} – площа освітлювального приміщення, m^2 ;

k_3 – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості внаслідок забруднення та старіння ламп;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, який залежить від показника приміщення, коефіцієнт відбивання світла від стелі, стін, робочої поверхні та типу світильника.

Показник приміщення знаходимо за формулою:

$$i = \frac{A \times B}{h_p(A+B)}, \quad (4.2)$$

де A і B – відповідно довжина і ширина приміщення, м;

h_p – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

За i та p типом світильника за світлотехнічними таблицями знаходимо коефіцієнт η .

Підрахувавши Φ_i , вибираємо за табличними даними світловий потік однієї лампи Φ_{Π} і розраховуємо необхідну кількість ламп і світильників:

$$N_{\Pi} = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\Pi}}; N_{\text{СВ}} = \frac{N_{\Pi}}{N_i}, \quad (4.3)$$

де N_i – кількість ламп у світильнику.

Точковий метод. В цьому методі початково приймається, що світловий

потік лампи в кожному світильнику рівний 1000 лм. Освітленість, яка створюється в такому випадку, називається умовною і позначається e . Величина e залежить від світлорозподілу світильника та геометричних розмірів d та h .

Для визначення e слугують просторові ізолюкси умовної горизонтальної освітленості. За заданими значеннями d та h на ізолюксах для відповідного типу світильника знаходять значення e шляхом інтерполяції між значеннями, що належать найближчим ізолюксам.

Нехай сумарна дія “найближчих” світильників створює в контрольній точці умовну освітленість $\sum e$ дію більш віддалених світильників та відбиту складову освітленості наближено врахуємо коефіцієнтом μ . Тоді для того, щоб отримати в цій точці нормовану освітленість E при заданому коефіцієнті запасу k_3 , лампи в кожному світильнику повинні мати світловий потік рівний:

$$\Phi_3 = \frac{1000 \times E \times k_3}{\mu \times \sum e}.$$

По цьому світловому потоку і обирається за таблицями найближча стандартна лампа. Фактичний світловий потік стандартної лампи не повинен відрізнятись від розрахункового більше ніж на мінус 10 чи плюс 20 %. Якщо вибрати лампу з таким допуском неможливо, то необхідно змінити розміщення світильників. Формулу можна використовувати також для визначення освітленості заданої точки (E_A) при відомому світловому потоці лампи Φ_L .

Метод питомої потужності вважають найпростішим, однак і найменше точним, тому його застосовують лише при наближених розрахунках. Цей метод дозволяє визначити потужність кожної лампи P_L , для створення в приміщенні нормованої освітленості

$$P_L = \frac{P_{\text{пит}} \times S}{N};$$

$$P_{\text{пит}} = \frac{E_n \times k_3}{\eta},$$

де $P_{\text{пит}}$ – питома потужність, Вт/м²;

S – площа приміщення, m^2 ;

N – кількість ламп в освітлювальному приміщенні.

4.1.3. Аналіз шуму та вібрації

Деякі виробничі процеси супроводжуються значним шумом і вібрацією.

Джерела інтенсивного шуму і вібрації – машини і механізми з нерівноваженими обертовими масами, а також технологічні установки і апарати, в яких рух газів і рідин відбувається з великими швидкостями і має пульсуючий характер. Сучасний розвиток техніки, оснащення підприємств потужними і швидкими машинами і механізмами призводить до того, що людина постійно піддається впливу шуму все зростаючій інтенсивності.

Підвищення рівня шуму та вібрації на робочих місцях надає шкідливий вплив на організм людини. У результаті тривалого впливу шуму порушується нормальна діяльність серцево-судинної і нервової системи, травних і кровотворних органів, розвивається професійна приглухуватість, прогресування якої може привести до повної втрати слуху.

Вібрація – це малі механічні коливання, що у пружних тілах під впливом змінних сил.

Шум – один з більш розповсюджених несприятливих фізичних причин навколишнього середовища, які мають принципове соціально-гігієнічне значення, у зв'язку з урбанізацією, також механізацією і автоматизацією технологічних дій, майбутнім розвитком дизелебудування, реактивної авіації, транспорту. Для гігієнічної оцінки шум підрозділяють:

Вплив шуму на організм людини

Реакція людини на шум різна. Деякі люди терпимі до шуму, у інших він викликає роздратування, прагнення піти від джерела шуму. Психологічна оцінка шуму в основному базується на понятті сприйняття, причому велике значення має внутрішнє налаштування до джерела шуму. Вона визначає, чи буде шум сприйматися як заважає. Часто шум, відтворений самою людиною, не турбує його, в той час як невеликий шум, викликаний сусідами або яким-небудь іншим джерелом, надає сильний подразнюючий ефект.

В умовах сильного міського шуму відбувається постійна напруга слухового аналізатора. Це викликає збільшення порогу чутності (10 дБ для більшості людей з нормальним слухом) на 10-25 дБ. Шум ускладнює розбірливість мовлення, особливо при його рівні більше 70 дБ. Збиток, який заподіює слуху сильний шум, залежить від спектра звукових коливань і характеру їх зміни. Небезпека можливої втрати слуху через шум в значній мірі залежить від індивідуальних особливостей людини. Деякі втрачають слух навіть після короткого впливу шуму порівняно помірної інтенсивності, інші можуть працювати при сильному шумі майже все життя без скільки-небудь помітної втрати слуху. Постійний вплив сильного шуму може не тільки негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки – дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищену втому.

Шум у містах скорочує тривалість життя людини. За даними австрійських дослідників, це скорочення коливається в межах 8-12 років. Надмірний шум може стати причиною нервового виснаження, психічної пригніченості, вегетативного неврозу, виразкової хвороби, розлади ендокринної та серцево-судинної систем. Шум заважає людям працювати і відпочивати, знижує продуктивність праці.

Високі рівні шуму в міському середовищі, що є одним з агресивних подразників центральної нервової системи, здатні викликати її перенапруження. Міський шум справляє негативний вплив і на серцево-судинну систему. Ішемічна хвороба серця, гіпертонічна хвороба, підвищений вміст холестерину в крові зустрічаються частіше в осіб, що проживають у гучних районах.

Шум в значній мірі порушує сон. Вкрай несприятливо діють переривчасті, раптово виникають шуми, особливо у вечірні та нічні години, на тільки що заснув людини. Раптом під час сну виникає шум (наприклад, гуркіт вантажівки) нерідко викликає сильний переляк, особливо у хворих людей і у дітей. Шум зменшує тривалість і глибину сну. Під впливом шуму рівнем 50 дБ термін засипання збільшується на годину і більше, сон стає поверхневим, після

пробудження люди почувають утому, головний біль, а нерідко і серцебиття. Відсутність нормального відпочинку після трудового дня призводить до того, що природно розвивається в процесі роботи стомлення не зникає, а поступово переходить у хронічну перевтому, яке сприяє розвитку ряду захворювань, таких як розлад центральної нервової системи, гіпертонічна хвороба.

Для захисту людей від шкідливого впливу міського шуму необхідна регламентація його інтенсивності, спектрального складу, часу дії та інших параметрів. При гігієнічному нормуванні в якості допустимого встановлюють такий рівень шуму, вплив якого протягом тривалого часу не викликає змін у всьому комплексі фізіологічних показників, що відображають реакції найбільш чутливих до шуму систем організму.

Методи і засоби захисту від шуму

Одним із напрямків боротьби з шумом є розробка державних стандартів на засоби пересування, інженерне обладнання, побутові прилади, в основу яких покладені гігієнічні вимоги щодо забезпечення акустичного комфорту. ГОСТ 19358-85 «Зовнішній і внутрішній шум автотранспортних засобів. Допустимі рівні і методи вимірювань» встановлює шумові характеристики, методи їх вимірювання та допустимі рівні шуму автомобілів (мотоциклів) всіх зразків, прийнятих на державні, міжвідомчі, відомчі та періодичні контрольні випробування. В якості основної характеристики зовнішнього шуму прийнято рівень звуку, який не повинен перевищувати для легкових автомобілів і автобусів 85-92 дБ, мотоциклів - 80-86 дБ. Для внутрішнього шуму наведені орієнтовні значення допустимих рівнів звукового тиску в октавних смугах частот: рівні звуку складають для легкових автомобілів 80 дБ, кабін або робочих місць водіїв вантажних автомобілів, автобусів - 85 дБ, пасажирських відсіках автобусів - 75-80 дБ.

Санітарні норми допустимого шуму обумовлюють необхідність розробки технічних, архітектурно-планувальних та адміністративних заходів, спрямованих на створення відповідних гігієнічним вимогам шумового режиму як в міській забудові, так і в будівлях різного призначення, дозволяють

зберегти здоров'я та працездатність населення. Одним з ефективних засобів боротьби з виробничим шумом є використання демпфуючих металевих і неметалічних матеріалів. Однак неметали не використовуються для зниження шуму зіткнень через їх невисокі характеристики міцності, а металеві матеріали, що характеризуються високими міцнісними властивостями, забезпечують зниження шуму досить незначно, тому постало питання про створення принципово нових матеріалів, які могли б мати високі міцнісні характеристики і достатні демпфуючі властивості. Такими матеріалами є біметали, які дозволяють отримувати таке поєднання службових властивостей, яке не можна отримати в одному окремо взятому металі або сплаві, наприклад: високу міцність з корозійною стійкістю, ударну в'язкість із зносостійкістю, міцність з високою електро- і теплопровідністю, високу міцність і достатні демпфуючі властивості і т.д. До цих пір боязкі спроби використовувати біметали для зниження шуму і вібрації не забезпечили вирішення проблеми, тому досить актуальним є наукове дослідження, присвячене розробці біметалів з підвищеними демпфуючими властивостями. Технічні засоби захисту від шуму: звукопоглинання, звукоізоляція, екранування, кошти демпфування і глушники шуму. Засоби індивідуального захисту. шум вібрація захист організм

Заходи боротьби з шумом:

- заміна гучних процесів безшумними або менш гучними;
- поліпшення якості виготовлення і монтажу обладнання;
- укриття джерел шуму;
- висновок працюючих людей зі сфери шуму;
- застосування індивідуальних захисних засобів.

Дія вібрації на організм людини

При роботі в умовах вібрацій продуктивність праці знижується, зростає кількість травм. На деяких робочих місцях в авіаційній промисловості вібрації перевищують допустимі значення, а в деяких випадках вони близькі до

граничних. Не завжди відповідають нормам рівні вібрацій на органах управління. Зазвичай у спектрі вібрації переважають низькочастотні вібрації, що негативно діють на організм. Деякі види вібрації несприятливо впливають на нервову і серцево-судинну системи, вестибулярний апарат. Найбільш шкідливий вплив на організм людини надає вібрація, частота якої збігається з частотою власних коливань окремих органів, приблизні значення яких такі (Гц): шлунок – 2 ... 3; нирки – 6 ... 8; серце – 4 ... 6 ; кишківник – 2 ... 4; вестибулярний апарат – 0,5 ..3; очі – 40 ... 100 і т.д.

У залежності від параметрів (частота, амплітуда) вібрація може як позитивно, так і негативно впливати на окремі тканини та організм в цілому. Вібрацію використовують при лікуванні деяких захворювань, але найчастіше вібрацію (виробничу) вважають шкідливо впливає чинником. Тому важливо знати граничні характеристики, розрізняють позитивний і негативний вплив вібрації на людину. Вперше на корисне значення вібрації звернув увагу французький вчений П'єр, який у 1734 р. сконструював вібруюче крісло для домосидів, яке підвищує м'язовий тонус і поліпшує циркуляцію крові. На початку ХХ ст. в Росії професор Військово-медичної академії А.Є. Щербак довів, що помірна вібрація покращує живлення тканин і прискорює загоєння ран.

Виробнича вібрація, що характеризується значною амплітудою і тривалістю дії, викликає у працюючих дратівливість, безсоння, головний біль, ниючий біль в руках людей, що мають справу з вібруючим інструментом. При тривалому впливі вібрації перебудовується кісткова тканина: на рентгенограмах можна помітити смуги, схожі на сліди перелому – ділянки найбільшої напруги, де розм'якшується кісткова тканина. Зростає проникність дрібних кровоносних судин, порушується нервова регуляція, змінюється чутливість шкіри. При роботі з ручним механізованим інструментом може виникнути акроасфіксія (симптом мертвих пальців) – втрата чутливості, побіління пальців, кистей рук. При дії загальної вібрації більш виражені зміни з боку центральної нервової системи:

- з'являються запаморочення,
- шум у вухах,
- погіршення пам'яті,
- порушення координації рухів,
- вестибулярні розлади,
- схуднення.

Основні параметри вібрації: частота і амплітуда коливань. Коливається з певною частотою і амплітудою точка рухається з безперервно мінливими швидкістю і прискоренням: вони максимальні у момент її проходження через вихідне положення спокою і знижуються до нуля в крайніх позиціях. Тому коливальний рух характеризується також швидкістю і прискоренням, що представляють собою похідні від амплітуди і частоти. Причому органи чуття людини сприймають не миттєве значення параметрів вібрації, а чинне.

Методи і засоби захисту від вібрації

Для захисту від вібрації застосовують такі методи: зниження віброактивності машин; відбудова від резонансних частот; вібродемпфування; віброізоляція; вібропогашення, а також індивідуальні засоби захисту.

Зниження віброактивності машин досягається зміною технологічного процесу, застосуванням машин з такими кінематичними схемами, при яких динамічні процеси, викликані ударами, прискореннями і т. п. були б виключені або гранично знижені, наприклад, заміною клепки зварюванням; гарною динамічною та статичною балансуванням механізмів, мастилом і чистотою обробки взаємодіючих поверхонь; застосуванням кінематичних зачеплень зниженої віброактивності, наприклад, шевронних і косозубих зубчастих коліс замість прямозубих; заміною підшипників кочення на підшипники ковзання; застосуванням конструкційних матеріалів з підвищеним внутрішнім тертям.

Налаштування від резонансних частот полягає в зміні режимів роботи машини і відповідно частоти вимушених вібросил; власної частоти коливань машини шляхом зміни жорсткості системи з наприклад установкою ребер

жорсткості або зміни маси системи (наприклад шляхом закріплення на машині додаткових мас).

Профілактичні заходи щодо захисту від вібрацій полягають у зменшенні їх у джерелі утворення і на шляху поширення, а також у застосуванні індивідуальних засобів захисту, проведення санітарних та організаційних заходів.

Зменшення вібрації в джерелі утворення досягають зміною технологічного процесу з виготовленням деталей з капрону, гуми, текстоліту, своєчасним проведенням профілактичних заходів та мастильних операцій; centruванням і балансуванням деталей; зменшенням зазорів у з'єднаннях. Передачу коливань на підставу агрегату або конструкцію будинку послаблюють допомогою екранування, що є одночасно засобом боротьби із шумом.

Якщо методи колективного захисту не дають результату або їх нераціонально застосовувати, то використовують засоби індивідуального захисту. Як засоби захисту від вібрації при роботі з механізованим інструментом застосовують антивібраційні рукавиці і спеціальне взуття. Антивібраційні напівчоботи мають багатшарову гумову підошву.

Тривалість роботи з вібруючим інструментом не повинна перевищувати 2/3 робочої зміни. Операції розподіляють між працівниками так, щоб тривалість безперервної дії вібрації, включаючи мікропаузи, не перевищувала 15 ... 20 хв. Рекомендується робити перерви на 20 хв через 1 ... 2 год після початку зміни і на 30 хв через 2 години після обіду.

Під час перерв слід виконувати спеціальний комплекс гімнастичних вправ і гідропроцедури – ванночки при температурі води 38 °С, а також самомасаж кінцівок.

Якщо вібрація машини перевищує припустиме значення, то час контакту працюючого з цією машиною обмежують.

Для підвищення захисних властивостей організму, працездатності і трудової активності слід використовувати спеціальні комплекси виробничої

гімнастики, вітамінну профілактику (два рази на рік комплекс вітамінів С, В, нікотинову кислоту), спецхарчування.

4.2. Розробка заходів з поліпшення умов праці

4.2.1. Розрахунок системи штучного освітлення за методом використання світлового потоку

Для проведення якісних металографічних досліджень структур захисних покриттів деталей авіаційної техніки слід розрахувати систему загального рівномірного освітлення люмінесцентними лампами. Дане приміщення належить до класу кабінетів, робочих кімнат (ШГ), колір стін, стелі і підлоги – світлий. Розміри приміщення: ширина – 6 м, довжини – 6,25 м, висота – 3 м, робоча висота 0,9 м, коефіцієнти відбиття стелі стін підлоги відповідно: $\rho_{ст} = 70\%$, $\rho_c = 50\%$, $\rho_{п} = 30\%$.

За ДБН В.2.5–28–2006 «Природне і штучне освітлення» вибираємо для даного приміщення рівень нормованого освітлення $E_n = 200$ лк.

Орієнтовно світильник *IP 20*, з відношенням $L/h = 1,4$, $k_3 = 1,5$ для учбових кабінетів і лабораторій.

Розрахуємо кількість рядів світильників н приміщенні N_p :

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p) \times [L/h]},$$

де: B – ширина приміщення, м;

H – висота приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні, м;

$[L/h]$ – числове значення коефіцієнта світильника.

$$N_p = \frac{6}{(3 - 0,9) \times 1,4} = 2,04$$

Приймаємо $N_p = 2$ ряди.

Визначаємо максимально допустиму відстань між рядами світильників

L_{max} :

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{6}{2} = 3 \text{ м},$$

Знайти висоту звисання світильника від стелі h_3 за формулою:

$$h_3 = H - h_p - h = 3 - 0,9 - 0,1 = 2 \text{ м.}$$

де: H – висота приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні, м;

h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

За формулою 4.2 визначаємо значення індексу приміщення i , що характеризує співвідношення розмірів освітлювального приміщення і висоти розміщення світильників:

$$i = \frac{A \times B}{H_p \times (A + B)} = \frac{6,25 \times 6}{0,1 \times (6,5 + 6)} = 30$$

За ДБН В.2.5–28–2006 визначаємо значення коефіцієнта використання світлового потоку $\eta = 67 \%$.

За формулою 4.3 визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної поверхні у даному приміщенні Φ_Σ

$$\Phi_\Sigma = \frac{E_n \times A \times B \times k_3 \times Z}{\eta} = \frac{200 \times 6,25 \times 6 \times 1,5 \times 1,1}{0,67} = 18470,1 \text{ лм}$$

де $Z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості).

Визначити умовну загальну кількість світильників у приміщенні $N_{\text{св}}^*$:

$$N_{\text{св}}^* = \frac{A \times B}{L_{\text{max}}^2} = \frac{6,25 \times 6}{3^2} = 4,1667 \text{ шт.}$$

Результат округлити до цілого значення, кратного кількості рядів N_p , і отримуємо, що $N_{\text{св}} = 4$ світильники.

Розраховуємо світловий потік умовного джерела світла $\Phi_{\text{св}}^*$

$$\Phi_{\text{св}}^* = \frac{\Phi_\Sigma}{N_{\text{св}}} = \frac{18470,1}{4} = 4617,5 \text{ лм.}$$

За каталогами і рекомендаціями вибираємо світильники, які будуть задовольняти характеристикам світлового потоку джерела світла $\Phi_{\text{св}} = 4800$ лм, цим умовам задовольняє Світлодіодна панель 48 Вт 595x595x9 мм 4800 Лм 6500 К.

Визначаємо загальну розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{cb} \times N_{cb} \times \eta}{A \times B \times k_3 \times Z} = \frac{4800 \times 4 \times 0,67}{6,25 \times 6 \times 1,5 \times 1,1} = 207,9 \text{ лк.}$$

Визначаємо правильність вибраних світильників шляхом співвідношення рівня нормального і розрахункового освітлення:

$$E_p = (-10\% \dots +20\%) E_n \quad (4.4)$$

$$\frac{E_p}{E_n} = \frac{207,9}{200} = 1,04$$

Із розрахунків отримаємо, що розраховане співвідношення задовольняє умові 4.4. Світильники вибрані правильно.

Розрахуємо загальну потужність освітлювальної установки P_Σ :

$$P_\Sigma = N_{cb} \times P_{cb} = 4 \times 48 = 192 \text{ (Вт).}$$

де: N_{cb} – фактична кількість світильників у приміщенні, шт;

P_{cb} – потужність вибраного світильника, Вт.

4.3. Пожежна безпека

Вогонь здавна супроводжує людину, дає тепло, допомагає зберігати від псування продукти харчування, очищати поля від бур'янів, отримувати метал. Вміння користуватися вогнем дало людині почуття незалежності від циклічної зміни тепла та холоду, світла і темряви. Вогонь є важливим емоційним символом, соціальним згуртовуючим чинником. Однак вогонь, що вийшов з-під контролю, здатний спричинити значні руйнівні і навіть смертоносні наслідки.

4.3.1. Аналіз умов та факторів, що характеризують пожежний стан об'єкту

Аналіз умов та факторів, що характеризують пожежний стан об'єкту здійснюють за допомогою критеріїв:

- Індивідуального ризику;
- Соціального ризику;
- Регламентованих параметрів пожежної небезпеки виробничої діяльності.

Пожежна безпека виробничої діяльності вважається безумовно

виконаною, якщо:

- Індивідуальний ризик менше 10^{-8} ;
- соціальний ризик менше 10^{-7} .

Оцінку пожежної небезпеки виробничої діяльності слід проводити на основі оцінки їхнього ризику.

У разі неможливості проведення такої оцінки (наприклад, через відсутність необхідних даних) допускається використання інших критеріїв пожежної безпеки виробничої діяльності (допустимих значень параметрів цих процесів).

Оцінюючи діяльність пожежної небезпеки, необхідно оцінити розрахунковим чи експериментальним шляхом:

- надлишковий тиск, що розвивається при згорянні газопароповітряних сумішей у приміщенні;
- розмір зон, обмежених нижньою концентраційною межею поширення полум'я газів і пар;
- розміри зони поширення хмари горючих газів та пари при аварії для визначення оптимальної розстановки людей та техніки при гасінні пожежі та розрахунку часу досягнення хмарою місць їх розташування;
- можливість виникнення і вражаюча дія «вогняної кулі» при аварії для розрахунку радіусів зон ураження людей від теплового впливу в залежності від виду та маси палива;
- параметри хвилі, тиску при згорянні газопароповітряних сумішей у відкритому просторі;
- вражаючі чинники під час розриву технологічного устаткування внаслідок на нього вогнища пожежі;
- інтенсивність випаровування горючих рідин та зріджених газів на відкритому просторі та в приміщенні;
- температурний режим пожежі для визначення необхідної межі вогнестійкості будівельних конструкцій;
- необхідна межа вогнестійкості будівельних конструкцій, що

забезпечує цілісність конструкцій пожежного відсіку, що захищають і несуть, з технологічним процесом при вільному розвитку реальної пожежі;

– розмір зливних отворів для горючих рідин у піддонах, відсіках та секціях виробничих ділянок. При цьому площа зливного отвору повинна бути такою, щоб унеможливити перелив рідини через борт обмежуючого пристрою та розтікання рідини за його межами;

– інші показники пожежонебезпечності виробничої діяльності, необхідні для аналізу їх небезпеки та розраховуються за методиками, що розробляються у спеціалізованих організаціях.

Вибір необхідних параметрів пожежної небезпеки для заданої діяльності визначають, виходячи з аналізованих варіантів аварій (у тому числі велика, проектна та максимальна) та властивостей небезпечних речовин.

Значення допустимих параметрів пожежної небезпеки повинні бути такими, щоб унеможливити загибель людей і обмежити поширення аварії за межі технологічного процесу, що розглядається, на інші об'єкти, включаючи небезпечні виробництва.

До заходів щодо зниження наслідків пожежі слід відносити:

- обмеження розтікання горючих рідин по приміщенню або виробничому майданчику;
- зменшення інтенсивності випаровування горючих рідин;
- встановлення вогнезапобіжників;
- обмеження маси небезпечних речовин при зберіганні та в технологічних апаратах;
- водяне зрошення технологічних апаратів;
- винесення пожежонебезпечного обладнання в ізольовані приміщення;
- застосування пристроїв, що знижують тиск в апаратах до безпечної величини при згорянні газових та пароповітряних сумішей;
- установку в технологічному обладнанні швидкодіючих пристроїв, що відключають;
- обмеження поширення пожежі за допомогою протипожежних розривів

та перешкод;

- застосування вогнезахисних фарб та покриттів;
- захист виробничої діяльності установками пожежогасіння;
- застосування пожежної сигналізації;
- навчання персоналу підприємств способам ліквідації аварій;
- створення умов для якнайшвидшого введення в дію підрозділів пожежної охорони шляхом влаштування під'їзних шляхів, пожежних водойм та зовнішнього протипожежного водопроводу.

Результати аналізу параметрів пожежонебезпечності та заходів щодо зниження наслідків пожежі повинні бути враховані при розробці планів локалізації та ліквідації пожежонебезпечних ситуацій та аварій.

Оцінку соціального та індивідуального ризику при аварії проводять на основі розрахунку вражаючих факторів пожежі та вжитих заходів щодо зниження їх ймовірності та наслідків.

Розрахунок індивідуального та соціального ризику має бути виконаний для можливої загибелі людей як на підприємстві, так і за його межами. При цьому необхідно розглянути всі можливі способи його зменшення та обґрунтувати прийнятий мінімальний ризик.

4.3.2. Заходи протипожежного захисту

Вже зазначалося, що пожежна безпека – це цілий комплекс заходів, спрямованих на захист майна та персоналу від ризику пожеж та наслідків його виникнення. Розглянемо докладніше, що входить у цей комплекс.

1. Організаційні, розпорядчі заходи щодо забезпечення пожежної безпеки на підприємстві.

Заходи передбачають розробку документації з пожежної безпеки (наказів, посадових інструкцій, журналів), у тому числі розробку та подання до Міністерства надзвичайних ситуацій декларації пожежної безпеки (якщо є необхідність; розробка декларації є обов'язковою не для всіх підприємств).

2. Навчання персоналу та керівництва заходам забезпечення пожежної

безпеки.

Передбачає:

- навчання керівника, відповідальної посадової особи не менше 1 разу в період 3-х років за програмами спрямування пожежо-технічного мінімуму;
- ознайомлення персоналу підприємства із протипожежним інструктажем;
- проведення тренувальних заходів щодо евакуації та роботи з вогнегасниками;
- розробка та розміщення інформаційних матеріалів (у тому числі графічних, наочних) про заходи забезпечення пожежної безпеки та порядок дій під час пожежі на підприємстві.

3. Технічні заходи пожежної безпеки для підприємства.

Припускають:

- розробку планів евакуації;
- розміщення знаків пожежної безпеки в рамках підприємства та на території, де воно розташоване;
- оснащення вогнегасниками, первинними засобами гасіння пожежі;
- оснащення підприємства пожежною сигналізацією, засобами оповіщення персоналу, зокрема засобами видалення диму та гасіння пожежі;
- укладання договору з організацією, відповідальною за обслуговування протипожежних засобів;
- контроль та забезпечення справності пожежних кранів, пожежних рукавів;
- забезпечення необхідної кількості виходів для евакуації, а також встановлення протипожежних дверей;
- встановлення та випробування пожежних сходів, огорож дахів;
- вогнезахисну обробку конструкцій, особливо несучих.

Варто враховувати той факт, що вимоги та особливості пожежної

безпеки окремих підприємств можуть відрізнятись.

Так, наприклад, для виробництв забезпечення вимог і заходів пожежної безпеки вимагатиме істотних вкладень і досить копіткої роботи. Для невеликих же організацій, наприклад, офісів малої площі, що орендуються, великих вкладень не потрібно.

Варто враховувати той факт, що незалежно від масштабів діяльності підприємства чи організації та їх розмірів керівники несуть відповідальність та обов'язок за забезпечення пожежної безпеки на підприємстві.

Висновки до розділу 4

У результаті проведеного аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів у приміщенні для лабораторних досліджень встановлено небезпечну дію шуму, низький рівень освітленості. Для зменшення несприятливого впливу на персонал, який виконує роботи з дослідження структур захисних покриттів деталей авіаційної техніки та при подальшій експлуатації лабораторного приміщення, де розташовані зазначені робочі місця, розроблені заходи з нормалізації мікроклімату, поліпшення природнього і штучного освітлення, пожежної безпеки.

Також проведено проектний розрахунок системи штучного освітлення за методом використання світлового потоку.

Запропоновані заходи дозволять зменшити ризик виникнення професійних захворювань та травмування на зазначеному об'єкті дослідження.

1. Буріченко Л.А., Гулевець В.Д. Охорона праці в авіації: Підручник / За ред. Л.А. Буріченка. - К.: НАУ, 2003. - 448 с.
2. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (2015). (Редакція станом на 05.04.2015 р. Режим доступу: zakon.rada.gov.ua.
3. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці. Навч. посіб. 2ге вид.– К.: Центр учбової літератури, 2011. – 280 с.
4. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація
5. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці. Навч. посіб. 2ге вид.– К.: Центр учбової літератури, 2011. – 280 с.
6. Державні будівельні норми України ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення»
7. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, О.В. Мельников. – вид. 2-е, стереотипне. – Львов: Афіша, 2000. – 348 с.
8. Законом України "Про пожежну безпеку"

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Заходи, спрямовані на зниження викидів шкідливих газів та пилу

Під час будівництва, введення в експлуатацію, реконструкції та технічної реконструкції підприємств повинні передбачатися заходи з уловлювання, знешкодження шкідливих речовин, зниження або повного виключення забруднюючих викидів в атмосферу. При цьому наголошується на необхідності дотримання нормативів охорони навколишнього середовища, маючи на увазі, що сукупність викидів від проєктованих та діючих підприємств не повинна погіршувати якість атмосферного повітря. Особливо підкреслюється, що введення в експлуатацію будь-яких технологічних установок, двигунів, транспортних та інших пересувних засобів та установок, незалежно від того, вироблені вони на території України або ввезені з-за кордону, допускається лише за наявності спеціальних сертифікатів, що підтверджують їх відповідність встановленим екологічним нормативам .

Виходячи з Санітарно-епідеміологічних правил та нормативів Наказ МОЗ України № 173 від 19.06.96 «Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів», будь-які об'єкти, які є джерелами викидів шкідливих речовин, а також, вібрації, ультразвуку, електромагнітних хвиль, радіочастот, статичної електрики необхідно в обов'язковому порядку відокремлювати від житлової забудови санітарно-захисними зонами (СЗЗ). Тому СЗЗ стали нині обов'язковими складовими компонентами промислового підприємства чи іншого об'єкта, що є джерелами хімічного, біологічного чи фізичного на ОПС і здоров'я людини.

Залежно від концентрації об'єктів на даній території, їх потужності, умов експлуатації, характеру та кількості токсичних речовин, що викидаються в атмосферу тощо, для підприємств, виробництв та інших об'єктів встановлено

такі мінімальні розміри СЗЗ: підприємства 1-го класу небезпеки – 2000 м; 2-го – 1000 м; 3-го – 500 м; 4-го – 300 м; 5-го – 100 м.

СЗЗ є смугою, що відокремлює промислове підприємство від селітебної території. Селітебна зона, або житлова, – район населеного пункту, в межах якого розміщені житлові будинки та в якому заборонено будівництво промислових, транспортних та інших підприємств, що забруднюють довкілля.

Функції зелених насаджень різноманітні. Вони не лише збагачують повітря киснем, створюють сприятливий мікроклімат, але й сприяють розсіюванню шкідливих речовин та поглинають їх.

При озелененні території промислових підприємств та їх СЗЗ, узбіччя доріг зазвичай вибирають деревні, чагарникові, квіткові та газонні рослини залежно від кліматичного району, характеру виробництва та ефективності даної породи для очищення повітря, а також її стійкості до шкідливих газів. Встановлено, що найбільш стійкими є, наприклад, біла акація, високий атлант, клен ясенелистовий.

Ефективність озеленення характеризують такі дані: хвоя одного гектара ялинового лісу вловлює 32 т пилу, листя букового лісу – 68 т. На відстані 500 м від підприємства за відсутності озеленення забруднення повітря діоксидом сірки, сірководнем і діоксидом азоту в 2 рази забруднення, а за наявності озеленення нижче в 3-4 рази. [2]

5.2 Уловлювання пилу з газопилових викидів

Принцип уловлювання заснований на відділенні завислих частинок від повітряним потоком за рахунок сил тяжіння, інерції або відцентрових сил. За конструкцією це пилоосаджувальні камери та циклони.

Дуже простими пристроями є пилоосаджувальні камери, в яких за рахунок збільшення перерізу повітроводу швидкість пилового потоку різко падає, внаслідок чого частки пилу випадають під дією сил тяжіння. Пилоосаджувальні камери використовують для очищення від великих частинок пилу і застосовують в основному для попереднього очищення повітря. Ефективність уловлювання в пилоосаджувальних камерах залежить

від часу перебування газів у камері та відстані, що проходить частинками під дією гравітаційних сил. На час перебування газів залежить від об'єму камери і швидкості потоку.

Ефективними пиловловлювачами є інерційні апарати, у яких пиловий потік різко змінює напрямок свого руху, що сприяє випаданню частинок пилу. До них відносяться апарати, в яких дія удару про перешкоду використовується більшою мірою, ніж інерція. Широко поширеними інерційними пиловловлювачами є циклони. У них частинки пилу рухаються разом з газовим потоком, що обертається, і під впливом відцентрових сил осідають на стінках. Циклони широко застосовуються для уловлювання частинок розмірами близько 10 мкм. По конструкції вони поділяються на циклічні, конічні та прямоточні.

Найбільш досконалими та універсальними апаратами для очищення викидів від завислих частинок є електричні фільтри, в основі роботи яких лежить осадження завислих частинок під дією електричних сил.

Установки складаються з двох частин: агрегатів живлення та власне електрофільтру. Агрегати живлення включають трансформатор, що підвищує, з регулятором напруги і високовольтний випрямляч. Власне електрофільтр складається з корпусу з вхідним та вихідним патрубком, бункером для збору уловленого пилу, пиловипускним патрубком. У корпусі розташовані осаджувальні та коронуючі електроди. Осаджувальні електроди у вигляді труб або пластин підключаються до заземлення та позитивного полюса випрямляча. Коронуючі електроди, що виконуються найчастіше у вигляді дроту, ізолювані від землі за допомогою ізоляторів, і до них підводиться по кабелю випрямлений електричний струм високої напруги (до 50-80 кВ) негативної полярності.

Уловлювання частинок пилу в електрофільтрі включає наступні стадії: електрична зарядка зважених у газі частинок; рух заряджених частинок до електродів; осадження їх на електродах та видалення осаджених частинок з електродів.

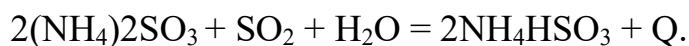
Метод електроосадження полягає в наступному. Частинки пилу спочатку одержують заряд від іонів газу, які утворюються в електричному полі високої напруги, а потім рухаються до заземленого осаджувального електроду. Потрапивши на заземлений уловлювач, частки прилипають і розряджаються. Коли осаджувальний електрод обростає шаром частинок, вони струшуються "постукуванням" і збираються в бункері. [3]

5.3 Уловлювання газоподібних домішок із технологічних газів

Багато промислових газів, крім пилу та золи, містять шкідливі газоподібні викиди у вигляді оксидів сірки, оксидів азоту, сірководню та інші. Уловлювання газоподібних домішок має дві мети: санітарне очищення газів і використання компонентів, що уловлюються для отримання добрив, кислот, сірки та інших цінних хімічних продуктів.

З метою очищення викидів від газоподібних домішок застосовують методи хемосорбції, адсорбції, каталітичного та термічного окиснення.

Хемосорбція базується на поглинанні газу рідкими поглиначами з утворенням малолетючих хімічних сполук. Молекули забруднюючих речовин можуть абсорбуватися рідкою поверхнею фізично або взаємодіяти з абсорбентом і перетворюватися на інші речовини. Більшість реакцій, що протікають у процесі хемосорбції, є екзотермічними та оборотними. Тому при подальшому підвищенні температури розчину хімічна сполука, що утворилася, розкладається з виділенням вихідних компонентів. Так, для очищення викидів від діоксиду сірки застосовується аміачно-циклічний метод. Він заснований на оборотній реакції:



При температурі 0...35 °С ця реакція протікає зліва направо, а при кип'ятінні розчину – у зворотному напрямку. Спочатку викидні гази пропускають через розчин $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ при 30...35 °С, потім розчин, насичений NH_4HSO_3 , нагрівають, при цьому виділяється концентрований SO_2 . Після охолодження розчин $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ знову надходить на уловлювання SO_2 . Метод

дозволяє отримувати зріджений 100 % -вий SO_2 , що є сировиною для отримання сірчаної кислоти.

Очищення газів проводять у спеціальних пристроях – абсорберах. У цих апаратах абсорбція можна здійснити протиточно, тобто газ і рідина рухаються у протилежних напрямках, або прямоточно, коли обидва потоки мають однаковий напрямок. У випадках щодо високих концентрацій шкідливих газів (1 % та більше) використовують протиточний метод. Для видалення шкідливих газів, що мають порівняно невисоку концентрацію, найчастіше застосовують прямоточні скрубери. Рідина диспергується в потоці газу чи газовий потік барботує через рідину. При цьому досягається тісний контакт між бульбашками газу рідини або дрібними краплями абсорбуючої рідини в газовому потоці.

Адсорбція заснована на селективному (виборчому) поглинанні шкідливих газів та пар твердими адсорбентами, що мають розвинену мікропористу структуру.

В абсорберах газовий потік, що очищається, пронизує знизу вгору шар адсорбенту, який складається з зернистого матеріалу, наприклад, активованого вугілля, силікагелю, оксиду алюмінію, піролюзиту, синтетичкового цеоліту і т.п. При цьому шкідливі домішки газу зв'язуються адсорбентом і можуть бути виділені з нього. Як правило, застосовуються адсорбери з нерухомим (фільтруючим) шаром адсорбенту, який змінюється після насичення вловлюваною речовиною, а також абсорберами безперервної дії, в яких адсорбент повільно переміщається і одночасно очищає потік, що проходить через нього. Поверхня адсорбції дуже велика: для деяких матеріалів вона досягає кількох квадратних метрів на грам (для силікагелю) і навіть кілька сотень квадратних метрів на грам – для активованого вугілля.

Каталітичний метод заснований на перетворенні шкідливих компонентів промислових викидів на менш шкідливі або нешкідливі речовини у присутності каталізаторів. Іноді продукти каталітичного перетворення, що утворюються, залишаються досить токсичними, проте вони легко

видаляються із системи у вигляді утилізованих надалі продуктів. Так, добре відомий рідкофазний каталітичний метод окислення діоксиду сірки, де як каталізатор використовуються Fe_2+ і Mn_2+ . В абсорбер, що зрошується водним розчином солей заліза або марганцю, надходить димовий газ. Зрошуючий розчин поглинає із газу SO_2 .

При цьому утворюється 20% сірчана кислота, що містить іони заліза або марганцю. Вона може бути використана у сільському господарстві як меліорант солонців содового засолення.

Аналогічні гази, що містять діоксид сірки, можна окислювати на твердофазних каталізаторах (оксидах ванадію, заліза, міді або хрому або поліоксидних каталізаторах), попередньо підігрів гази до 400-500 °С.

Триоксид сірки SO_3 , що утворився, потім поглинається водою з отриманням сірчаної кислоти.

Термічний метод передбачає високотемпературне спалювання шкідливих домішок, що містяться у технологічних викидах. Його застосовують для видалення, наприклад, вуглеводнів, монооксиду вуглецю та ін. Для здійснення допалювання (реакції окислення) необхідне підтримання високої температури газу, що очищається, і наявність достатньої кількості кисню.

5.4 Визначення еколого-економічної шкоди від викидів в атмосферу забруднюючих речовин та від забруднення стічних вод плазмової установки

Величина платежів визначається за формулою:

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

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

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

K_T – коефіцієнт відповідності плати за понадмірний викид;

K_T – коефіцієнт, що враховує територіальні і екологічні особливості

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

$K_{нас}$ – коефіцієнт, що залежить від чисельності населення;

K_ϕ – коефіцієнт, що залежить від народногосподарського значення міста;

$H_{ил}$ – встановлюється на основі граничної концентрації та відносної агресивності;

Ставки податку за викиди в атмосферу

окис азоту: 2451,84 (грн/т);

окис вуглецю: 92,37 (грн/т);

дрібнодисперсійний пил (сажа): 92,37 (грн/т);

Приведені маси викидів в атмосферу від роботи плазмової установки

$M_{\text{окси азоту}}$ 0,09 т/год;

$M_{\text{сажа}}$ 0,42 т/год;

$M_{\text{окси вуглецю}}$ 1,6 т/год.

Отже, плата за викиди в атмосферу забруднюючих речовин становить:

$$P_{AC} = 2451,84 \times 0,09 \times 2,25 + 0,42 \times 92,37 \times 2,25 + 1,6 \times 92,37 \times 2,25 = 741,74 \text{ (грн)}.$$

Плазмова установка та цех відновлення деталей понадлімітний викид не передбачається.

Під екологічною шкодою мається на увазі фактичні або можливі збитки, які зумовлені забрудненням навколишнього середовища та можуть бути виражені в грошовій формі.

Екологічна шкода від забруднення навколишнього середовища складається зі збитків від забруднення його окремих елементів.

$$Z = Z_A + Z_B; \quad (5.1)$$

де Z_A – збитки від забруднення атмосфери витяжної вентиляції;

Z_B – збитки від забруднення води на ділянці промивки з використанням кислот та лугів.

$$Z_A = k_1 \cdot k_2 \cdot I_A \cdot M_A; \quad (5.2)$$

де $k_1 = 4$ – коефіцієнт, який враховує положення джерела викидів (приймаємо для території з населенням 50000 чол.);

$k_2 = 1,5$ – коефіцієнт, який враховує приведену висоту викидів ($H=0 \mid 5$

м)

$I_A = 878,86$ грн/т – показник відносної небезпеки забруднення атмосферного повітря

M_A – зведена маса викиду (т).

Підставивши ці значення в формулу 5.2 отримаємо:

$$Z_A = 4 \times 1,5 \times 878,86 \times 2,11 = 11126,36 \text{ (грн)}.$$

$$Z_B = l \cdot Z'_B \cdot M_B.$$

де $l = 1$ – коефіцієнт, який враховує, що джерела викидів розміщені в районах, де баланс водопостачання та водоспоживання зводиться без дефіциту.

$Z'_B = 7909,77$ грн/т – Ставка податку за скиди окремих забруднюючих речовин у водні об'єкти води;

M_B – маса шкідливих викидів, (т);

Таким чином :

$$Z_B = 1 \times 7909,77 \times 1,25 = 9887,21 \text{ (грн)}.$$

Отримані результати підставляємо у формулу 5.1 та знаходимо:

$$Z = 11126,36 + 9887,21 = 21013,57 \text{ (грн)}.$$

Висновки до розділу 5

Аналіз умов роботи при створенні захисних покриттів передбачає використання різних методів нанесення покриттів, проведений аналіз дозволив виявити основні види забруднення внаслідок використання плазмових установок та визначити критерії, що характеризують утворення забруднюючих речовин. Також встановлено, що викиди при плазмовому напиленні мають підвищену токсичність і канцерогенність, тому потребують спеціальної утилізувати.

Питання екологічної утилізації забруднюючих речовин стоїть досить гостро. Тому кожен, хто продукує такі речовини, повинен піклуватися про захист екології. Викиди плазмового напилення повинні утилізуватися спеціальним способом.

В даному розділі було виконано розрахунок еколого-економічного втрат від викидів під час роботи плазмової установки. За результатами розрахунків отримано, що за групою шкідливих викидів (оксиди азоту, оксиди вуглецю та суспендовані тверді частинки (сажа)), підприємство повинно заплатити екологічний податок в розмірі 21 013,57 грн. за викиди, вчинені використанням плазмової установки для нанесення захисних покриттів.

1. Екологічна безпека та охорона довкілля: Монографія / Д. В. Зеркалов – Електрон. дані. – К. : Основа, 2011.
2. Закон України “Про охорону навколишнього середовища”
3. Евдокимов А.Ю., Лашхи В.Л., Джамалов А.А. Отработанные смазочные материалы и вопросы экологии // Химия и технология топлив и масел. 1992. № 11. С. 26-30.
4. Краснянский М. Е. Утилизация и рекуперация отходов: учеб.пособие /М. Е.Краснянский. –2-еизд, испр.и доп.–Харьков: Бурун и К, Киев: КНТ, 2007. –288 с.

5. Постанова КМ № 1221 від 17.12.2012 Деякі питання збирання, перевезення, зберігання, оброблення (перероблення), утилізації та/або знешкодження відпрацьованих мастил (олив).

6. Екологія та охорона навколишнього середовища: Дипломне проектування: Навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Національний авіаційний ун-т. — К. : Книжкове вид-во НАУ, 2005. — 192с.

7. Пункт 243.1 статті 243 в редакції Законів № 4235-VI від 22.12.2011, № 5503-VI від 20.11.2012, № 1166-VII від 27.03.2014, № 909-VIII від 24.12.2015, № 1791-VIII від 20.12.2016, № 2245-VIII від 07.12.2017.

8. Пункт 245.1 статті 245 в редакції Законів № 4235-VI від 22.12.2011, № 5503-VI від 20.11.2012, 1166-VII від 27.03.2014, № 909-VIII від 24.12.2015, № 1791-VIII від 20.12.2016, № 2245-VIII від 07.12.2017.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Використання відновлювальних технологій значно знижує собівартість технічного обслуговування і ремонту конструктивних елементів літальних апаратів. Для відновлення на сьогодні використовуються різні технології, такі як гальванічні, газотермічні вакуумно дугові і інші.

Метод наплавки має обмежене використання в авіації, але він дозволяє якісні, міцні, абразивостійкі покриття. За рахунок того, що при наплавці, наплавлюваний матеріал вплавляється в матеріал основний матеріал, ми отримуємо дуже міцне з'єднання порівняно з іншими методами відновлення напиленням.

Для наплавки матеріалу на сталеві деталі використовують композиції на основі вуглицю, бору, хрому і інші. Кожен з легуючих матеріалів має свій вплив на кінцеві характеристики наплавленого матеріалу. В цілому, до кожної деталі потрібно підходити індивідуально, врахувати особливості роботи деталі навколишнього середовища, вимоги щодо довговічності і зносостійкості

У наплавних матеріалах з перліто-феритною структурою за допомогою електронної мікроскопії, що просвічує, РСА, вимірювання мікротвердості, показано, що в зоні сплавлення (рідкофазного перетворення) з боку металу основи відбувається розчинення цементитних прошарків, збільшення вмісту С, Si. Значні термічні напруження призводять до зміцнення наплавного матеріалу за рахунок формування верхнього бейніту, що має так звану перисту будову. У верхньому бейніті карбідні частинки виділяються у вигляді ізольованих вузьких смужок між пластинами фериту або по межах і всередині пластин (перетворення м'якої феритної фазової складової на нерівноважний ферит пересичений Si з мікротвердістю 5500 МПа).

Показано, що у 2 шарі межі розділу зерен є місцями формування мікротріщин. У перлітній структурі, уздовж пластин фериту виявлені прошарки залишкового аустеніту, в результаті твердофазного $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ перетворення, значне розуміцнення матеріалу наплавлення.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ

ДЖЕРЕЛ

1. На основі проведеного аналізу, запропоновано спосіб припрацювання шляхом ступінчастого навантаження зубчастих редукторів, і встановлено, що такий спосіб припрацювання є неоптимальним.
2. Конструктивно-технологічні рішення забезпечення статичної міцності та ресурсу регіональних пасажирських літаків [Текст] / О. Д. Донець, О. І. Семенець, Є. Т. Василевський и др. – Киев: Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, № 82, 2018
3. Конструктивно-технологические методы повышения усталостной долговечности элементов конструкции планера самолета в зоне функциональных отверстий [Текст] / Д.С. Кива, Г.А. Кривов, А.Г. Гребеников и др. – Киев: КВИЦ, 2015. – 188 с.
4. Управление процессами приработки основных сопряжений деталей машин при изготовлении и ремонте: Монография // Т.Н. Замота, В.В. Аулин.- Кировоград: издатель Лысенко В.Ф.; 2015.- 302 с.
5. Дмитриченко М. Ф., Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О. Триботехніка та основи надійності машин. Київ: Інформавтодор, 2006. 216 с.
6. Мнацаканов Р. Г. Моделювання інтенсивності зношування / О. О. Мікосянчик, Р. Г. Мнацаканов; М. С. Хімко // Problems of Friction & Wear. – 2015, Vol. 1. Issue 66. – P. 140–145.
7. Технология ремонта машин : учебник / В.М. Корнеев, В.С. Новиков, И.Н. Кравченко [и др.] ; под ред. В.М. Корнеева. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 314 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – www.dx.doi.org/10.12737/textbook_59d25702b797a5.36101100. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/905842>.

