

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет митної справи матеріалів, матеріалів та технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра матеріалознавства

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

Дослідження впливу тертя ковзання на деформаційний
титановий сплав Grade 23 / Effect of sliding friction on
deformation of Grade 23 titanium alloy

спеціальність 132 Матеріалознавство

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Матеріалознавство

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПММ-21

Місюк Роман Миколайович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Зайчук Наталія Петрівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Мельничук Микола Дмитрович

(підпис)

Луцьк – 20__ року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій
Кафедра матеріалознавства
Ступінь вищої освіти: магістр
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 132 Матеріалознавство
Освітня програма: Матеріалознавство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Мельничук М.Д.

"03" грудня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВИТИ

Місюк Роман Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження впливу тертя ковзання на деформаційний механізм сплаву Grade 23

керівник роботи Заїзук Наталія Петрівна, к.т.н. доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "23" 10 2024 року № 407101-

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи "03" грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Властивості сплаву Grade 23 трюмних покриттів, методику нанесення покриттів, робочі умови деталей, нормативні документи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Техніко-економічне обґрунтування

технологічна частина

Дослідна частина

Аналіз результатів дослідження

Висновки та рекомендації

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

11 Слайдів що розташовані у дорядках:

1. Слайд 1. Предмет дослідження, 2. Слайд 2 - Схема установки вакуумно-окурового напичення, 3. Слайд 3 - Хімічний склад; властивості Grade 23. 4. Слайд 4 - Методика дослідження, 5. Слайд 5, Результати мікроскопічного зносу, 6. Слайд 6 - 10 - Півперки тертя різних зразків, 7. Слайд 11 - Висновки по роботі

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Н.контр	Мисюк Р.М.	02.10.2024	03.10.2024

7. Дата видачі завдання «02» вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Розділ 1.	15.10.24	виконано
2.	Розділ 2.	05.11.24 05.11.24	виконано
3.	Розділ 3	05.11.24	виконано
4.	Розділ 4	26.11.24	виконано
5.	Висновки, графічна частина	26.11.24	виконано

Здобувач вищої освіти

Мисюк Р.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

Зайчук Н.П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Місюк Р.М. Назва теми: «Дослідження впливу тертя ковзання на деформаційний титановий сплав Grade 23»

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Матеріалознавство» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури, додатків.

У магістерській роботі розглянуто поведінку сплаву Grade 23 без покриття та з покриттями хрому виконаними різними методами в умовах тертя ковзання в середовищі гідравлічної рідини АФТ.

Основні рішення, прийняті в магістерській роботі направлені на аналіз властивостей досліджуваного сплаву з урахуванням особливостей функціонування деталей гідравлічних систем.

Загальний обсяг роботи: 59 сторінок, 4 розділи та висновки, 20 рисунків, 4 таблиці, 30 літературних джерел.

Ключові слова: Grade 23, гідравлічна рідина, фретинг корозія, тертя ковзання, знос, структура поверхні, доріжки тертя.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP 1324.00.00.000 ПЗ		
Розробив	Місюк				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив	Зайчук					3	59
Н. Контр	Мисковець				ЛНТУ, каф.матеріалознавства, гр. ПММ-21		
Затв.	Мельничук						

ABSTRACTS

Misiuk R.M. Theme title: «Investigation of the effect of sliding friction on deformation titanium alloy Grade 23».

Qualification work for master's degree in Materials Science, speciality 132 Materials Science. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024.

The master's thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The master's thesis deals with the behaviour of Grade 23 alloy uncoated and with chromium coatings made by different methods under sliding friction conditions in the AFT hydraulic fluid environment.

The main decisions made in the master's thesis are aimed at analysing the properties of the studied alloy, taking into account the peculiarities of the functioning of hydraulic system parts.

Total amount of work: 59 pages, 4 chapters and conclusions, 20 figures, 4 tables, 30 references.

Keywords: Grade 23, hydraulic fluid, fretting corrosion, sliding friction, wear, surface structure, friction tracks.

					MP 1324.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	8
1.1. Застосування титанових сплавів для відповідальних деталей вузлів тертя	8
1.2. Основні особливості функціонування, експлуатаційних характеристик та легування титанових сплавів	10
1.3. Руйнування деталей з титанових сплавів	13
1.4. Методи нанесення захисних покриттів, їх особливості	15
1.5. Особливості гальванічних покриттів	18
1.6. Висновок та постановка задачі	20
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	22
2.1. Зносостійких покриття, їх характеристика та призначення	22
2.2. Різновиди електrolітів для хромування	24
2.3. Підготовка поверхні до хромування	27
2.4. Обробка після хромування	31
2.5. Особливості вакуумно-дугового напилення	32
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	35
3.1. Характеристика досліджуваного сплав	35
3.2. Методика проведення досліджень	37
3.3. Випробувань матеріалів та покриттів при терті ковзанню	42
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	45
4.1. Лінійний знос досліджуваних зразків зі сплаву Grade 23	45
4.2. Розвиток фретинг-корозії під час тертя ковзання	47
4.3. Зносостійкість в умовах тертя ковзання	52
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	55
ДОДАТКИ	

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Титан відомий через дві основні свої властивості: корозійну стійкість та співвідношення міцності до щільності

Титан та його сплави чудово протистоять корозії, оскільки кисень поєднується з титаном, утворюючи оксиди титану. Цей шар оксиду титану є пасивним і досить міцним, що означає, що вказує на те, що він не буде відшаровуватися, як іржа на сталі, і може протистояти хімічному впливу речовин, таких як сполуки хлору.

Титан також має хороше співвідношення міцності до ваги та міцності до щільності, що означає, що він досить міцний, незважаючи на те, наскільки він легкий. Деякі марки титану, такі як Grade 23, Grade 5, мають значно вищу міцність на розрив, ніж сталь із щільністю трохи більше ніж вдвічі [1].

Титанові сплави знаходять застосування в хімічній і нафтовій промисловості та виготовленні морських платформ різного призначення. Ці сплави використовуються для будівництва водоочисних споруд, ядерних реакторів та інших критичних середовищ, що вимагають високоміцних і недорогих матеріалів. Їх також використовують для компонентів, що піддаються впливу підвищених температур. Окрім високоміцних властивостей, сплав має чудову стабільність, що робить їх придатними для виготовлення корпусів літаків і реактивних двигунів.

Титанові сплави також знаходять своє застосування для низьких температур і рН. Це результат високої стійкості до корозії.

Титанові сплави володіють також хорошою високотемпературною міцністю та високою стійкістю до корозії [2]. Сплави дієві для установок, що працюють при високих температурах, таких як хімічне та нафтопереробне обладнання та виробництво авіаційних двигунів і планерів. Їх використовуються для виробництва турбін, резервуарів для зберігання рідкого водню та іншого

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

важливого обладнання. Легко виготовляються механічною обробкою, куванням, прокаткою та екструдкуванням [3].

Ці властивості важливі для виробництва деталей літаків, таких як деталі двигунів, асі, паливні системи та інше критичне обладнання.

Актуальна задача зниження ваги деталей двигуна. та інших складових деталей літака шляхом підвищення міцності цього класу сталей є неможливою, так як невелике підвищення міцності (10...15 %) буде призводити до зниження в'язкості руйнування та тріщиностійкості матеріалу через додаткове легування.

При розробці та виготовленні сучасних пасажирських, транспортних та військових літаків ставиться ряд вимог: вага деталей тертя не повинна перевищувати досягнутого вагового рівня, тобто 3,5...4,5 % від взлітної ваги літака; ресурс деталей тертя повинен складати не менше 50 тисяч зльотів-посадок на протязі 25 років експлуатації [4].

Одним із перспективних заходів на сьогодні залишається раціональне використання сучасних конструкційних матеріалів.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

1.1. Застосування титанових сплавів для відповідальних деталей вузлів тертя

Порівняно з нержавіючою сталлю та кобальтохромовими сплавами титан перевершує в питомій міцності, корозійній стійкості і біосумісності, але поступається в трибологічних властивостях. Титан – це кольоровий метал – його модуль пружності майже вдвічі менше, ніж у нержавіючих сталей і кобальтохромових сплавів. Крім того, дуже стійка пасивна плівка утворюється при кімнатній температурі завдяки швидкій реакції з киснем [1, 2, 5]. Температура алотропного перетворення 885 °С. Елементи, які стабілізують альфа-структуру:

- вуглець;
- олово;
- азот;
- алюміній.

Вони підвищують температуру перетворення та розширення області альфа-фази в діаграма рівноваги (рисунок 1).

За температури, вищій ніж 885 °С, структура Ті з кубічною ґраткою (бета-форма). Елементами, які стабілізують бета-структуру, є молібден, ніобій, ванадій, хром і залізо. Вони зменшують трансформацію температури і збільшення площі бета-фази на діаграмі рівноваги. [1, 2].

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

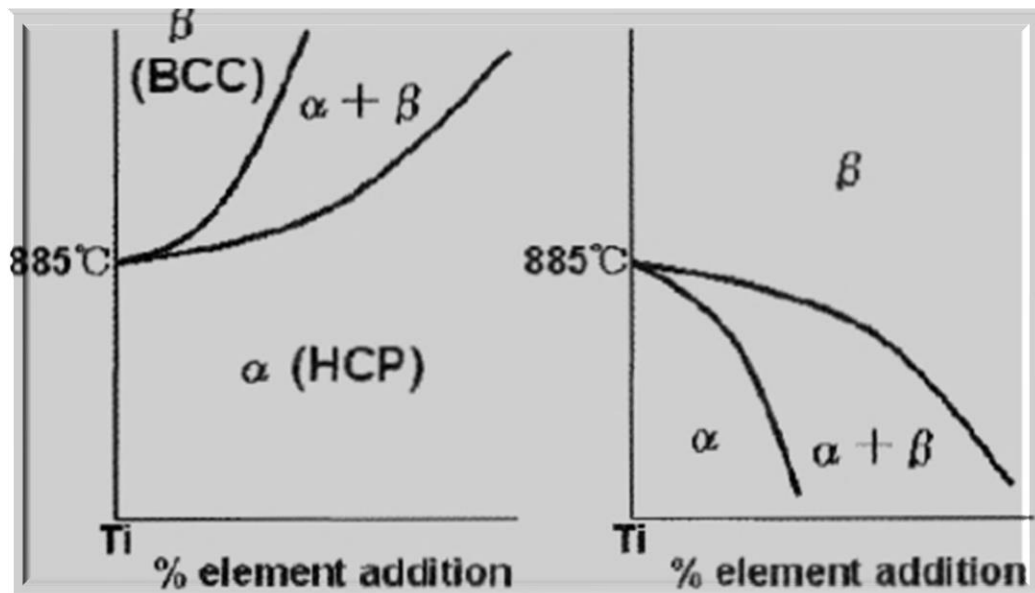


Рисунок 1 – Двофазна діаграма з алотропним перетворенням Ti-Елемент

Додавання стабілізаторів бета-структури робить можливим існування двофазної структури як альфа-, так і бета-структур, або тільки бета-структура при кімнатній температурі. Технічно чистий титан має альфа структуру.

Високе співвідношення міцності до ваги робить його дуже корисним у будь-якому аерокосмічному застосуванні, де зниження ваги є ключовим для підтримки максимальної міцності. Відповідно, межа міцності типових титанових сплавів, таких як Ti-6Al-4V, становить від 895 до 930 МПа [6]. Міцність для Ti-Al-V становить приблизно 4 МПа. Це гарантує, що аерокосмічні компоненти зберігають свою цілісність під час повторного циклічного навантаження.

Механічна стабільність навіть при екстремальних температурах, таких як мінус 200 °C до плюс 600 °C дуже важлива. Низький коефіцієнт теплового розширення (8,6 мкм/м·K для Ti-6Al-4V) допомагає підтримувати стабільність розмірів важливу особливість у нестабільних умовах, типових для аерокосмічного середовища. Високе співвідношення міцності до ваги, а також

відмінна стабільність і хороші характеристики при різних температурах підтверджені різними джерелами [7].

Титан марок 1, 2, 3, 4, 7, 11 і 12 вважається нелегованим і має подібні механічні властивості.

Ластівчин хвіст лопатки компресорів, шестерні, шліци тощо - це деякі аерокосмічні компонентів аерокосмічної техніки, які виходять з ладу через передчасне зародження втомних тріщин і поширення під дією зносу, втоми і фретингу [7, 8]. Фретинг-руйнування виникає на поверхні або поблизу поверхні і призводить до пошкодження поверхні або поблизу поверхні і призводить до пошкодження компонентів. Тому поверхня компонентів може бути модифікована для покращення трибологічних характеристик за допомогою плазмового азотування, хромування, цементації та інших способів зміцнення поверхні, які покращують титановий сплав шляхом формування шару твердих фаз, таких як, наприклад, TiN і Ti_2N на поверхні. Плазмове азотування титанових сплавів має декілька переваг перед газовим і рідинним азотуванням, де фазоутворення і глибина азотування оскільки фазоутворення та глибину азотування можна контролювати.

1.2. Основні особливості функціонування, експлуатаційних характеристик та легування титанових сплавів

Очільне місце у виготовленні частин деталей, що функціонують під дією тертя посідають вуглецеві конструкційні сталі типу 30ХГСА, титанові сплави, бронзи, та інші вуглецеві або хромисті сталі і сплави. Однак враховуючи вимоги до терміну експлуатації та числа навантажень виникає проблема електролітичної корозії під навантаженням. Особливу увагу в цьому питанні привертають відносно нові сталі та сплави. Їх втомно-міцнісні характеристики заслуговують на признання, окрім того при хромуванні вони практично не наводнюються, що свідчить про високі міцнісні властивості та пластичність

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Крім α -і β -стабілізаторів розрізняють нейтральні зміцнювачі (Sn, Zr, Hf), які не створюють суттєвого впливу на температуру переходу (рисунок 1.2).

Ті сплави по структурі в рівноважному стані поділяють на α -сплави (однофазні) і $(\alpha + \beta)$ -сплави (двохфазні), β -сплави (однофазні).

До переваг α -сплавів належить те, що до 650°C зберігають достатню міцність. До 1090°C протистоять корозії в атмосферному середовищі, забрудненому газами, що дозволяє вести обробку тиском при більш високих температурах. Добре зварюються. Після термічної обробки не спостерігається підвищення крихкості.

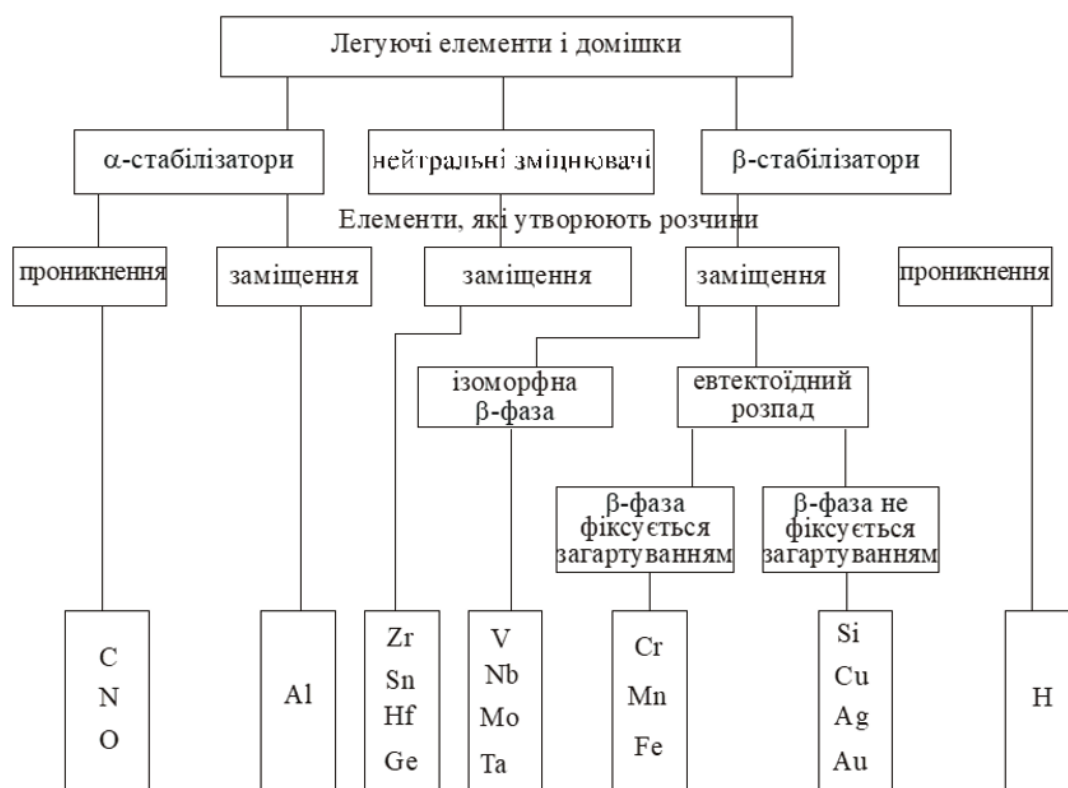


Рисунок 1.2 – Класифікація легуючих елементів і домішок заміщення та проникнення титану

До недоліків – пластичність на згин гірше ніж у β -сплавів; для гарячої обробки тиском вимагається витрата більш значної потужності ніж для сплавів $\alpha + \beta$; неможливість отримати високоміцних металів; загартуванню і старінню не піддаються [5, 10].

Перевагами $\alpha + \beta$ -сплавів є: збільшена вдвоє міцність порівняно з нелегованим титаном; добра пластичність, а саме при згині; легше куються, штамуються і піддаються прокатці, ніж α - або β -сплави; можливе зміцнення шляхом термічної обробки.

Недоліками цих сплавів можуть бути – чутливість до термічної обробки (при недостатньому контролі може спостерігатись збільшення крихкості); пластичність зварювального шва гірша, ніж в α -сплавів; зберігають міцність лише до 430 °С.

Перевагами β -сплавів можна назвати високу пластичність при всіх видах штамповки (лист товщиною 0,7 мм може бути зігнутий без оправки до повного дотикання сторін); зберігати достатню міцність в межах 540 °С, для отримання високої міцності необхідна термічна обробка.

Головні недоліки β -сплавів це те, що вони досить чутливі до забруднення в атмосфері в процесі виробництва. Чутливі до забруднення атмосферними газами при температурах вище 700 °С. Висока міцність викликає складності при штамповці. Відносно високий склад дефіцитних легуючих елементів. Можливе збільшення крихкості при старінні [11].

1.3. Руйнування деталей з титанових сплавів

Ряд структурних особливостей обумовлюють особливості руйнування виготовлених з титану деталей:

- присутність дефектів, що виникли під час виготовлення провокує високу чутливість титанових сплавів до концентрації напружень – руйнуються на перших годинах роботи виробів;
- відсутність макроознак (зональних ліній, ступенів і так далі) на зламах деталей – руйнування відбувається за втомним механізмом;
- багатообразність типів структур, якими характеризуються титанові сплави (всього 9).

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

При одному і тому ж виді руйнування деталей, які мають неоднакову структуру, характер розповсюдження втомних тріщин суттєво різний: або по тілу зерен, або по межах зерен, а найчастіше – змішаний. Часто тріщини втомності по характеру аналогічні корозійному розтріскуванню. Ця особливість також обумовлює обов’язкове проведення в таких випадках електронно-фрактографічних досліджень.

На крупнозернистих титанових сплавах виявлена особливість не властива іншим конструкційним матеріалам і яка не відповідає усталеним поглядам на природу статичного руйнування: на зламах від дії однократно прикладених навантажень руйнування може приходити і по тілу зерен, як у випадку втомності.

Руйнування жароміцних титанових сплавів від термічної втоми проходить, як правило, по межах зерен. Різномізернистість, понижуючи всі міцнісні характеристики і властивості, знижує і протидію термоциклічним навантаженням.

Часто тріщини, які виникають при термічній втомі, є концентраторами напружень при втомному руйнуванні деталей від дії змінних навантажень або вібрацій.

Суттєвих відмінностей корозійно-втомного руйнування в будові поверхонь зломів, крім крупнозернистості, в сплавів по відношенню до інших сплавів немає [12, 13].

Основною особливістю втомного руйнування титанових сплавів, яка відрізняється від інших матеріалів, є наявність на поверхні злому характерної складчастості, яка спостерігається при візуальному огляді або при нестабільному збільшенні. Ця складчастість на зламах, які виникли як при кімнатній так і при підвищеній температурі. Присутність подібної складчастості характерне для обох видів жароміцних сплавів (деформівних і ливарних).

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

В зломах деталей, отриманих при напруженнях, близьких до межі втоми даного конкретного сплаву є, як правило, одне джерело [15...17].

1.4. Методи нанесення захисних покриттів, їх особливості

Для захисту поверхні металевих і неметалічних матеріалів від агресивного зовнішнього середовища застосовують різні покриття. Розрізняють декілька видів покриттів. Захисні покриття, призначені для захисту від корозії деталей в різних агресивних середовищах і при високих температурах.

Декоративні покриття служать для декоративної обробки деталей з одночасним захистом їх від корозії. Спеціальні покриття, які використовують з метою надання поверхні спеціальних властивостей (зносостійкості, твердості, електроізоляційних, магнітних властивостей тощо), а також для відновлення зношених деталей [18].

Захисні металеві покриття повинні бути суцільними, непроникними, володіти високою міцністю зчеплення з основним металом, високою твердістю, зносостійкістю і рівномірно розподілятися по всій поверхні, що захищається.

Розрізняють наступні методи нанесення захисних покриттів:

- гальванічне;
- дифузійне;
- розпилювання (металізація);
- занурення в розплавлений метал (гарячий метод);
- механо-термічний (плакування).

За механізмом захисту розрізняють металічні покриття анодні і катодні [19, 20]. Метал анодних покриттів має електродний потенціал більш негативний, ніж потенціал металу, що захищається. У разі застосування анодних покриттів не обов'язково, щоб воно було суцільним. При дії розчинів електrolітів у виникаючому корозійному елементі основний метал-покриття основний метал є катодом і тому при достатньо великій площі покриття не

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

руйнується, а захищається електро-хімічно за рахунок розчинення металу покриття.

Катодні металеві покриття, електродний потенціал яких більш електропозитивний, ніж потенціал основного металу, можуть служити надійним захистом від корозії тільки за умови відсутності в них пор, тріщин і інших дефектів, оскільки вони механічно перешкоджають проникненню агресивного середовища до основного металу. Прикладами катодних захисних покриттів є покриття заліза міддю, хромом і іншими більш електропозитивними металами.

Принципи отримання гальванічних покриттів засновані на осадженні на поверхні металів, що захищаються, катіонів з водних розчинів солей при пропусканні через них постійного електричного струму від зовнішнього джерела. Метал, що захищається, при цьому є катодом, а анодами служать пластини осаджуваного металу (розчинні аноди) або пластини графіту або металу, нерозчинного в електроліті (нерозчинні аноди). В першому випадку при замиканні електричного ланцюга метал анода розчиняється, а з розчину на катоді виділяється така ж кількість металу, так що концентрація розчину солі в процесі електролізу практично не змінюється. При проведенні процесу з нерозчинними анодами постійну концентрацію розчину підтримують періодичним введенням необхідних кількостей відповідної солі [19, 20].

Дифузійні покриття володіють порівняно високою корозійною стійкістю і мають ряд переваг перед гальванічними покриттями. Дифузійні покриття одержуються в результаті насичення поверхневих шарів металу, що захищається, атомами металу, і дифузії останніх в глибину металу, що захищається, при високих температурах, тому описаний спосіб одержання покриттів називається термодифузійним [21].

У поверхневих шарах металу, що покривається, як правило, спостерігається утворення нових фаз хімічних сполук або твердих розчинів. По

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

мірі віддалення від поверхні углиб йдуть шари з поступовим зменшенням процентного вмісту того металу, яким покривають поверхню.

Процес розпилення металів з метою отримання покриттів прийнято називати металізацією. Процес нанесення покриттів цим методом полягає в тому, що розплавлений метал з пістолетоподібних апаратів напильюється на поверхню, що захищається. Як правило, метал поступає в розпилювач у вигляді дроту і розплавляється або в газовому полум'ї (киснево-ацетиленове полум'я), або в електричній дузі, що створюється між двома електродами.

Цей метод знайшов широке застосування в промисловості для захисту великогабаритних конструкцій в зібраному вигляді: резервуари, залізничні мости тощо. Розпилюють зазвичай цинк, алюміній, мідь, вуглецеву сталь, нержавіючі сталі і ін. Цей спосіб придатний також для нанесення покриттів на неметалічні матеріали – кераміку, бетон, тканини, графіт, пластмаси, картон, тощо.

Недоліками покриттів одержуваних методом розпилення, є їх пористість (навіть відносно товстих покриттів), недостатньо міцне зчеплення з поверхнею, що захищається, і порівняльно великі втрати металу. Зменшення пористості досягається шляхом застосування багат шарового покриття одним і тим же металом з метою перекриття пор.

Спосіб гарячого нанесення покриттів полягає в зануренні виробів в розплавлений метал. Можливості отримання покриття гарячим способом визначаються здатністю металу, що покривається, сплаватися з металом покриття з утворенням суцільного поверхневого шару. До числа недоліків цього способу відносяться: порівняльно велика витрата металу, що наноситься, нерівномірність покриття по товщині на виробках складного профілю, неможливість нанесення покриття на різьбу і ряд інших. Найбільш широко цей метод застосовується в промисловості для нанесення на вуглецеву сталь цинку, олова і свинцю.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Найдосконалішим способом захисту апаратів виготовлених з малостійких металів, корозійностійкими металами є плакування або облицьовування. Спосіб плакування полягає в тому, що на плиту основного металу накладають з обох боків листи іншого металу, потім весь пакет піддають гарячому прокату, одержуючи в результаті дифузії на границях розділу металів міцне зчеплення між серцевиною і плакованими шарами. У такий спосіб сталь плакують міддю, латунню, нікелем, мідно-нікелевими сплавами, алюмінієм, нержавіючою сталлю. Застосування біметалічних листів дозволяє захищати сталеву серцевину від корозії. Товщина плакованого шару, зазвичай, складає 8...20 % загальної товщини листа.

Плакування є одним з основних способів захисту від корозії легких сплавів на основі алюмінію, головним чином сплавів типу дюралюмінію. Плаковану сталь можна піддавати всім видам механічної обробки, зокрема штампуванню і зварюванню.

1.5. Особливості гальванічних покриттів

Процес гальванічного покриття повинен забезпечувати отримання дрібнокристалічного рівномірного шару необхідної товщини, що володіє мінімальною крихкістю, суцільністю, достатньою твердістю і має міцне зчеплення. Процес гальванічного покриття слід здійснювати безпосередньо після анодування та модифікації плівки, інакше навіть при високій якості плівки її армуюча дія знижується.

Процеси гальванічних покриттів це складні комплекси операцій з використанням різноманітного складного обладнання: автоматів, напіваавтоматів, барабанів, дзвонів, джерел струму, ванн з паровим, електричним та іншими підігрівачами об'ємом 1...50 м³ і більше.

Процес гальванічного покриття – це нанесення на провідні поверхні міцно з'єднуються з ними металевих опадів при проходженні електричного

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

струму через електроліти. Швидкість гальванічного осадження визначається щільністю струму на поверхні, що покривається. У процесі гальванічних покриттів товщина останнього вимірюється мікронами, а отже, геометрію оброблюваної поверхні можна вважати незмінною.

Анодні захисні покриття (цинкові і кадмієві) можуть захищати сталеві конструкції від корозії у воді (водопровідні труби) і в розчинах нейтральних солей або від атмосферної корозії (покрівельне залізо). В агресивніших умовах ефективність цинкових або кадмієвих покриттів невелика внаслідок високої розчинності цих металів.

Катодні покриття, що мають потенціал більш позитивний, ніж потенціал вуглецевої сталі, захищають сталь тільки механічно, поки покриття суцільне. З таких покриттів представляють інтерес нікелеві, хромові і свинцеві покриття. Нікелеві покриття володіють стійкістю в лужних середовищах і знайшли застосування для захисту ванн при електролізі води. Нікелеві і хромові покриття служать також хорошим захистом від атмосферної корозії.

Хром жаростійкий, має низький коефіцієнт тертя, високу твердість і володіє високою стійкістю на знос. Так зване пористе хромування використовується в хімічному машинобудуванні для збільшення терміну служби деталей, що піддаються дії високих температур або механічному зносу (наприклад, штоків компресорів високого тиску, штампів, матриць, прес-форм і т.п.).

Свинцеві покриття одержувані гальванічним шляхом, відрізняються великою чистотою і високою корозійною стійкістю. Свинець в гальванічній парі Fe - Pb є катодом. Він оберігає залізо від корозії, утворюючи щільне покриття тонкокристалічної структури. Має значення також високе перенапруження водню на свинці.

Перевагами гальванічного покриття є: рівномірний розподіл по поверхні виробу, що захищається, можливість отримання покриття заданої товщини і ін.). Недоліком є пористість покриття [21, 22].

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1.6. Висновок та постановка задачі

На сьогодні відомо декілька основних методів нанесення покриттів, які здатні забезпечити необхідні триботехнічні характеристики. Серед них широкого розповсюдження набув гальванічний метод нанесення покриття. Гальванічне нанесення тонкого захисного металевого шару на попередньо підготовлену поверхню металу, з використанням електрохімічних процесів, надає можливості покращити триботехнічні властивості деталей. Процес включає в себе:

- попередню обробку (очищення, знежирення, і інші підготовчі заходи);
- нанесення покриття;
- миття;
- пасивування;
- сушіння.

Очищення та попередня обробка передбачає використання різних розчинників (найчастіше хлориду вуглеводнів, використання яких не є безпечним) і поверхнево активних речовин, у тому числі каустичної соди і ряду сильних кислот, в залежності від виду металу на який буде нанесено покриття. Використання галогенованих вуглеводнів для знежирення у вигляді водних розчинів не є необхідним. У процесі нанесення гальванічного покриття, деталь зазвичай використовується як катод у електролітичній ванні. Гальванічні розчини це кислоти або луки, що можуть містити у собі комплексоутворюючі елементи, такі як ціаніди [21, 22]. Тому використання цього методу для нанесення триботехнічного покриття не є прийнятним з точки зору екологічної безпеки. Виходячи із зазначених умов, постає питання використання екологічно безпечних методів нанесення покриття. Одним з них є вакуумно-дуговий метод. Ці покриття характеризуються високою адгезією і твердістю (HV 1800 ... 8000), стійкістю до зносу тертям, до впливу повітряного атмосфери і агресивних середовищ, стійкістю до ерозії під впливом кавітації, парокрапельних, газових

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

і пилових потоків [23]. Покриття формуються шляхом конденсації металу з плазмових потоків, що генеруються катодними плямами вакуумно-дугових розрядів в умовах бомбардування іонами матеріалу, на який наноситься покриття. Вакуумно-дугові покриття забезпечують високу міцність зчеплення з підкладкою (до 25 кгс/мм²), що істотно перевищує адгезійні характеристики покриттів, одержаних гальванічними та іншими традиційними методами. Технологія їх нанесення екологічно забезпечена, а спектр функціональних властивостей достатньо широкий.

Метою даної роботи є порівняння триботехнічних характеристик титанового сплаву Grade23 (із нанесеними покриттями гальванічним методом та вакуумно-дуговим) в умовах тертя ковзання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити основні завдання:

- проведення досліджень сплаву Grade23 та вибраних покриттів на фретингостійкість;
- проведення досліджень сплаву Grade23 та вибраних покриттів на зносостійкість при терті ковзання в середовищі гідравлічної рідини АГТ;
- вивчення та аналіз особливостей формування шляху тертя сплаву Grade23 при обраних навантаженнях.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Титан поділяється на дві основні категорії: технічно чисті марки та марки титанових сплавів. Категорії титанових сплавів включають альфа-титан, бета-титан і альфа-бета-титан, які відповідають різним структурним фазам матеріалу. Технічно чисті марки класифікуються як марки від 1 до 4. Кожна марка демонструє чіткі відмінності в допустимих межах вмісту елементів і рівнях міцності.

На сьогодні широке застосування знаходять сплави технічно чистого титану від 1 до 4 марки. З них виготовляють обшивку планера літака, теплообмінники, криогенні посудини, компоненти для обладнання, трубки конденсатора, кожухи вихлопних труб, та деякі деталі, що працюють в умовах тертя ковзання.

У даній роботі було досліджено поведінку Grade 23 під впливом роботи в умовах тертя ковзання, та вплив на таких умов на можливі зміцнюючі покриття. Титан Grade23 подібний до Grade5, але має менший вміст кисню, азоту та заліза. Він має кращу пластичність і міцність на розрив, ніж титан Grade 5.

2.1. Зносостійких покриття, їх характеристика та призначення

Титанові сплави задовольняють умовам роботи в різних робочих умовах з точки зору втомної міцності, але вони мають низьку зносостійкість. Тому постає питання вибору покриттів, що забезпечуватимуть вищі показники зносостійкості, а інколи і відновлення деталей [17].

Серед них до числа найбільш перспективних слід віднести надтверді покриття. В процесі зношування при терті ковзання, коли реалізуються втомне, корозійне, адгезійне, ерозійне або інші види поверхневих ушкоджень, важливу

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роль відіграють структура і фізико-механічні властивості тонкого приповерхневого шару покриття, від яких залежить характер динамічних структур, що формуються в умовах тертя, механізми руйнування і кінетика зношування. Структура та триботехнічні властивості можуть бути оптимізовані, виходячи з необхідної працездатності поверхонь що труться для заданих умов зношування, за рахунок правильного призначення метод отримання покриття і вибору параметрів технологічного процесу його нанесення. Враховуючи комплекс основних вимог до покриттів: забезпечення високої міцності, твердості, стійкості до трибоокиснення припустимої поруватості, міцності зчеплення з основним матеріалом, малої схильності до адгезійних взаємодій, в першу чергу необхідно застосовувати способи модифікуючого поверхневого зміцнення, що дозволяють отримувати ефективності покриття [21...24].

При виборі конкретного покриття, окрім вимог забезпечення працездатності необхідно також урахувати технологічну, економічну і екологічну оцінку разом з технічними можливостями обладнання. На сьогодні відомо декілька основних методів нанесення покриттів, які здатні забезпечити необхідні триботехнічні характеристики. Серед них широкого розповсюдження набув гальванічний метод нанесення покриття. Гальванічне покриття передбачає нанесення тонкого захисного шару (як правило, металевого) на попередньо підготовлену поверхню металу, з використанням електрохімічних процесів. Процес включає в себе попередню обробку (очищення, знежирення, і інші підготовчі заходи), нанесення покриття, миття, пасивування і сушіння. Очищення та попередня обробка передбачає використання різних розчинників (найчастіше хлориду вуглеводнів, використання яких не є безпечним) і поверхнево активних речовин, у тому числі каустичної соди і ряду сильних кислот, в залежності від виду металу на який буде нанесено покриття. Використання галогенованих вуглеводнів для знежирення у вигляді водних розчинів не є необхідним. У процесі нанесення гальванічного покриття, деталь

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

зазвичай використовується як катод у електролітичній ванні. Гальванічні розчини це кислоти або луги, що можуть містити у собі комплексоутворюючі елементи, такі як ціаніди [21]. Тому використання цього методу для нанесення тиботехнічного покриття не є прийнятним з точки зору екологічної безпеки. Виходячи із зазначених умов, постає питання використання екологічно безпечних методів нанесення покриття. Одним з них є вакуумно-дуговий метод. Ці покриття характеризуються високою адгезією і твердістю (HV 1800 ... 8000), стійкістю до зносу тертям, до впливу повітряного атмосфери і агресивних середовищ, стійкістю до ерозії під впливом кавітації, парокрапельних, газових і пилових потоків [24]. Покриття формуються шляхом конденсації металу з плазмових потоків, що генеруються катодними плямами вакуумно-дугових розрядів в умовах бомбардування іонами матеріалу, на який наноситься покриття. Вакуумно-дугові покриття забезпечують високу міцність зчеплення з підкладкою (до 25 кгс/мм²), що істотно перевищує адгезійні характеристики покриттів, одержаних гальванічними та іншими традиційними методами. Технологія їх нанесення екологічно забезпечена, а спектр функціональних властивостей достатньо широкий [23, 24].

2.2. Різновиди електролітів для хромування

З усіх типів електролітів, які використовуються в гальванічному виробництві, для хромування найбільш поширеними є сульфатні, які часто називають універсальними. Ці електроліти досить стабільні в роботі і менш агресивні, ніж саморегулюючі сульфатно-кремнефторидні. Основними компонентами сульфатних електролітів є хромовий ангідрид і сірчана кислота. Назву ці електроліти отримали через наявність у них сульфату, як єдиного аніона-каталізатора. Склад хромового ангідриду в сульфатних електролітах може змінюватися в широких межах від 100 до 500 г/л. Сірчана кислота вводиться в електроліт в кількості, необхідній для підтримки співвідношення

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

концентрацій $CrO_4:H_2SO_4 = 100:1$ (за масою). При такому співвідношенні досягається найбільш високий вихід по струму.

У сульфатних електролітах зміст тривалентного хрому повинен підтримуватися в кількості 2...5 г/л (1...2 % від вмісту хромового ангідриду). Відсутність тривалентного хрому або перевищення зазначеної концентрації може призводити до погіршення якості і властивостей хромових. Залежно від концентрації хромового ангідриду сульфатні електроліти поділяються на розбавлені, стандартні і концентровані.

Розбавлений електроліт, який містить хромований ангідрид 130...175 г/л і сірчаної кислоти 1,3...1,75 г/л характеризується найкращою розсіючою здатністю електролітів і найбільша твердість осаджень. Схильність до виникнення шерохватих осаджень при осадженні товстих шарів. Електроліт нестійкий за складом – достатньо швидко міняється відношення $CrO_3:H_2SO_4$. Вихід за струмом 16...18 %.

Стандартний електроліт, який містить хромового ангідриду 220...250 г/л і сірчаної кислоти 2,2...2,5 г/л характеризується середньою розсіючою здатністю. Вихід за струмом складає 12...14 %. Одержання блискучих, твердих осаджень за рахунок широкого інтервалу щільності струму. Коливання у відношенні $CrO_3:H_2SO_4$ незначне.

Концентрований електроліт, який містить хромового ангідриду 275...300 г/л і сірчаної кислоти 2,75...3 г/л характеризується найнижчою розсіючою здатністю. Вихід за струмом 8...10%. Електроліт найбільш стійкий за складом. Осад виходить блискучий в широкому інтервалі щільності струму і відрізняються найменшою твердістю.

Слід підкреслити, що до приведених в літературі величин виходів по струму хрому не можуть бути абсолютно достовірним. Справа в тому, що надійні дані виходів за струмом можна отримати тільки за умови розподілу осаду на поверхні катода по товщині, близькому до ідеального. Електроліти хромування володіють найгіршою розсіючою здатністю з усіх відомих

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

сьогодні електролітів. Тому отримання рівномірних по товщині хромових покриттів дуже складна проблема. Крім того, часто погано ізольовані контакти або непокриті хромом місця на досліджуваних зразках, на яких реалізується низька щільність струму, піддаються травленню навіть при катодній поляризації. А це також може бути джерелом помилкових результатів при визначенні виходу по струму хрому. У той же час загальні закономірності (залежності) зміни виходів за струмом від різних умов, які будуть наведені нижче, без сумніву достовірні.

До переваг концентрованих електролітів відноситься їх більш висока електропровідність, а отже, можливість проводити процес при більш низькій напрузі на ванні, ніж при використанні розбавлених електролітів, і вести електроосадження (наприклад, блискучих покриттів) при знижених щільності струму. Все це призводить до економії електроенергії.

До недоліків концентрованих електролітів в першу чергу відноситься їх «неекологічність»: чим вище в них концентрація Cr, тим більша кількість токсичних сполук хрому виноситься з деталями в стічні води, тим більше проблем з їх очищенням і витрат на неї.

Переваги розбавлених електролітів насамперед у тому, що вони вимагають менших витрат при очищенні стічних вод і при знешкодженні відпрацьованих електролітів, а також у тому, що при одних тих же умовах з більш розбавлених електролітів осідають більш тверді і зносостійкі покриття з більш високим виходом по струму.

До недоліків розбавлених електролітів відноситься їх низька електропровідність, що може призвести до необхідності використання більш високовольтних, ніж зазвичай, джерел струму і до більшої витрати електроенергії. Великі втрати в розбавлених електролітах призводять до їх нагрівання і до необхідності охолодження, а отже, до збільшення витрат.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2.3. Підготовка поверхні до хромування

Підготовка деталей перед хромуванням складається з наступних послідовно виконуваних операцій:

Механічна обробка перед хромуванням (як правило, це шліфування) проводиться як для отримання деталей, що відповідають потрібним геометричним розмірам, так і для видалення задирок, рисок, раковин, нерівностей поверхні і додання їй необхідної гладкості [25]. Останнє має особливе значення у зв'язку з тим, що при збільшенні товщини хрому зростає шорсткість поверхні покриття. Хромове покриття товщиною 0,08...0,1 мм має в 1,5...2 рази більшу шорсткість, ніж вихідна поверхня, що покривається. Збільшення шорсткості призводить також до зниження твердості покриття і збільшення його пористості.

Для шліфування застосовують шліфувальні круги з різною зернистістю.

При механічній обробці сталевих деталей з твердістю більше 35 HRC особливо важливо дотримуватися рекомендований режим шліфування, щоб запобігти виникненню припалень і шліфувальних тріщин. Після нанесення зносостійких, відносно товстих хромових покриттів у місцях припалень можливо відшаровування або взагалі відсутність осаду. Наявність тріщин призводить до різкого зниження міцності, а іноді й до руйнування деталей.

Отримання високоблискучих покриттів при нанесенні тришарового декоративно-захисного покриття мідь-нікель-хром поверхню деталей бажано попередньо відполірувати. Полірування проводять на тих же станках, що і шліфування. Використовують тканинні кола з нанесеними на їх робочу поверхню полірувальними пастами. До складу цих паст входять тонкі абразивні порошки із зернистістю, що постійно змінюють [27].

Перед нанесенням хромового покриття проводиться термічна обробка. Температура термічної обробки повинна бути на 10...20 °С нижче температури

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

відпуску для даного типу сталей. Відпуск для зняття залишкових напруг після шліфування деталей з високоміцних сталей.

Якщо перед хромуванням застосовували методи зміцнюючої обробки (накочування роликками тощо), необхідність у проведенні відпуску відпадає [22].

Якщо деталі мають відкриті отвори, що не повинні хромуватись, то ці отвори заповнюють якимось стійким в електроліті матеріалом – свинцем, текстолітом, фторопластом або ретельно ізолюють лаком. У різьбові отвори вгвинчують металічні або пластикові штифти зі шліцьованою канавкою.

Найбільш переважно заповнювати непокриваючі отвори електропровідним матеріалом, наприклад, свинцем. У цьому випадку лінії струму будуть рівномірно розподілятися по всій металевій поверхні, не будуть концентруватися на межі «метал-свинець», а отже товщина покриття на межі металу зі свинцем не відрізнятиметься від товщини покриття на решті поверхні (рисунок 2.1 а). Якщо отвір буде заповнено неелектропровідним матеріалом, то на кордоні буде підвищена концентрація ліній струму, а, отже, підвищена щільність струму, більш вища, ніж на решті поверхні вихід по струму і, отже, велика товщина покриття (рисунок 2.1 б).

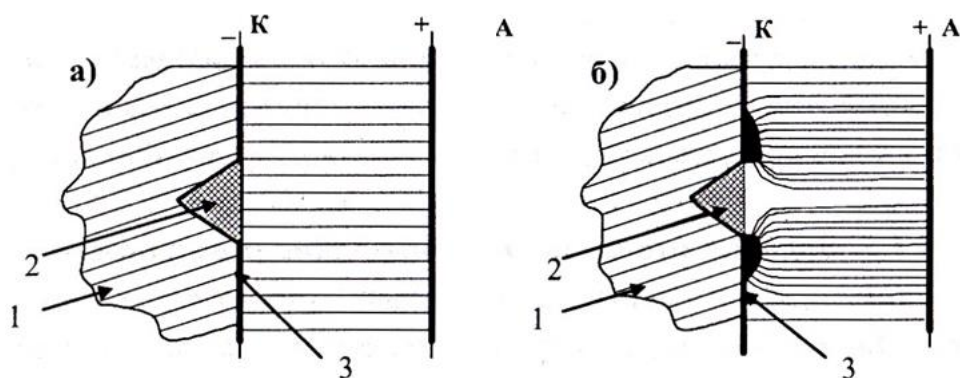


Рисунок 2.1 – Силві лінії (лінії струму) по поверхні деталі, що має заглиблення:

а – поглиблення заповнене електропровідним матеріалом;

б – поглиблення заповнене неелектропровідних матеріалом.

1 – катод; 2 – поглиблення; 3 – покриття

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Ізоляційні матеріали, мають органічну природу, можуть окислюватися при тривалому знаходженні в гарячому хромо-кислому електроліті і забруднювати його домішками, у тому числі і з'єднаннями тривалентного хрому. Тому ізоляційні матеріали, що застосовуються при товстошаровому зносостійкому хромуванні, повинні бути хімічно стійкими в лужних обезжирюючих розчинах і повинні витримувати електроліз в сильно кислому хромовому електроліті при температурах 50...70 °С протягом тривалого часу, не руйнуючись і не окисляючись.

При хромуванні на деталі подаються струми значної величини, тому повинен бути забезпечений надійний і жорсткий контакт як підвісок зі штангами, так і деталей з підвісками. Деталі з покриттям повинні кріпитися на двох контактних гачках або на одному, але широкому гачку. Поверхні контакту підвіски з деталями і шиною перед хромуванням слід ретельно зачищати шкідливою з подальшим очищенням. Перетини струмоведучих елементів повинні бути досить великими, щоб виключити їх перегрів. Всі поверхні підвіски, крім контактів і «захисних» (додаткових) катодів, повинні бути заізольовані для усунення витоку струму.

Деталі слід розташовувати на підвісці так, щоб зтікання розчину відбувалося в основному з кута або з ребра нижньої частини деталі. Це дозволить збільшити швидкість стікання розчину на 10...20 % (залежно від конфігурації деталей), зменшити залишкову кількість розчину на деталях і, відповідно, зменшити винос розчину з ванни.

Правильний монтаж деталей на підвісках повинен сприяти отриманню рівномірного по товщині і хорошій якості. Деталі, у яких хромується зовнішня поверхня, не повинні екранувати один одного. На одну підвіску треба завішувати деталі однієї форми і одного розміру, переважно в одній площині. При завішуванні деталей на підвісці в двох площинах деталі одній площині повинні розташовуватися напроти зазору між деталями в іншій площині. Зазор

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

між площинами повинен бути по можливості досить великим. Такий спосіб завішування можна застосовувати в тому випадку, коли розміри покриваючих деталей невеликі в порівнянні з зазорами між площинами або коли якість покриття на зворотному боці деталі не регламентується.

Деталі, що мають поглиблення або порожнини, в яких може скупчуватися водень і перешкоджати осадженню хрому, завішують в такому положенні, щоб газ міг вільно віддалятися. Якщо надати деталі такий стан, її слід періодично перевертати або струшувати.

Деталі з глибокими виїмками, а також деталі, у яких покривається внутрішня поверхня, повинні хромуватись з додатковими анодами (рисунк2.2). При хромуванні внутрішньої поверхні циліндричних деталей аноди зміцнюються на тій же підвісці, на якій змонтована деталь, згідно з хромованою поверхнею циліндра і ізолюються від неї.

Вибір способу знежирення визначається ступенем забруднення, а також природою основи хромованої деталі та умовами її експлуатації і не відрізняється від способів знежирення, застосовуваних в інших гальванічних процесах [17].

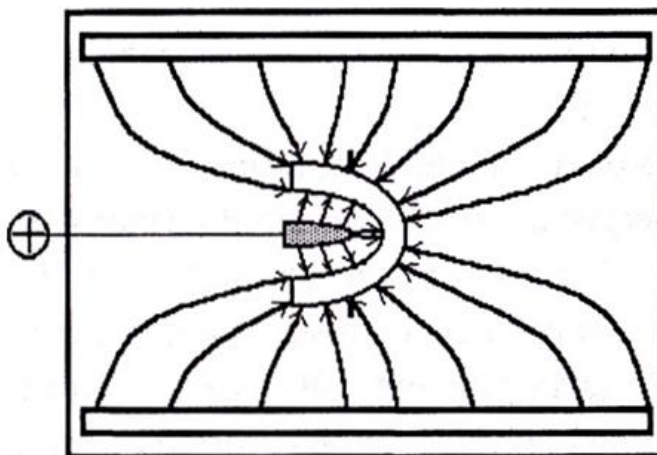


Рисунок 2.2 – Розташування силових ліній у ванні з напівкруглої деталлю і допоміжним анодом

Деталі, що підлягають зносостійкого хромування, як правило, знежирюють електролітично. Для деталей з високоміцних сталей катодне знежирення неприпустимо. У цьому випадку застосовується анодна знежирення або знежирення хімічним способом. Поверхня деталей після знежирення повинна добре змочуватись водою. Після знежирення деталі промивають в гарячій або теплій воді.

2.4. Обробка після хромування

Після хромування деталі промиваються у ванні з непроточною водою для уловлювання електроліту, потім у проточній холодній і гарячій воді і сушать. Залежно від вимоги до покриття і основного металу деталі після хромування піддаються механічній і термічній обробці.

Деталі, які не можна хромувати в межах допуску («в розмір»), піддають шліфуванню. Ця операція крім додання хромованої поверхні правильної форми і розмірів повинна розглядатися як надійний контроль міцності зчеплення покриття з основою. Абразивне шліфування надає значний механічний і термічний вплив на поверхневий шар покриття, в результаті чого змінюється його мікротвердість, пористість, шорсткість, напружений стан. Збільшення припуску, що знімається не впливає на шорсткість покриття, але зменшує його мікротвердість і збільшує пористість. При збільшенні припуску, що знімається 0,01...0,15 мм, мікротвердість відповідно зменшилася на 5 і 25 %, а пористість зросла від 2 до 200 пор/мм² [12]. Суттєво впливає на якість покриття інтенсивність подачі охолоджуючої рідини. При нестачі її подачі шорсткість покриття збільшується приблизно в 3 рази, мікротвердість зменшується на 11 %, пористість зростає в 2,5 рази в порівнянні з шліфуванням при рясній подачі охолоджуючої рідини .

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Якість покриття залежить також від характеристики абразивного круга та режиму шліфування. Враховуючи вплив усього комплексу факторів шліфування рекомендується проводити кругле зовнішнє шліфування хромових покриттів, використовуючи круги з електрокорунду. При обробці внутрішніх поверхонь із застосуванням режимів зовнішнього шліфування спостерігається менша зміна властивостей покриття, ніж при зовнішньому шліфуванні. Загартовані деталі після шліфування (перед і після хромування) повинні проходити магнітний контроль для виявлення тріщин.

Деталі з високоміцних сталей після хромування піддаються термообробці для знеуглецювання. Деталі завантажуються в масляну ванну і витримуються при 200...230 °С протягом 3 год. Для цієї мети застосовується циліндрове масло 38 або суїт. По закінченні нагрівання деталі охолоджують на повітрі до 40...50 °С і залишки вузького циліндрового масла видаляються промиванням веретенним маслом. Після шліфування хрому деталі знову термічно обробляють в сушильній шафі при 200...230 °С протягом 3 год. Така обробка спільно з поверхневим зміцненням деталей перед хромуванням усуває негативний вплив хромування на механічні властивості високоміцних сталей. У разі багаторазового хромування деталей з високоміцних сталей вони також повинні піддаватися триразовій термообробці при кожному хромуванні [26].

Усунення течі через пори хромованого покриття в гідравлічних циліндрах досягається алмазним вигладжуванням хромованого покриття, при якому наскрізні канали в ньому ущільнюються і перекриваються.

2.5. Особливості вакуумно-дугового напилення

Використання вакууму сприяє найбільш повному прояву властивостей речовини в розрідженому стані відіграє активну роль, забезпечуючи чистоту отриманих матеріалів.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Вакуум є активним захисним середовищем, запобігає окисленню металу навколишньою атмосферою, знижує кількість шкідливих домішок в оброблюваних матеріалах завдяки дегазації, видалення різних домішок, термічного розпаду шкідливих сполук і т. д.

Метод вакуумно-дугового напилення покриттів має певні складнощі у своїй технології. Технологія включає підготовку інструменту перед нанесенням покриття та ряд послідовних операцій, що обираються залежно від матеріалу, форми деталі і її поверхні, розмірів, матеріалу покриття.

Перед виконанням нанесення покриття варто ретельно підійти до очистки самого інструменту, щоб він не містив тріщин, залишків окалини, налипання інших речовин, мав відповідну шорсткість поверхні, тому що все це дуже впливає на властивості майбутнього покриття.

Потужне розпилення (руйнування) матеріалу катода і висока концентрація парів металу виникають через високу температуру в плямі матеріалу. Щільність енергії в катодній плямі настільки висока, що дозволяє випаровувати різні електропровідні матеріали навіть тугоплавкі метали. Випаровування проходить під впливом дугового розряду.

Відбувається генерація робочої речовини з катода у вигляді потоків іонізуючих, які виникають в плямах в реактивних газах. Після чого вони осідають на підложку, що містить сполуки, утворені внаслідок реакцій матеріалу катода з газами.

Схема установки для нанесення вакуумно-дугових покриттів Булат-6 відображена на рисунку 2.3.

Вакуумно-дуговий розряд – це потужний струмовий, самостійний розряд, що виникає в замкнутому просторі у випарах матеріалу катода. Катодна пляма – це емісійний центр розряду. Вона характеризується малим розміром – це джерело первинних електронів, що є основою стовпа дуги.

Її використано при нанесенні трибостійкої хромових покриттів у нашій роботі. Вона призначена для нанесення захисних покриттів з металів та їх

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

нітридів. Використовується, найпоширеніше, для формування зносостійких покриттів на деталях гідропріладів, паливних насосів та прецизійних вузлах тертя.

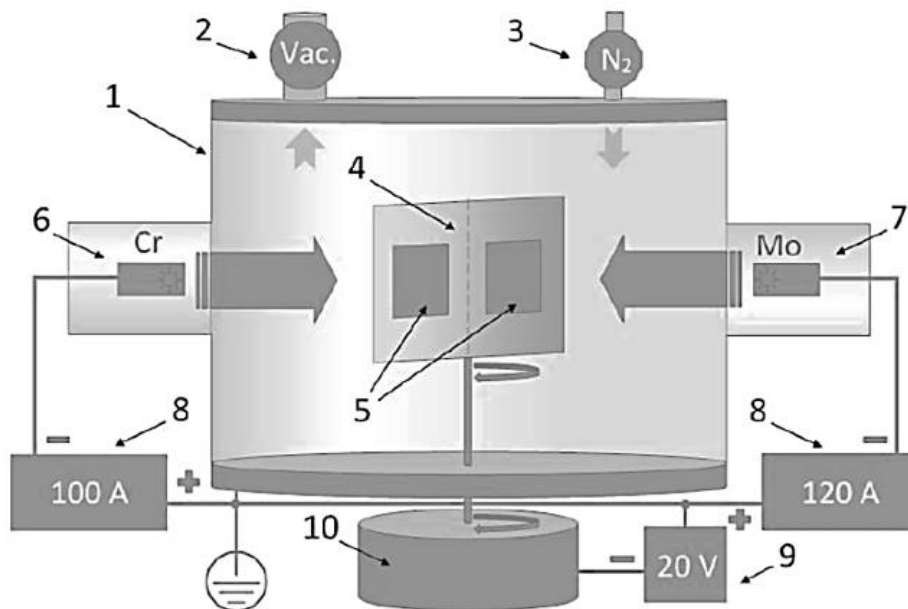


Рисунок 2.3 – Схема установки для вакуумно-дугового напилення хромових покриттів:

- 1 – камера високого вакууму,
- 2 – вакуумний насос, 3 – подача азоту,
- 4 – кріплення підложки,
- 5 – підложка,
- 6 – катод хромовий,
- 7 – катод молібденовий,
- 8 – джерела живлення,
- 9 – блок живлення,
- 10 – автоматична система обертання для тримача підкладки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 1324.00.000 ПЗ

Арк.

34

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Характеристика досліджуваного сплаву

Титанові сплави класу Grade 23 - це уклад титанових сплавів, що відноситься до «універсальних» сплавів. Їх використання визначається дуже високою стійкістю до корозії в сильно окисних і відновних середовищах, включаючи хлориди. Окрім того, він володіє дуже високою твердістю та невисокою вагою. Титан Grade 23 має найвище допустиме значення напружень у порівнянні з усіма технічно чистими сортами титану. Його використання можливе в безперервних умовах експлуатації в діапазоні температур до 425 °С або в умовах періодичної роботи при температурах 540 °С. Ці сплави добре піддаються зварюванню. Обробляються гарячим і холодним штампуванням, володіє хорошою ударною в'язкістю за низьких температур.

Сплав було обрано, як один з найбільш доречних для виготовлення деталей, що можуть працювати у складних умовах та під дією питомих навантажень до 30 МПа та в середовищі гідравлічної рідини, а з нанесеним покриттям можуть бути використані в деталях тертя.

Виготовлення деталей прецизійних вузлів тертя та гідравлічних насосів авіаційної техніки завжди потребує міцних і придатних до складних умов роботи матеріалів, тому для дослідження було обрано саме Grade23 з нанесеним на нього хромовим покриттям.

Хімічний склад та властивості сплаву надано у таблиці 3.1 та 3.2..

Титан вважається найкращим матеріалом для багатьох випадків критичного застосування через поєднання його властивостей: високої міцності, невеликої ваги, стійкості корозії.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 3.1 – Хімічний склад Grade23

Елемент	C	N	O	H	V	Al	Fe
Вміст, %	0,08	0.03	0,13	0,0125	3,5...4,5	5,5...6.5	0,25

Таблиця 3.2 – Механічні властивості Grade23

Межа міцності, σ_B	860 МПа
Межа текучості, σ_T	790 МПа
Відносне видовження, δ	15 %
Твердість HB	326
Твердість HRC	35
Твердість, HV	341
Модуль Юнга, ГПа	113...120
Межа пружності, МПа	880...1000

В таблиці 3.1 надано міст елементів в межах максимально дозволеного, основа сплаву – Ti.

Легування V та Al надає сплаву особливостей щодо оброблюваності різними видами технологічної обробки.



а



б

Рисунок 3.1 – Поверхня литого титанового сплаву (а), вакуумно-дугового покриття (б). $\times 80$

На рисунку 3.1 зображено сплав після лиття у необробленому вигляді без покриття. Фото зразків з покриття не було зроблено.

Титанові сплави володіють алотропними перетвореннями, тобто відбуваються різноманітні зміни в мікроструктурі через перебудову ґратки. Властивості титанових сплавів на пряму залежать від їх кристалічної структури, тобто від того яка вона: двофазна ($\alpha + \beta$) чи однофазна (α або β). Як і для усіх металевих сплавів це формує комплекс властивостей та визначає групу і марку сплаву.

Найбільш використовуваним сплавом є сплав типу $\alpha + \beta$, що містить у своєму складі Ti, Al та V. Ці сплави найкраще піддаються різним видам обробки та виробництва. Найчастіше такі сплави піддають термічній обробці типу відпал і також вони мають низьку прогартуваність. Зазвичай титанові сплави виготовляють у литому стані, у тому ж числі і технічно чистий титан. Легують титанові сплави хромом, нікелем, алюмінієм, оловом, ніобієм, ванадієм.

За призначенням їх поділяють на три групи: високоміцні титанові сплави, корозійностійкі титанові сплави та жаростійкі титанові сплави. За структурою їх теж поділяють на три типи: $\alpha + \beta$, α -сплави та β -сплави.

3.2. Методика проведення досліджень

Щоб провести дослідження на поведінку матеріалу в умовах фретинг-корозії потрібно виконати наступні умови;

– імітація фретинг-корозії в лабораторних умовах повинна максимально наближатися до умов виникнення цього виду поверхневого руйнування в реальних конструкціях;

– вибрана методика повинна бути такою, щоб можна було співставити одержані результати з даними інших робіт.

До випробувальних пристроїв, у зв'язку із специфікою виникнення фретингу і фретинг-корозії, пред'являються наступні вимоги:

- вільні від люфтів кріплення зразків в затискних пристроях;
- жорсткість до кручення і мала деформованість пристрою;

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- наявність вібропроковзуючого руху регульованої частоти і амплітуди;
- наявність контрольованої нормальної сили для створення необхідного тиску в контакті;

- можливість підведення маститльного матеріалу або іншого середовища.

Випробування на фретинг-корозію проводилися на установці, яка імітує вібрацію МФК-1 за схемою контакту площина-площина. Сутність методу полягає в тому, що циліндричний рухливий зразок, що стикається торцем з нерухомим циліндричним зразком при заданому навантаженні, приводиться в зворотно-обертальний рух із заданими амплітудою і частотою.

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.

Схема контакту площина-площина використана на установці типа МФК - 1, загальний вид якої показаний на рисунок 3.2.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд установки МФК-1 для випробувань на фретинг-корозію

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Основними перевагами методу є:

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

Суть методу полягає в тому, що рухомий циліндричний зразок (контрзразок), дотичний торцем з нерухомим циліндричним зразком при заданому тиску 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 для проведення дослідження приведена на рисунку 3.3. 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

					МП 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

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

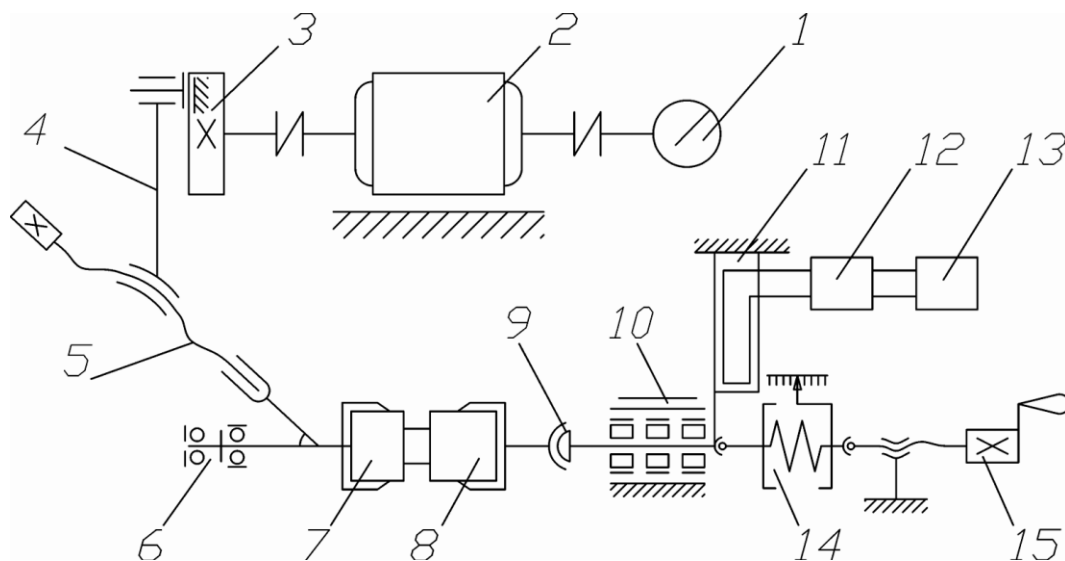


Рисунок 3.3 – Схема установки МФК-1:

- 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.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Знос зразка h_j визначаємо за формулою

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

де: h_j – відстань на профілограмі доріжки тертя між середніми лініями профілю початкової і робочої поверхонь згідно ГОСТ 23.211-80.

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

3.3. Випробувань матеріалів та покриттів при контактному торцевому терті ковзанню

Для дослідження особливостей тертя в умовах ковзання використовувалася машина тертя, виконана для вивчення ковзання площин [29].

Установка дозволяє дотримуватись наступних вимог:

- моделювання кінематичних та геометричних параметрів;
- підтримувати гідравлічну рідину в дослідній камері близько до аналогічних параметрів середовища в робочому вузлі;
- широкий діапазон швидко-навантажувальних та температурних режимів.

Параметри, такі як питома навантаження, швидкість відносного переміщення тіл що труться, температура, наявність гідравлічної рідини складають основну групу факторів, які в умовах тертя визначають коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування матеріалів [30].

Загальний вид та принципова схема установки представлено на рисунку 3.4.

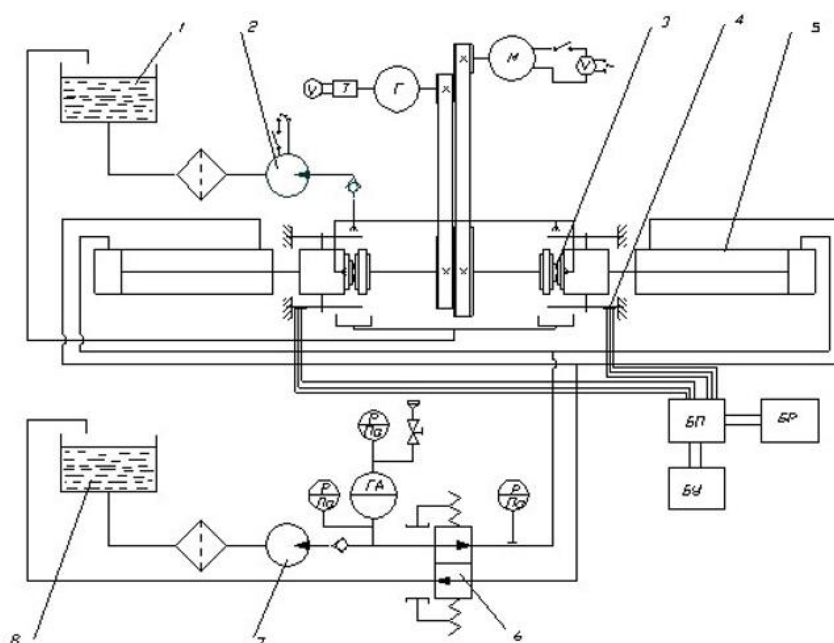
Машина тертя дозволяє досліджувати:

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- зношування, мастильну дію та ін;
- вимірювати температуру тіла поблизу зони тертя;
- вимірювати температуру масла, яка потрапляє у зону тертя або знаходиться поблизу неї.



а



б

Рисунок 3.5 – Загальний вид та принципова схема установки для дослідження пар тертя:

а – загальний вигляд, б – принципова схема

Ескізи зразка і контрзразка представлено на рисунок 3.6.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

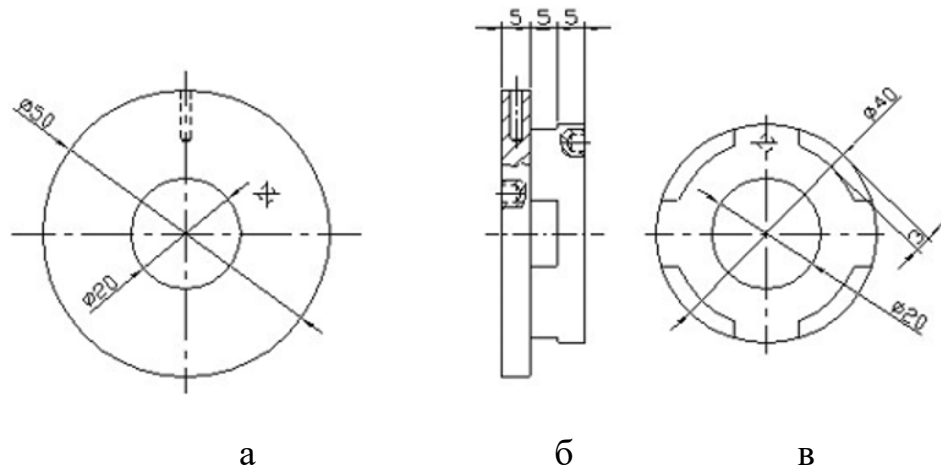


Рисунок 3.6:

а, б – контрзразок

в – розташування зразків в процесі дослідження

Використання обох установок дозволило оцінити процес зношування зразків та можливість ураження фретингом.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Лінійний знос досліджуваних зразків зі сплаву Grade 23

В якості зразків для напилювання плазмових покриттів, використовувалися циліндричні ролики діаметром 20 мм, виготовлені з титанового сплаву Grade 23. Контрзразок в усіх випробуваннях виконаний зі сталі 95X18 із твердістю HRC 45...50 одиниць.

В дослідженнях використовувалися зразки з покриттям та матеріали без покриттів. Покриття наносилися вакуумно-дуговим методом та електролітичним способом. Товщина досліджуваних покриттів представлена в таблиці 1.

Таблиця 4.1 – Товщина покриттів

Матеріал основи	Вакуумно-дугове покриття	Електролітичний хром
Grade 23	95...220 мкм	12...24 мкм

Дослідження у вивченні зміни лінійного зносу та інтенсивності зношування покриттів проводилися в середовищі гідравлічної рідини АГТ. Вимірювався знос нерухомого зразка за задану кількість циклів, за значенням якого визначається зносостійкість матеріалу, який досліджувався. Для більшої вірогідності одержаних результатів, використовували на одну гістограму, не менш як по три випробувань.

Результати випробувань фретингостійкості вакуумно-дугових та електролітичного покриттів приведені на рисунку 4.1, та в таблиці 4.2.

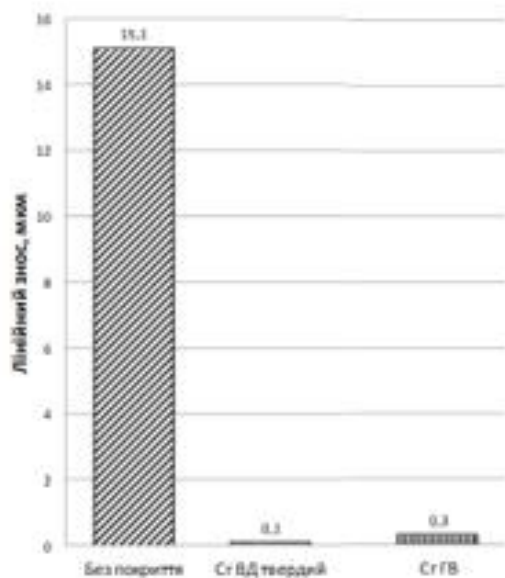
Фактичний знос гальванічного покриття хрому при випробуваннях в 30 МПа знаходиться близько 1 мкм. У випадку матеріалу основи сплаву

Grade 23 лінійний знос покриття хрому 1 мкм з виривами в декількох місцях глибиною до 20 мкм.

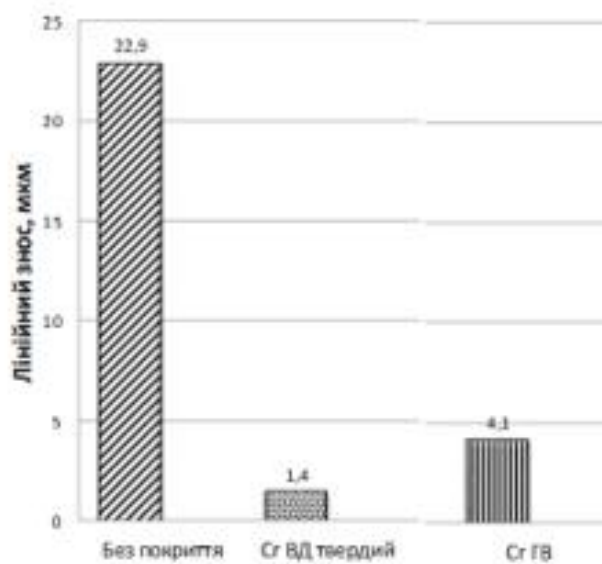
Таблиця 4.2 – Лінійний знос випробованих покриттів в умовах фретинг-корозії

Матеріал основи	Навантаження МПа	Покриття	Характер зношування	Знос зразка мкм
Grade 3	20 МПа	-	рівномірний	15,1 мкм
		Cr _{ТВ}	рівномірний	близько 0,1 мкм
		Cr _{ел}	рівномірний	близько 0,3 мкм
	30 МПа	-	рівномірний	22,9 мкм
		Cr _{ТВ}	рівномірний	1,4 мкм
		Cr _{ел}	вириви	4,1* мкм

Чим більше навантаження, тим більшим є знос покриття нанесеного гальванічним методом, зірочка біля значення відмічає, що в покритті присутні вириви основного металу.



а



б

Рисунок 4.1 – Залежність лінійного зносу покриттів на сплаві Grade 23 при навантаженні в 20 МПа (а) та 30 МПа (б).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Спостерігаючи за результатами, відмічено, що чистий сплав, без покриття, зношується катастрофічно, разом з тим, гальванічне покриття зношується менше при навантаженні 20 МПа, коли ж при 30 МПа, його знос у декілька разів перевищує знос вакуумно-дугового покриття.

4.2. Розвиток фретинг-корозії під час тертя ковзання

На рисунку 4.2 показано макрофотографію поверхні доріжки зносу з місцями вириву основного металу.



а

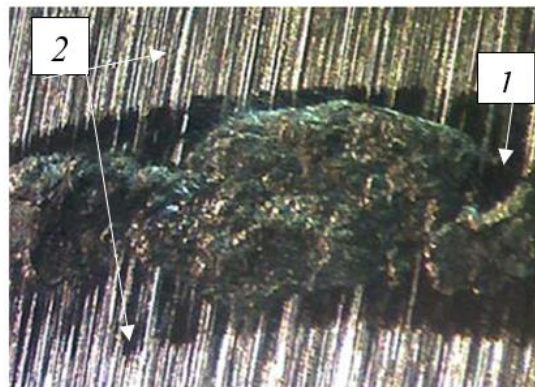


Рисунок 4.2 – Вириви гальванічного покриття при навантаженні в 30 МПа. $\times 56$:

1 – вириви,

2 – основний метал

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 1324.00.000 ПЗ

Арк.

47

Залежність лінійного зносу вакуумно-дугових та електролітичного покриттів при навантаженні в 30 МПа, з урахуванням фактичного зносу гальванічного покриття хрому показує на те, що відбувається катастрофічний знос. Особливо при збільшенні часу тертя (рисунок 4.3). Під час цього зношується не лише покриття, а й сам основний метал, утворюються вириви та ямки, які накопичують залишки продуктів тертя, та розігріваючись, залипають і утворюють своєрідні згустки.

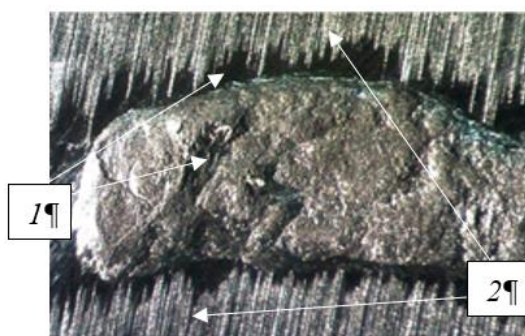
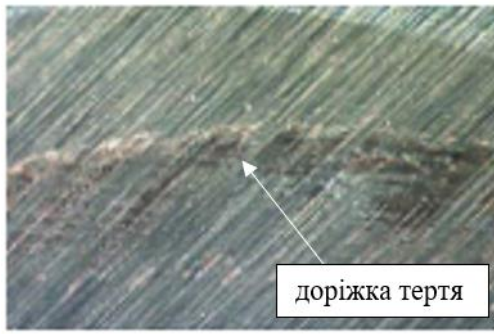


Рисунок 4.3 – Недопустимий знос Grade 23 при навантаженні в 30 МПа. $\times 56$:

- 1 – вириви,
- 2 – основний метал

Аналізуючи зносостійкість матеріалу Grade 23, та покриттів в умовах фретинг-корозії в середовищі гідравлічної рідини відмічено, що гальванічне покриття з товщиною 10...25 мкм показало найбільш зносостійкі характеристики, як при випробуваннях в 20 МПа, так і при випробуваннях в 30 МПа. Доріжки тертя цього покриття залишалися практично гладкі по всьому контакту контрзразка (рисунок 4.4, рисунок 4.5). Лише при навантаженнях 30 МПа в деяких місцях контакту відбувалися вириви гальванічного покриття хрому внаслідок захоплення з контртілом. Глибина виривів змінюється залежно від часу випробувань.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



а

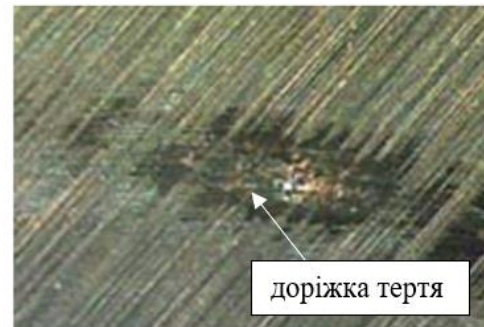


б

Рисунок 4.4 – Ознаки зношування при навантаженнях в 20 МПа (а, б). $\times 28$



а



б

Рисунок 4.5 – Ознаки зношування при навантаженнях в 30 МПа (а, б). $\times 28$

Якщо відбувається знос гальванічного покриття хрому на титановому сплаві Grade 23, то різко збільшується інтенсивність зношування матеріалу за рахунок підвищеної дії титанового сплаву до захоплення з контрзразком (рисунок 4.5). Найкращі характеристики по зносостійкості в умовах фретинг-корозії показало вакуумно-дугове покриття хрому.

При навантаженні в 20 МПа поверхня тертя твердого вакуумно-дугового хрому на титановому сплаві Grade 23 взагалі не зношувалася – лінійний знос практично дорівнює нулю (рисунок 4.6). Лише в деяких місцях ледь помітно припрацювання покриття зі сталлю контрзразка 95X18.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 1324.00.000 ПЗ

Арк.

49

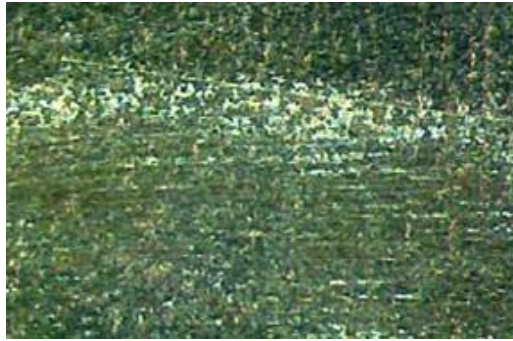
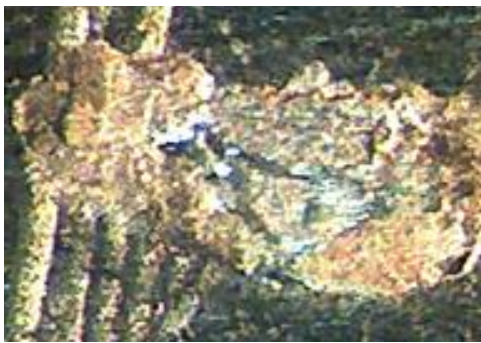


Рисунок 4.6 – Доріжка тертя на Grade 23.
20 Мпа, вакуумно-дугове покриття. $\times 28$

В процесі тертя покриття, що нанесені на більш м'яку титанову основу, здатні більше поглинути мікроудари, які виникають в процесі фретинг-корозії і розсіяти їх в сплав Grade 23.



а



б

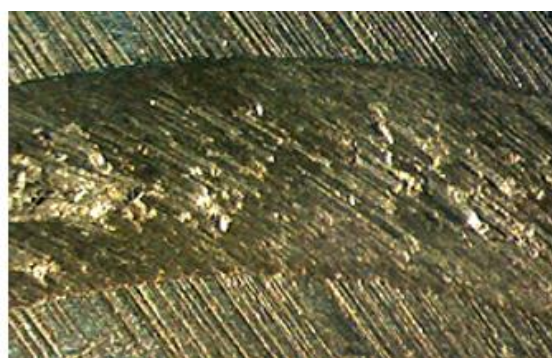
Рисунок 4.7 – Сколи на Grade 23 з вакуумно-дуговим покриттям при навантаженні 30 Мпа. а $\times 80$, б $\times 50$

Суттєвим недоліком твердого вакуумно-дугового покриття хрому є висока твердість цього покриття. При випробуваннях в деяких місцях схоплювання, відбувався вирив цього покриття та перенесення його на матеріал контрзразка, що свідчить про недостатню міцність зчеплення твердого вакуумно-дугового покриття хрому з поверхнею основи. Це можна було бачити при випробуваннях покриття з основою титанового сплаву (рисунок 4.7). Також на поверхні тертя спостерігалось зношування покриття в деяких місцях внаслідок схоплювання з контрзразком.

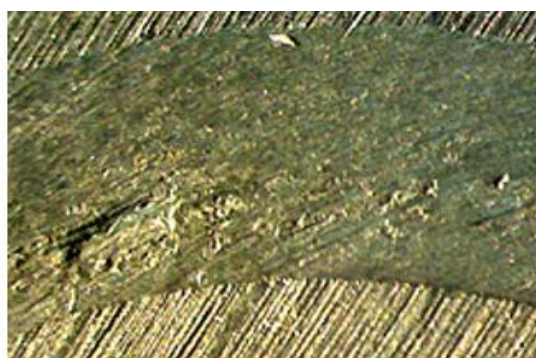
					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Для співставлення результатів зносостійкості покриттів в умовах фретинг-корозії в гідравлічній рідині АГТ проведено випробування матеріалу, на який наносилися покриття. Титановий сплав має високий лінійний знос як при навантаженні в 20 МПа, так і при навантаженні в 30 МПа.

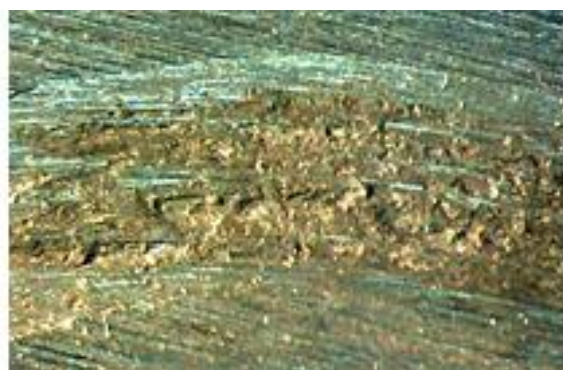
Поверхня тертя титанового сплаву Grade 23 в гідравлічній рідині має однаковий характер руйнування, як при 20 МПа, так і при 30 МПа. Пошкодження поверхні рівномірне з невеликими ямками в центрі доріжок тертя. Які утворилися внаслідок неможливості виходу продуктів руйнування пари тертя в зв'язку зі специфікою фретинг-корозії (рисунок 4.8, а, б). При збільшенні навантаження до 30 МПа характер руйнування поверхні не змінився. Зміна відбулась лише у збільшенні глибини руйнування поверхні титанового сплаву (рисунок 4.8, в, г).



а



б



в



г

Рисунок 4.8 – Рисунок 4.8 – Поверхня тертя титанового сплаву Grade 23 при терті з 95X18. $\times 56$:

а – навантаження 20 МПа, б – 30 МПа.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Поверхні тертя після випробувань під дією усіх навантажень смугасті. Така структура складається зі слідів руху структурних елементів граничного шару, що вказує на абразивний механізму зношування. Геометричні параметри борозен після випробувань за різних навантажень неоднакові. Борозни утворюються у результаті пластичного деформування матеріалу поверхні твердими частинками, що є у складі граничного шару. Утворення та поява цих частинок у граничному шарі може бути через надходження з навколишнього середовища, появу в результаті зміни властивостей частинок, що утворилися, через руйнування пари тертя через окислювання, зміцнення після пластичної деформації тощо. Зі збільшенням навантаження відстань між борознами зменшується. Спостерігаються видимі дефекти у вигляді виривів та мікроборозенок, порізи.

Під час тертя проходить пластична деформація основи. Через підвищення хвилястості, шорсткості поверхонь їх контактування відбувається на малесеньких ділянках тертя; контактні тиски мають високі значення.

4.3. Зносостійкість покриттів в умовах тертя ковзання

Випробування в умовах тертя-ковзання проводилися на установці, яка імітує ковзання двох площин. Метод полягає в тому, що контрзразок переміщується по поверхні зразка, який не рухається при встановленому навантаженні та швидкості. Вихід на робочий режим поступовий – плавне навантаження зростає, збільшення швидкості ковзання теж поступове.

Дослідження здійснювали в гідравлічній рідині при навантаженні 20 та 30 МПа, швидкість ковзання 1 м/с. На початку дослідження вакуумно-дугове покриття дало поганий результат, тому зменшили питоме навантаження до 5 МПа на початку, результати дослідження на рисунку 4.9.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

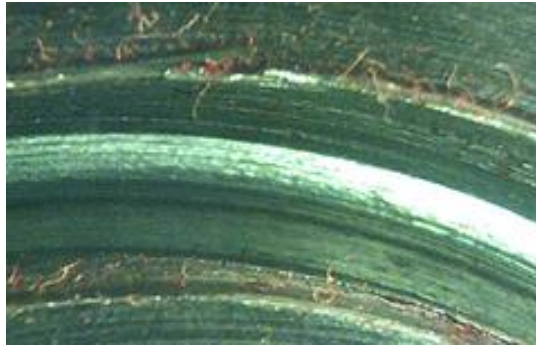


Рисунок 4.9 – Зношення зразка з Grade 23 при терті з 95X18

Досліджуючи зразки із титанового сплаву Grade 23, при швидкості ковзанні 0,5 м/с та навантаженні 6 МПа, зношення зразка було 4 мм за 20 хв. Контрзразок почав зношуватись першим, потім почалось налипання титану на сталь.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ВИСНОВКИ

Титановий сплав Grade 23 має хорошу міцність, коефіцієнт інтенсивності напруженьпластичність та відносну зносостійкість. Останнім часом потреби техніки та інших галузей потребують різних матеріалів, що володіють високими показниками зносостійкості та є теплостійкими і міцними. Титанові сплави на додачу ще володіють відмінною корозійною стійкістю.

Враховуючи вимоги виробників було здійснено дослідження зносостійкості титанового сплаву Grade 23 та хромових покриттів, нанесених різними способами, а саме: гальванічним методом та вакуумно-дуговим.

Зразки досліджували за порівнянням зовнішнього вигляду доріжок тертя – макроструктурним методом. Також було встановлено зношування зразка лінійним методом, під час проведення дослідження на фретинг.

За результатами, які було отримано, встановлено, що гальванічні покриття хрому є менш зносостійкими у порівнянні з вакуумно-дуговими покриттями хрому. Знос гальванічних покриттів під навантаженням 30 МПа перевищував знос вакуумно-дугових покриттів у три рази. Сам сплав Grade 23 під час проведених досліджень проявив себе дуже погано, його знос у 15 разів перевищує знос зразків з вакуумно-дуговим покриттям. Разом з тим, під час тертя на у середовищі гідравлічної рідини ATF такі покриття зношуються навіть при дуже низьких навантаженнях від 5 МПа, що свідчить про погану схоплюваність з основою.

Враховуючи умови експлуатації рекомендовано застосування вакуумно дугових покриттів при малих навантаженнях (до 5 МПа) у середовищі гідравлічної рідини ATF. Гальванічні покриття хрому на сплаві Grade 23 можна використовувати при навантаженнях до 20 Мпа при короткочасних контактних взаємодіях.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Boyer, R.R. Attributes, characteristics, and applications of titanium and its alloys. JOM 2017, 3, 15-18
2. https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/752792/mod_resource/content/5/D0%9D%D0%A2%D0%9D%20%D0%9C%D0%92%D0%9B%D0%9C%20%D0%92%D0%A2%D0%A11.pdf.
3. <https://ua.jm-titanium.com/info/performance-characteristics-of-titanium-alloys-82914233.html>.
4. Ma Qian, Francis H. Froes. Titanium Powder Metallurgy: Science, Technology and Applications / Butterworth-Heinemann, USA, 2015, pp. 628.
5. Jun Qu, Peter J. Blau, Thomas R. Watkins, Odis B. Cavin, Nagraj S. Kulkarni, Friction and wear of titanium alloys sliding against metal, polymer, and ceramic counterfaces, Wear, Volume 258, Issue 9, 2005, Pages 1348-1356, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.09.062>.
6. <https://www.bibusmetals.com.ua/products/alloys/titanium-grade-5-6al-4v/>
7. <https://ua.ertitanium.com/info/application-of-titanium-alloys-in-aeronautical-79548399.html>
8. Краля В.О., Моляр О.Г., Хімко А.М., Пугачевський Д.О. Втомні характеристики титанового сплаву ВТ-22 із зносостійкими покриттями Фізикохімічна механіка матеріалів. – 2006. – №6. – С. 119-122.
9. Цвікер У. Титан та його сплави: Пер. с нем. – К.: Металургія, 2009. – 512с.
10. Kunc̃ Ická L. Kocich R. Lowe T C. Advances in metals and alloys for joint replacement. Progress in Materials Science, 2017.
11. Wang X., Dai J., Dong H. Tytanowy implant dentystyczny i jego zastosowanie kliniczne. The Chinese Journal of Non-ferrous Metals, 1996, 6.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

12. Wang X. L., Bais Z., Li F. Effect of plasma nitriding and titanium nitride coating on the corrosion resistance of titanium. The Journal of Prosthetic Dentistry, 2016.

13. Металознавство: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко та ін. – 2-ге вид., перер. і доп. – К. ІВЦ «Політехніка», 2002. – 384 с.

14. Hruzin N.V., Vakhrusheva V. S., Tiutieriev I.A., Malysh O.D. Influence of texture on mechanical properties of titanium alloy tubes. Key Engineering Materials. Switzerland, 2020. Vol. 844. Pp. 182 – 187.

15. Корозійно-механічне руйнування металів і сплавів/ Петров Л.Н., Сопрунюк Н.Г. – Київ: Наукова думка, 1991. – 216с.

16. Ключников, Ю. В. Авіаційні матеріали та їх технології. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти за освітньою програмою «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка / Ю. В. Ключников, О. Т. Сердітов, В. Л. Дубнюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,23 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 115 с.

17. Хімко А.М. Особливості зношування вузлів механізації крила літаків, що працюють в умовах динамічних навантажень / А.М. Хімко, О.Є. Якобчук, В.М. Бородій, С.М. Задніпровська, Н.В. Холод // Вісник НАУ. – 2009. – № 3. – С. 33 – 36.

18. Chen, Q.; Zhang, J.; Huang, A.; Wei, P. Study on Wear Resistance of Ti-6Al-4V Alloy Composite Coating Prepared by Laser Alloying. Appl. Sci. 2021, 11, 446.

19. В.В. Щепетов, О.В. Харченко, С.Д. Харченко. Зносостійкі захисні покриття. Наук. Думка – Київ : 2023. – 122с.

20. Babak, V., Shchepetov, V., Kharchenko, O., Kharchenko, O. (2022) Wear-resistant protective coating. Kyiv, Naukova Dumka. 112p.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

21. Хижняк В. Г. Дифузійні покриття за участю титану, алюмінію та кремнію на сталі 12Х18Н10Т / В. Г. Хижняк, М. В. Аршук, О. Е. Дацюк // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 5(97). – С. 84–88.

22. Багатокомпонентні дифузійні покриття на основі титану, алюмінію та кремнію на нікелі / В. Г. Хижняк, Т. В. Лоскутова, О. Е. Дацюк, О. В. Хижняк // Наукові вісті НТУУ «КПІ» : науково-технічний журнал. – 2015. – № 1(99). – С. 79–84.

23. Кондращенко О.В. Корозія і захист матеріалів та конструкцій. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 124 с.

24. Яковчук А.Е. Зносостійкість вакуумно-дугових и гальванічних покриттів в умовах тертя ковзання// Проблеми тертя та зношування: наук. техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 56. – С.190–195.

25. https://techtronic.com.ua/tecnologiya-xromuvannya-detalej/#google_vignette

26. Крюкова, О., & Вакулік, А. (2023). INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE ELECTROLYTIC CHROME PLATING PROCESS ON THE QUALITY OF THE FORMED COATINGS. Modern Engineering and Innovative Technologies, 2(27-02), 101–107. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-27-02-003>

27. Шевеля В.В., Олександренко В.П. Трибохімія і реологія зносостійкості / В.В. Шевеля, В.П. Олександренко. – Хмельницький: ХНУ, 2006. – 278 с.

28. Method of material research at low speeds sliding / А. Khimko, V. Kralya, А. Yakobchuk, V. Vorodiy // Проблеми тертя та зношування: зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2009. – Вип. 52. –С. 45–52.

29. Straumal В. В., Vershinin N.F., Asrian A.A., Rabkin E., Kroeger R. Nanostructured vacuum arc deposited titanium coatings // Mater.phys.mech. 5 (2002) 39-42.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

30. П. М. Сопрунюк, В. М. Юзевич. Діагностика матеріалів і середовищ. Енергетичні характеристики поверхневих шарів. — Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України, вид-во «СПОЛОМ». — 2005. — 292 с.

					MP 1324.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58