

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Машинобудівний інститут, Машинобудівний факультет

(повне найменування інституту, назва факультету)

Металорізальні верстати та інструмент

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Розробка установки для дослідження трибологічних характеристик
матеріалів які працюють в умовах складного динамічного контактного
навантаження.

Виконав: студент 6 курсу, групи М-213м
спеціальності (напряму підготовки)

133 Галузеве машинобудування

Металорізальні верстати та системи

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Нікулін І.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Івченко Л.Й.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Солоха В.В.

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Металорізнальних верстатів та інструментів
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність 133 Загальне машинобудування
 (код і назва)
 Напрямок підготовки Металорізнальні верстати та системи
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри М.В. Фролов

“ 17 ” 12 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Кішуріну Горю Анатолійовичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка установок для дослідження трибологічних характеристик матеріалів при працюючому в умовах складного динамічного контактного навантаження
 керівник проекту (роботи) проф., д.т.н. Убієнко Леонід Іосифович
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 07 ” 11 2018 року № 339

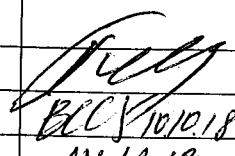
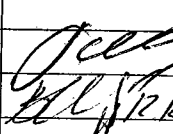
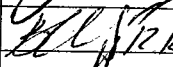
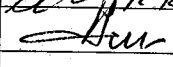
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.12.18

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Схема та умови складного динамічного контактного навантаження

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд та постановка завдань досліджень. Конструювання установки для дослідження трибологічних характеристик матеріалів. Методи проведення випробувань з високим швидкісним розподілом устаткування матеріалів до появи на поверхні пачинки. Вплив електричного струму на лобову та латеральну захисту.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Присиріт до дослідження трибологічних характеристик
Примитивні схеми відрозрізків; 3D-модель розробленої
установки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1-4	Гуценко А.І., проф., д.т.н.		
5	Шмирко В.З., доц., к.т.н.	ВСС 10.10.18	
Нормоконтроль	Глушко А.В., старш. викладач	14.11.18	

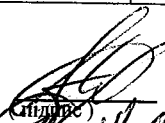
7. Дата видачі завдання 01.10.18

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Лінійно-матричний оцінювач на постановку завдань дослідження	15.10.18	
2	Конструювання умовних сім'ї дослідження трифазної системи характеристик матеріалів	29.10.18	
3	Методика проведення випробувань	19.11.18	
4	Використання розробленої установившої матеріалів до роботи на отримання напруги	26.11.18	
5	Вплив спектральної ширини на люміну та методи захисту	10.12.18	
6	Підготовка роботи до захисту	14.12.18	

Студент

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

А.І. Гуценко

(прізвище та ініціали)



(підпис)

В.З. Шмирко

(прізвище та ініціали)

Реферат

Мета - розробка конструкції установки і аналіз методів проведення досліджень зношених поверхонь при складному динамічному контактному навантаженні.

Зроблено літературний огляд .

Зроблено аналіз існуючих пристроїв.

Розроблено конструкцію установки.

Зроблені розрахунки механізму навантажувального пристрою, розрахунки на міцність окремих деталей.

Обрані параметри працездатності пластинчастих пружин.

Зроблено аналіз методів оцінки трибологічних властивостей матеріалів.

Випробування на тертя і зношування, складне динамічне контактне навантаження, трибологічні характеристики, експериментальна установка, конструкція, розрахунок.

Abstract

The purpose is to develop the design of the installation and analyze the methods of conducting studies of worn surfaces with a complex dynamic contact load.

A literary review is done.

An analysis of existing devices is done.

The design of the installation is developed.

Calculations of the mechanism of the load device, calculation of the strength of individual parts are made.

Selected parameters of performance of plate springs.

The analysis of methods of estimation of tribological properties of materials is made.

Friction and wear test, complex dynamic contact load, tribological characteristics, experimental installation, design, calculation.

Зміст

Розділ 1 Літературний огляд та постановка завдань досліджень

1.1 Вузли тертя машин з плоско-паралельним переміщенням деталей

1.2 Аналіз пристроїв для дослідження трибологічних характеристик матеріалів які працюють в умовах складного динамічного контактного навантаження.

1.2.1 Пристрій для оцінки сили тертя.[4].

1.2.2 Установка тертя ГП (МПТ-1) для визначення коефіцієнта тертя покою і дослідження стрибкоподібного переміщення при терті (Камбалов с 36)[5].

1.2.3 Машина тертя ИМ-58 для дослідження службових характеристик матеріалів за умов динамічних випробувань (схема контакту; торці колець) (Камбалов с38...39)[5].

1.2.4 Пристрій для досліджування зношування при динамічному контактному навантаженні (ДКН-2)[6].

1.2.5 Газодинамічний стенд для моделювання процесів контактної взаємодії в трибоз'єднаннях (ДКН-1) стр.66 рис.2.1[6].

1.2.6 Установка для досліджування зношування при нормальному прикладанні навантаження (патент або ПЗ.)[6].

1.2.7 Пристрій з закрученими тримачами (стр.50 рис.2.5)[7].

1.2.8 Установка з невірноваженою масою (там же что и в 1.2.7 стр53 рис 2.8)[7].

1.2.9 Універсальна машина тертя МИФИ-1 інерційного типу з автоматичним керуванням для дослідження фрикційних дисків (схема контакту; торці дисків) Камбалов с.44)[5].

1.2.10 Машина тертя ПМТ-1 для дослідження при зворотно-поступальному переміщенні (Камбалов с.55)

1.3 Визначення фрикційних властивостей матеріалів (курсовою п.р 2.3)

1.3.1 Визначення характеристик мікрогеометрії поверхонь

1.3.2 Визначення фактичної площі контакту

1.3.3 Фізичні методи дослідження тертя

1.3.4 Фрикційні властивості матеріалів при односпрямованому і знакозмінному відносному переміщенні

1.3.5 Фрикційна утомлюваність матеріалів

1.3.6 Фрикційні властивості матеріалів

1.4 Визначення сили та моменту тертя за допомогою індуктивних датчиків та дротових датчиків опору

Розділ 2 Конструювання установки для дослідження трибо логічних характеристик матеріалів

2.1 Принципова схема і опис конструкції та роботи установки

2.2 Розрахунок основних параметрів установки

2.2.1 Початкові умови

2.2.2 Розрахунок сили тертя зразків

2.2.3 Розрахунок пружних пластин

2.3 Розробка пневматичного віброштовхача

2.3.1 Розрахунок параметрів

3 Методика проведення випробувань з використанням розробленої установки (дис. Івченко)

3.1 Визначення сили та коефіцієнту тертя (дис. Івченко)

3.2 Визначення лінійного зносу

3.3 Визначення інтенсивності зношування (курсовий розділ 2)

3.4 Матиматичне планування експерименту (повний факторний експеримент $n=p^3$)

3.4.1 Лінійна модель

3.4.1.1 Кодування факторів

3.4.2 Матриця планування

3.4.3 Визначення коефіцієнта регресії

3.4.4 Перевірка відтворюваності, значущості, адекватності моделі (Адлер Ю.П. Планир. експерим.)

3.5 Матеріали і зразки до випробувань

3.6 Методи дослідження якісних змінень в ЗЖІ контакту

3.6.1 Дослідження макро- і мікроструктури поверхневих шарів

3.6.2 Дослідження субмікроструктури робочого шару

3.6.3 Методика рентгеноструктурного фазового аналізу

матеріалів (дис. Івченко с.112-118)

Розділ 4 Матеріали до заявки на отримання патенту « Пристрій
для дослідження трибо логічних характеристик матеріалів »

4.1 Вибір та аналіз аналога

4.2 Вибір та аналіз прототипу

4.3 Опис пристрою

4.4 Формула можливого винаходу

Висновки

5.Вплив електричного струму на людину та методи захисту

Перелік умовних позначень

ЗОР – змащено-охолоджувальна рідина;

ПЧПК – пристрій числового програмного керування;

МОР – мастило-охолоджувальна рідина;;

РМЦ – ремонтно-механічний цех;

ТУ - технічні умови;

УСП - універсально-складальне пристосування;

ЧПК – числове програмне керування.

Вступ

Актуальність теми. Конкурентноздатність машин залежить від ряду чинників, серед яких одне з перших місць займає ресурс. Для сучасних установок і зокрема верстатів ресурс визначається довговічністю найбільш відповідальних деталей термін служби яких багато в чому залежить від зносу контактних поверхонь.

Моделювання дає можливість підвищити достовірність одержуваних результатів і значно скоротити терміни випробувань. З іншого боку дослідження механізму пошкоджуваності матеріалів, створення моделей зношування контактних поверхонь деталей, що працюють в екстремальних умовах, дозволяють цілеспрямовано створювати (або вибирати з числа існуючих) зносостійкі матеріали, розробляти конструктивно-технологічні заходи, спрямовані на підвищення довговічності деталей, що зношуються. Процеси тертя і зношування, а також руйнування поверхневих прошарків деталей, визначаються динамічним характером навантажень у контакті, амплітудами взаємного переміщення, що створюють специфічні умови контактної взаємодії. Такий комплекс умов навантаження викликає складний об'ємний напружений стан поверхневих прошарків матеріалів пар, що контактують. Цим пояснюються обмежені можливості загальних положень теорій тертя, а також більшості результатів експериментальних досліджень. Крім того, традиційні методи досліджень засновані на роздільному вивченні впливу одного або вкрай обмеженого числа факторів без урахування їхньої взаємодії, а також без урахування динаміки системи в цілому. У світовій практиці просліджується напрямок розвитку функціонально

орієнтованих методів досліджень і їхньої кореляції з даними, одержаними при дослідженні на реальних виробках. Це цілком закономірно, оскільки проектування трибовузлів на основі звичайних конструкційних рішень без урахування специфічності умов їхньої експлуатації (насамперед зміни навантажувальних параметрів у часі) найчастіше призводить до того, що такі трибоз'єднання виявляються недостатньо надійними. Тому виникає нагальна потреба у визначенні характеру навантаження трибовузлів, діапазонів навантажувальних параметрів, їхньої еволюції в процесі експлуатації, упорядкуванні на базі статистичних даних типового комплексу навантажувальних режимів і їхньої зміни за встановлений період часу. Дослідивши вплив кожного з параметрів навантаження окремо або в сукупності на трибохарактеристики вузла (деталі), можна визначити еквівалентний стан взаємодіючих поверхонь і потім моделювати ці стани в лабораторних умовах. [15].

Вступ

Об'єкт дослідження – процеси тертя та зношування в трибоз'єднаннях зі складним динамічним навантаженням.

Предмет дослідження – установка для дослідження тертя та зношування.

Методи дослідження – теоретико-емпіричні з урахуванням специфіки досліджень в галузі трибології.

Наукова новізна одержаних результатів – розроблена установка для дослідження процесів тертя та зношування, яка дає можливість вивчати процеси при складному переміщенні зразка у просторі, і складному динамічному навантаженні.

Практичне значення отриманих результатів – установка дозволяє підвищити точність визначення трибологічних характеристик при складному динамічному навантаженні.

Опробація результатів магістерської роботи – подана заявка на отримання патенту на корисну модель.

Структура –

Розділ 1 Літературний огляд та постановка завдань досліджень

1.1 Вузли тертя машин з плоско-паралельним переміщенням деталей

До плоско-паралельних трибоз'єднань в машинобудуванні відносяться напрямні ковзання різних технологічних машин. Збереження форми і розмірів напрямних в процесі експлуатації в значній мірі визначає забезпечення показників точності та якості обробки на них.

Деталі трибоз'єднань плоско-паралельних трибологічних систем металообробного обладнання «рухома напрямна - змащуюче середовище - нерухома напрямна» в процесі експлуатації знаходяться в умовах складного динамічного навантаження, що призводить до значного зносу деталей напрямних та необхідності їх відновлення.

Для напрямних, які використовуються у металорізальних верстатах характерні значні зміни у довжині і швидкостях переміщень. Швидкість переміщень рухомих вузлів сучасних верстатів з напрямними ковзання може сягати 40 м/хв, прискорення до 10 м/с^2 і вище. При цьому тиск, що виникає у стиках напрямних залежить від швидкості переміщень (подачі) і для середніх верстатів може складати від 0,04 МПа до 0,25 МПа.

Окрім динамічних впливів, напрямні ковзання схильні до значного зносу внаслідок неможливості повної ізоляції від попадання відходів обробки - металевої стружки, піску, абразиву, окалини; недосконалості мастила; відсутності умов для гідродинамічного тертя через повільну швидкість переміщень, а також частих зупинок і реверсування руху.

Основними видами зношування напрямних ковзання металорізальних верстатів є абразивне зношування; схоплювання; зношування в умовах чистого мастила і відсутності схоплювання (умовно об'єднує найменування кількох видів зношування).

Абразивне зношування спостерігається в основному при забрудненні напрямних або масла твердими частинками (відходами обробки). Абразивне

зношування - найбільш поширений вид зношування напрямних, що відрізняється високою інтенсивністю.

Схоплювання в напрямних виникає внаслідок адгезії між безпосередньо дотичними поверхнями, що оголюються при розриві поверхневих плівок в процесі спільного пластичного деформування контактної зони і подальшого руйнування на деякій глибині від поверхні в менш міцній зоні. Схоплювання проявляється найбільш інтенсивно при відсутності або гострій нестачі мастила зазвичай після зношування оброблених штрихів на окремих згладжених ділянках напрямних.

Задири - важкі аварійні пошкодження напрямних - виникають при одночасному лавиноподібному схоплюванні на значній площі. Глибина задирів на чавунних незагартована напрямних в більшості випадків становить 0,2 мм - 0,4 мм в верстатах середніх розмірів і до 1мм - 2мм і більше в важких верстатах; ширина задирів - більше 1 мм, в окремих випадках може вимірюватися десятками або навіть сотнями міліметрів.

Зношування в умовах чистого мастила і відсутності схоплювання включає в себе групу видів зношування, для яких характерне втомне руйнування через повторювану механічну взаємодію нерівностей, зношування при крихкому руйнуванні наклепаного шару.

Напрямні станини і полозок по довжині зношуються нерівномірно. У токарному верстаті найбільш зношена ділянка напрямних станини знаходиться в середній частині, в зоні ближче до переднього торця шпинделя; у напрямних полозок кінці зношуються більше середньої частини, особливо з боку, ближньої до переднього торця шпинделя, де величина зносу в 2-2,5 рази вище максимального зношування напрямних станини. У токарних верстатах та верстатах, що працюють у багатосерійному і масовому виробництві, швидкість зношування напрямних в 2 - 3 рази більша у порівнянні з верстатами інших груп та верстатів, що працюють в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва, відповідно [1].

Напрямні токарних верстатів, зайнятих тільки на чистовій обробці деталей, зношуються в 1,3-1,6 рази менше, ніж напрямні верстатів, що виконують одночасно чистову обробку і обдирання. При одночасному виконанні обдирання і чистової обробки на токарних верстатах перехід від обробки сталевих деталей до обробки сталевих (80%) і чавунних (20%) деталей викликає збільшення зносу напрямних в 1,5 - 2 рази [2].

Знос напрямних нерівномірний по довжині. Найбільшому зносу у поєднанні з інтенсивним забрудненням і більшим навантаженням піддається передня напрямна. У напрямних полозок кінці зношуються значно більше середньої частини; у лівого краю (ближче до передньої бабки) знос більше, ніж у правого краю. Максимальне значення зношування напрямних полозок у цих верстатів вище відповідного значення зношування напрямних станини в середньому у 2-2,5 рази [2].

Вибір способу відновлення напрямних ковзання залежить від ступеня їх зносу і твердості, оснащення ремонтної бази спеціальними верстатами, пристосуваннями і т. п. [3]

Напрямні станини при ремонті відновлюють різними способами:

- традиційними: струганням, фрезеруванням, шліфуванням, протягуванням, шабруванням. На деяких заводах здійснюють поверхнєве зміцнення напрямних способом накочування роликом, а також загартуванням струмами високої частоти.

- заміною накладних направляючих заново виготовленими;
- методами формування захисних структур

Формування захисних структур може здійснюватись за наступними технологічними напрямками:

- нанесенням на відновлювану поверхню одношарових покриттів;
- залізненням;
- нанесенням композиційних електролітичних покриттів;
- створенням металоплакуючих плівок;
- наплавленням

Найбільш поширеними традиційними способами ремонту направляючих станин є шабрування, шліфування і стругання.

Шабруванню піддають тільки незагартовані чавунні напрямні з твердістю до 220 НВ. Припуск під шабрування не повинен перевищувати 0,05мм...0,08мм. Ремонт напрямних шабруванням навіть при зносі 0,05 мм відрізняється великою трудомісткістю і дорожнечою [3].

Ремонт напрямних шліфуванням забезпечує високу точність і чистоту обробки і використовується для відновлення загартованих напрямних. Його основними недоліками є необхідність використання спеціального важкого обладнання, небезпека виникнення прижогів на відновлюваних поверхнях, неможливість усунення глибоких задирок та подряпин. цей спосіб практично незамінний при ремонті загартованих напрямних станин. Продуктивність праці при шліфуванні в кілька разів вище в порівнянні з шабруванням.

При ремонті незагартованих напрямних верстатів переважним методом є фінішне стругання. Стругання проводиться при глибині різання 0.03мм - 0.05мм. Швидкість столу зазвичай не перевищує 10 м/хв. Для отримання заданої чистоти оброблюваної поверхні необхідно змочувати гасом.

Ресурс роботи деталей напрямних металообробного обладнання після відновлення традиційними методами значно знижується в порівнянні з заново виготовленими. Це явище пов'язане з неможливістю досягнення необхідної зносостійкості і, внаслідок цього, необхідного ресурсу роботи відновлених трибосистем.

Одним з перспективних технологічних напрямів підвищення зносостійкості трибоз'єднань напрямних є формування захисних структур на контактуючих поверхнях, здатних знижувати інтенсивність протікання руйнівних процесів. У сучасних умовах його реалізація відбувається шляхом нанесення на зношені поверхні напрямних одношарових полімерних покриттів, або встановлення на них неметалевих антифрикційних накладок механічним шляхом. Ці засоби підвищують ресурс роботи відновлених напрямних.

Оскільки величини зносу деталей напрямних можуть сягати декількох міліметрів на довжинах більше 1 метру, ці способи відновлення потребують великих витрат коштовних полімерних матеріалів, або значних обсягів механічної обробки при підготовці поверхонь для встановлення накладок.

Позбавитись цих недоліків при відновленні можливо за рахунок створення багатошарових покриттів. При цьому відновлення форми і розмірів може здійснюватись за рахунок «ремонтного матеріалу», а підвищення зносостійкості за рахунок тонкого поверхневого шару, що наноситься на «ремонтний матеріал».

Реалізації такого підходу вимагає системних заходів для вирішення поставлених завдань. Дослідження, що проводились у цьому напрямку, вказують на суттєвий вплив умов динамічного навантаження на зносостійкість матеріалів трибоз'єднань. Але комплексна дія різних видів навантаження на довговічність деталей трибоз'єднань при складному динамічному навантаженні вимагає уточнення.

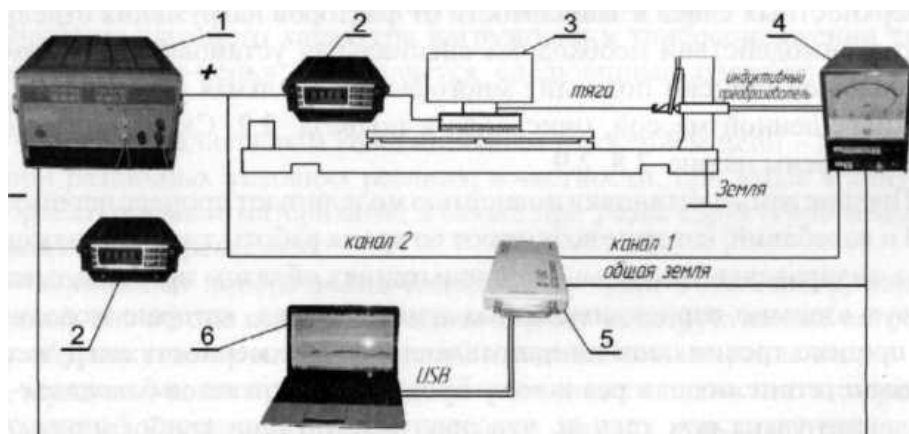
Розробка багатошарових ремонтних покриттів для трибовузлів напрямних диктує необхідність ретельного дослідження механізмів зношування, встановленні зв'язку між кінематикою, динамікою трибосистем та величиною накопичених у ній пошкоджень, виявлення внеску кожного з факторів, що викликають ушкодження матеріалу поверхонь деталей напрямних, розкритті закономірностей виникнення масляного голодування у трибосистемі як одного з факторів збільшення інтенсивності зношування. [3,20]

1.2 Аналіз пристроїв для дослідження трибологічних характеристик матеріалів які працюють в умовах складного динамічного контактного навантаження.

1.2.1 Пристрій для оцінки сили тертя.[4].

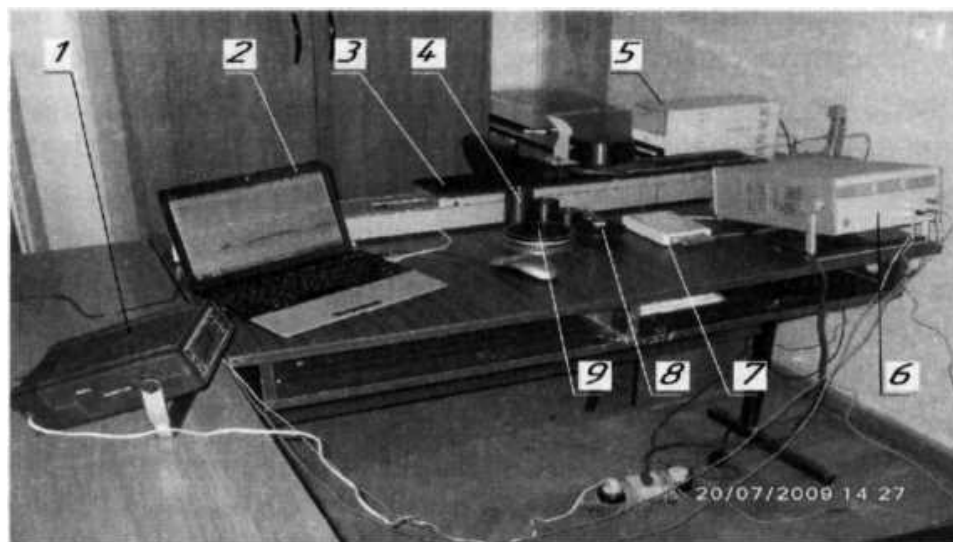
З огляду на те що різниця в зносостійкості поверхні зразків при різних режимах подачі МОР може відбуватися внаслідок зміни величини сил

тертя, була проведена оцінка сили тертя ковзання (руху) і сили тертя спокою. При цьому використовували модернізований трибометр мод. ТММ 32А (рис. 1, 2) з можливістю пристрою визначення електроопір контакту і виведенням показань на персональний комп'ютер. Цей прилад призначений для визначення коефіцієнта тертя ковзання між двома тілами при рівномірному русі їх відносно один одного. [5,9]



1 - джерело живлення постійного струму мод. Б5-49; 2 - вольтметр універсальний цифровий мод. В7-35; 3 - трибометр мод. ТММ 32А; 4 - прилад показує з індуктивними перетворювачами мод. 276; 5 - аналого-цифровий перетворювач мод. Е-140; 6 - персональний комп'ютер

Рисунок 1.1 - Загальна схема установки для оцінки сили тертя



1 - вольтметр універсальний цифровий мод. В7-35; 2 -

персональний комп'ютер; 3 - трибометр мод. ТММ 32А; 4 - вантаж; 5 - прилад показує з індуктивними перетворювачами мод. 276; 6 - джерело живлення постійного струму мод. Б5-49; 7- аналого-цифровий перетворювач мод. 140; 8 - ролик; 9 - зразок

Рисунок 1.2 - Загальний вигляд установки для оцінки сили тертя

Визначення коефіцієнтів тертя ковзання для пар матеріалів засноване на вимірі сил тертя спокою (страгування) і сил тертя руху, що виникають при переміщенні змінною плити, встановленої на візку, щодо вантажу, який притискає змінні зразки з нормальним зусиллям до плити.

Візок, встановлений в напрямні підстави, переміщується зворотньо-поступально за допомогою механізму електроприводу. У якості приводного електродвигуна застосований асинхронний електро-двигун, який задає постійну швидкість переміщення візка. Хід візка обмежується з двох сторін кінцевими вимикачами. На майданчик візка встановлюються змінні плити, виконані з різних матеріалів. На плиту встановлюється вантаж, який прижимає змінний зразок. Вантаж з'єднується з пружиною вимірювального пристрою через тягу з додатковою пружиною або через тягу без останньої. Пружина вимірювального пристрою (гнучка частина балочки) закріплена в стійці. Зусилля пружини через індуктивний преобразователь мод. 276 і аналого-цифровий перетворювач мод. Е-140 передається на комп'ютер.

При переміщенні візка від стійки вантаж, притискає зразок до плити, прагне зрушити разом з візком і створює зусилля, яке через тягу передається на пружину вимірювального пристрою. Пружина починає згинатися і розвиває зусилля, яке утримує вантаж разом із зразком на місці, при цьому зразок починає ковзати по плиті. Таким чином, сила тертя, що виникає між зразком і плитою, без всяких втрат сприймається пружиною вимірювального пристрою. Деформація пружини вимірюється індикатором. [9,12]

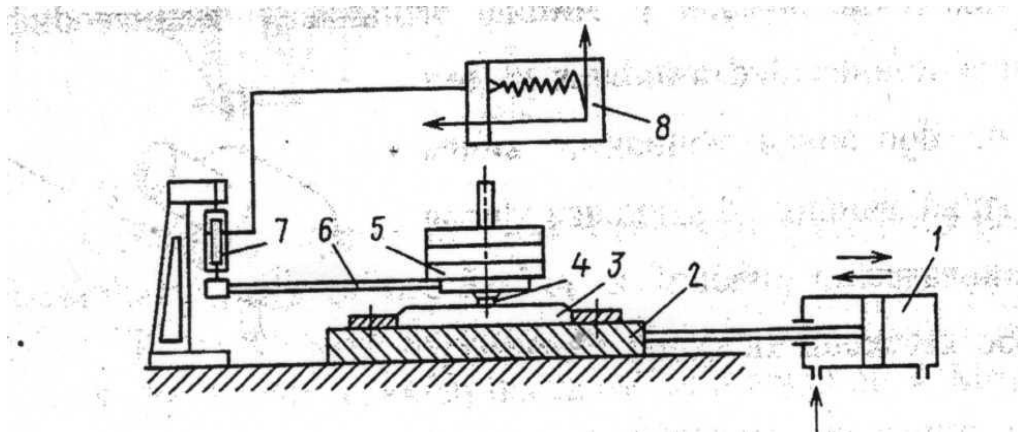
Прилад дозволяє вимірювати сили тертя руху і сили тертя спокою. Для вимірювання сили тертя руху застосовується тяга без проміжної

пружини. Для вимірювання сил тертя страгивання використовується тяга з проміжною пружиною. За рахунок невеликої жорсткості проміжної пружини наростання сили, яка додається до вантажу, виходить плавно. Вантаж спочатку пересувається разом з візком. Рух вантажу зі зразком що до плити почне відбуватися тільки тоді, коли проміжна пружина розвине зусилля, що дорівнює зусиллю тертя зрушення. У момент рушення вантажу фіксується сила страгування вантажу[9,14].

Персональний комп'ютер служить для візуалізації вхідного сигналу в режимі реального часу, збору і обробки експериментальних даних. Збір даних здійснювався за допомогою програмного забезпечення LGraph2{ 4 }

1.2.2 Установка тертя ГП (МПТ-1) для визначення коефіцієнта тертя покою і дослідження стрибкоподібного переміщення при терті [5].

віброзахисний пр.



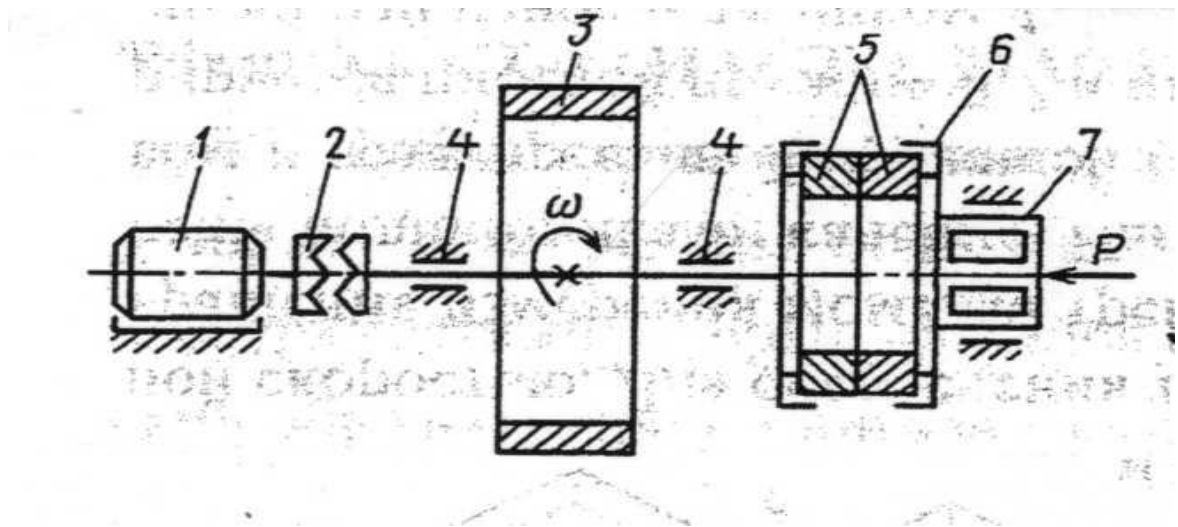
Робочими органами машини є повзун 2 з пластиною 3 з досліджуемого матеріалу, що переміщується поступально до санчатах, віброзахисний привід 1 і пластина з досліджуваними зразками 4. Навантаження на зразки задається змінними важелями 5. Вимірювання і реєстрація на осцилографі 8 моменту тертя проводиться за допомогою тяги 6 і гнучкого елемента 7 з наклеєними на нього тензодатчиками [5].

Рисунок 1.3 – Установка тертя ГП (МПТ-1)

Таблиця 1 – Параметри

Параметр	Значення
Розміри пластини, мм	150x60x10
Розміри зразка, мм: круглого	<10
прямокутного	10x15x10
Ход ползуна, мм	30...100
Швидкість переміщення повзуна м / с	0,001...0.01

1.2.3 Машина тертя ИМ-58 для дослідження службових характеристик матеріалів за умов динамічних випробувань (схема контакту; торці колець) (Камбалов с38...39)[5].



Машина містить двигун 1, муфту зчеплення 2, махову масу 3, опору 4, силовимірювача 6 і навантажує пристрій 7. Кільцеві зразки 5 кріпляться в голівках, що забезпечують їх самоустановку. Навантаження на зразки задається пневмокамерой. [5,31]

Рисунок 1,4 Машина тертя ИМ-58

Таблиця 2 – Параметри

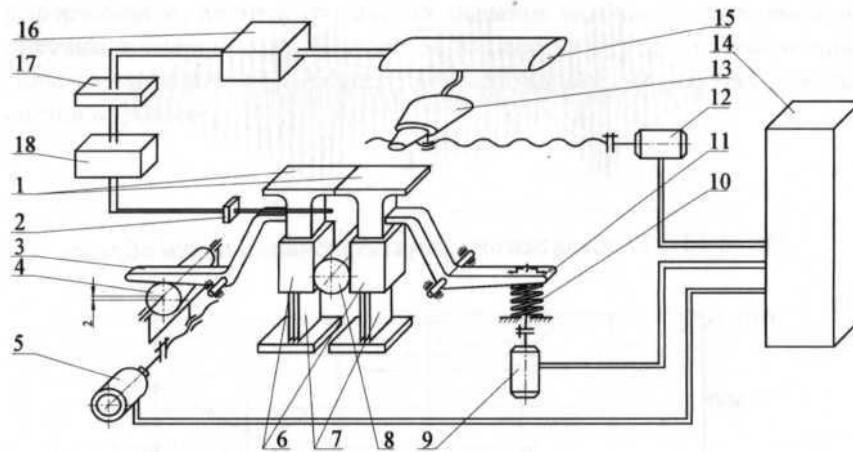
Параметр	Значення
Розміри досліджуваних зразків, мм	75x53x8
Момент інерції, приведений до шпинделя, $\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$	0,015...1,5
Частота обертання шпинделя, с^{-1} , не більше	100
Осьова навантаження, Н, не більше	2000
Максимальний момент тертя, $\text{Н} \cdot \text{м}$	20

Момент тертя вимірюється індуктивним датчиком, температура - термopарою час циклу - секундоміром. Випробування проводяться за методикою, загальною для будь-яких динамічних випробувань. Дозволяє проводити випробування теплоімпульсним тертям і на фрикційну теплостійкість[5] [31]

1.2.4 Пристрій для досліджування зношування при динамічному контактному навантаженні (ДКН-2)[6].

Для дослідження закономірностей зношування жароміцних матеріалів і зносостійких покриттів в умовах динамічного контактного навантаження і підвищених температур розроблена установка, принципова схема якої представлена на рис. 1.5.

Конструкція установки дозволяє досліджувати окремо вплив зовнішніх механічних і фізичних параметрів навантаженості (навантаженості в контакті, амплітуда мікро переміщень, частота, температура) на трибологические характеристики матеріалів як в газовій, так і окисної середовищах, визначати природу залежностей між двома або декількома факторами, досліджувати кінетику руйнування поверхні. [6]



1 - зразок; 2 - термопара; 3, 11 - важіль; 4 - кулачок; 5, 9, 12 - шаговий двигун; 6 - державка; 7 - пластинчаста пружина; 8 - ролик; 10 - пружина; 13 - нагрівач; 14 - стійка ЧПУ; 15 - колектор; 16 - пристрій для регулювання подачі горючої суміші; 17 - перетворювач; 18 – логометр

Рисунок 1.5 - Принципова схема газодинамічної установки для випробування зносостійкості матеріалів при програмованому зміні параметрів навантаження[7]

Важливою перевагою установки, на наш погляд, є можливість проведення досліджень зносостійкості в умовах програмного зміни параметрів навантаженості, що дозволяє швидше провести випробування, проводячи їх по еквівалентним програмам, а також значно скоротити витрати і підвищити надійність отриманих результатів (у порівнянні з результатами, отриманими, наприклад, при стендових випробуваннях реального двигуна). Основні технічні характеристики установки наведені в табл. 3.

Працює установка в такий спосіб. При обертанні кулачка 4 (див. Рис. 1.5), що взаємодіє з важелем 3, відбувається коливальний рух Т-образних зразків, закріплених в державках 6, які розміщені на двох консольних пластинчастих пружинах 7. Статичне навантаження в контакт задається за допомогою пружини 10 і важеля 11. Величина амплітуди коливань визначається ексцентриситетом E (регульованим) кулачка 4. Для

забезпечення паралельності робочих поверхонь зразків в процесі контактної взаємодії служить ролик 8. Нагрівання зразків може здійснюватися як продуктами згорання палива, так і електропідігрівом опору.

Амплітуда, частота коливань, температура циклу, навантаження в контакті в процесі випробування мають можливість безступінчатого регулювання за заданою програмою з допомогою стійки ЧПУ 14 і крокових двигунів [7,5, 9, 12.]

Таблиця 3 - Технічні характеристики установки

Технічні дані	Одиниця виміру	значення характеристик
Діапазон температур випробувань:	°C	
в окислювальному середовищі		20-1000
в газовому середовищі		600 - 1200
Питома навантаження в контакті	МПа	до 100
Амплітуда мікропереміщень	мм	0,005 - 0,5
Частота переміщень	Гц	до 65
Кількість одночасно випробовуваних зразків	шт	2
Тип камери згорання		трубчаста

1.2.5 Газодинамічний стенд для моделювання процесів контактної взаємодії в

трибоз'єднаннях (ДКН-1) стр.66 рис.2.1[6].

Принципова схема газодинамічного стенду для моделювання процесів контактної взаємодії в реальних трібоузлах (наприклад, в бандажних і замкових з'єднаннях лопаток турбіни ГТД) показана на рис. 1.6 Стенд складається з трьох блоків: коливального, нагрівального і реєструючого (останній на схемі не показаний).

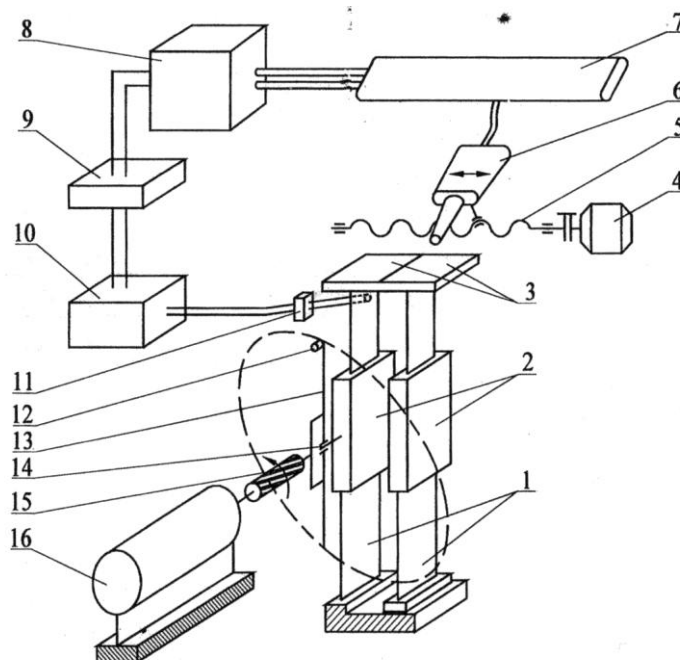
Контактна взаємодія робочих поверхонь Т-образних зразків 3 здійснюється наступним чином. При обертанні диска 13 з невідбалансованою масою 12 виникає відцентрова сила

$$P = m\omega^2 R,$$

де m - невідбалансована маса; ω - кутова швидкість диска;

R - радіус обертання невідбалансованої маси.

Вертикальна складова відцентрової сили P_v рівноважується жорстко закріпленими пластинчастою пружиною 1, а горизонтальна - збуджує ізгіб коливання пластинчастої пружини і розташованих на ній державки 2 і зразка 3. Внаслідок коливань в залежності від стану з'єднання зразків (зазор або натяг) і амплітуди коливань можливо взаємне ковзання зразків або їх зіткнення з подальшим проковзуванням. Навантаження в контакті і амплітуда коливань створюється варіюванням величини невідбалансованої маси, радіуса її закріплення, частоти обертання диска, жорсткості пластинчастої пружини, а також величини натягу в з'єднанні.



- пружина; 2 - державка; 3 - зразок; 4, 16-г електродвигун, 5 - гвинт; 6 - нагрівач; 7 - колектор; 8 - пристрій для регулювання подачі горючої суміші; 9

- перетворювач; 10 - логометр; - термopapa; 12 - неврівноважена маса; 13 - диск; 14 - вісь; 15 - гнучкий вал; 16 – привід

Рисунок 1,6 - Принципова схема газодинамічного стенду (ДКН-1)[6].

Для нагріву зразків передбачені змінні енергоблоки: електропіч опору - для випробувань при постійних температурах в окислювальному середовищі; генератор ТВЧ - для випробувань в режимі термоциклювання; газовий нагрівач, виконаний у вигляді камерисгорання, що має можливість переміщатися в напрямку перпендикулярному, площині стику зразків, - для випробувань, як при статичних, так і циклічно мінливих температурах. Основні технічні характеристики газодинамічного стенду наведені в табл. 4. [6,7]

Таблиця 4 - Технічні дані випробувального стенду

Технічні дані	Значення характеристик
Кількість одночасно випробовуваних зразків, шт	2
Діапазон температур випробувань, ° С в окислювальному середовищі в газовому середовищі	20... 1000 до 1200
Діапазон питомих навантажень, МПа	до 20
Діапазон мікропереміщень, мм	0,005...0,2
Частота переміщень, Гц	48...105

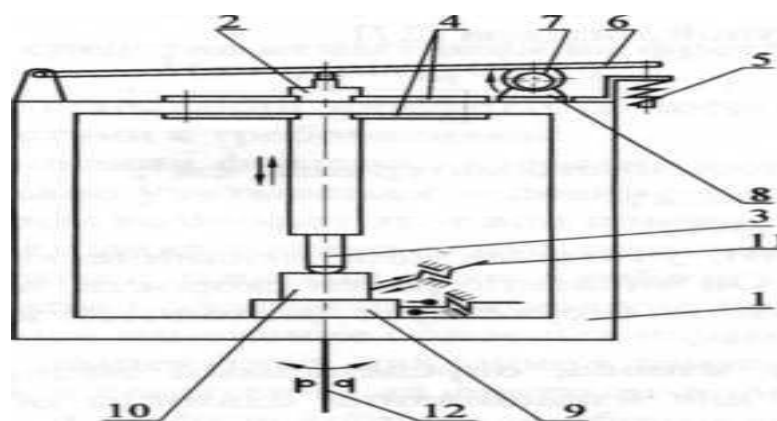
Моделюючи майже весь спектр навантажень (крім частоти коливань) як механічних, так і теплових, які відчують деталі горячого тракту ГТД, стенд дозволяє проводити порівняльні випробування зносостійкості конструкційних матеріалів і захисних покриттів, оцінювати працездатність

деталей, вдосконалених різноманітними конструктивними і технологічними методами .

Параметри завантаженості (амплітуда, питоме навантаження в контакті), трибологічні характеристики (лінійний знос, інтенсивність зношування, глибина локальних пошкоджень поверхневого шару, коефіцієнт тертя) визначаються наступним чином.

1.2.6 Установка для досліджування зношування при нормальному прикладанні навантаження [6].

З метою виділення процесів в «чистому вигляді» наприклад, тертя і зношування при ударі в області пружного і пружно-пластичного контакту при нормальному додатку навантаження, визначення зближення поверхонь при кімнатних, підвищених і знижених температурах розроблена установка [26], схема якої наведена на рис. 2.23. Установка також дозволяє підвищити точність моделювання процесів при контактній взаємодії реальних деталей шляхом приложення пульсуючого навантаження в зоні контакту деталей, моделювання взаємного переміщення деталей і створення в області контакту образцов тільки нормального навантаження без тангенціальної складової.



навантаження 1 - корпус; 2, 9 - тримач; 3 - зразок; 4 - пластинчасті пружини; 5 - пружина; 6 - важіль; 7 - ексцентрик; 8 - електродвигун; 10 - контрзразок; 11 - механізм зворотньо-поступального переміщення; 12 - механізм обертання зразків навколо своєї осі

Рисунок. 1,7 - Схема установки для дослідження контактної взаємодії при нормальному навантаженні.

Установка працює в такий спосіб. Досліджувані зразок 3 і контрзразок 10 встановлюють в утримувачі 2 і 9 і вводять в контакт один з одним. За допомогою пружини 5 через важіль 6 створюється нормальне навантаження в зоні контакту зразка і контрзразок. Ексцентріком 7 з регульованим ексцентриситетом при включенні приводу 8 змінюють нормальне навантаження по асиметричному циклу. Зворотно-поступальний рух контрзразок 10 здійснюється механізмом поздовжньо-поперечного переміщення 11. Крім того, тримач 9 разом з контрзразком можуть здійснювати реверсивне обертання навколо вісі 12. При цьому переміщення зразка 3 щодо контрзразка 10 при їх взаємодії здійснюється по необхідному закону, який в кожному конкретному випадку буде найбільш точно описувати траєкторію руху деталей. [6,7]

Пластинчасті пружини 4, прикріплені однією стороною до корпусу 1, а іншою до держателю 2 зразка, усувають поява в зоні контакту зразка і контрзразка тангенціальної складової навантаження. При дослідженнях

$$\Delta V = \frac{1}{2} \frac{m(v_{y\partial} \sin \alpha - \kappa)^2}{\epsilon_{y\partial}},$$

визначається інтенсивність зносу зразка і контрзразка. Для випадку зіткнення зразків при визначенні зносу можна скористатися формулою Біттера [27]

де ΔV - об'єм зношеного матеріалу, см³; m - маса зразка, г; α - кут атаки, радий .;

κ - коефіцієнт, що враховує механічні властивості зношувального матеріалу. Він чисельно дорівнює швидкості, нижче якої ввіду малості енергії знос відсутня (знаходиться з експерименту), см / с; ϵ - параметр зносу, який визначається емпірично, рівний енергії, необхідної для зношування одиниці об'єму матеріалу, г / (см с²); g_{∂} - швидкість зразка до удару, м / с.

Обсяг зношеного матеріалу може бути знайдений також методом профілографування. В процесі випробувань в зоні контакта дейдує сумарне навантаження, що складається з статичної (РСТ) і динамічної (Р д) складових.

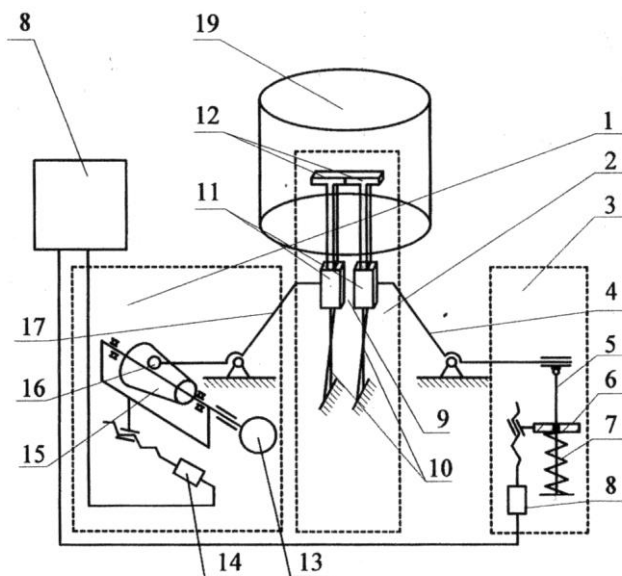
Статичне навантаження задається пружиною 5 (див. Рис. 1.7), відтарований за допомогою динамометра, що встановлюється замість контрзразка 10. Динамічна складова навантаження виникає внаслідок руху системи «кулачок - важіль - держатель - зразок» і суттєво проявляється при випробуваннях в разі розриву контакту між зразком і контрзразком.

Сумарне навантаження визначається за допомогою п'єзоелектричного датчика сили типу РК-1000-1 [28]. Датчик дозволяє вимірювати квазістатичні і змінні навантаження з частотами до 1000 Гц. Величина амплітуди коливань зразка 3 реєструється за допомогою тензодатчиків, наклеєних на пластинчастих пружинах і включених в ланцюг по мостовій схемі.

Випробування на зношування можуть проводитися як при нормальних, так і підвищених температурах. В останньому випадку передбачен нагрівач у вигляді рознімної печі опору муфельного типу.

1.2.7 Пристрій з закрученими тримачами (стр.50 рис.2.5)[7].

В установці (рис. 1.8) прослизання в двох взаємно перпендикулярних напрямках забезпечується за рахунок пружини пластичних власників 3. При цьому одночасно накладається зв'язок, яка погодить руху зразків з різними ступенями свободи таким чином, що співвідношення передавальних чисел цих рухів залишається постійним, за рахунок пружних властивостей пружин власників. [6,7]



1Вузол завдання амплітуди позовжніх коливань; 2 вузол кріплення зразків; 3 вузол завдання навантаження; 4 важіль; 5 - шток; 6 - напологлива шайба; 7 - навантажувальна пружина; 8 - кроковий електродвигун; 9 - ролик; 10 - пружинні пластинчасті тримачі; 11 - державки; 12 - зразки; 13 - електродвигун; 14 - кроковий електродвигун; 15 - кулачок; 16 - ролик; 17 - важіль штовхач; 18 - електронний блок; 19 - камера вузла завдання температури

Рисунок. 1,8 - Схема установки з закрученими тримачами[7].

Установка містить: вузол завдання амплітуди коливань 1, вузол кріплення зразків 2, вузол завдання навантаження 3.

Вузол завдання навантаження 3 складається з важеля 4, шарнірно з'єднаного з штоком 5, на якому розташовується навантажувальна пружина 7, поєднана з кроковим двигуном 8 за допомогою напологливої шайби 6 через передачу гвинт-гайка.

Вузол кріплення зразків 2 містить консольно закріплені пружинні пластинчасті тримачі 10. Вони мають закрутку і можуть містити змінний по висоті і ширині розмір поперечного перерізу. На тримачах розміщені роздільні ролик 9 державки 11, в яких закріплені зразки 12.

Вузол завдання амплітуди подовжніх коливань 1 складається з кулачка 15, який з'єднаний муфтою з електродвигуном постійного струму 13. За допомогою передачі гвинт-гайка кроковий двигун 14, через ролик 16 з'єднаний з вузлом кріплення зразків 2.

Установка також обладнана електронним блоком 18 і камерою 19 для завдання необхідних температур. .

Зразки встановлюються в державки вузла кріплення зразків. Постійна відстань між ними в рухомому і нерухомому стані забезпечується роликом, який також виключає вплив прогину пружинних пластинчастих тримачів на повноту контакту робочих поверхонь зразків.

Рух з необхідною амплітудою подовжніх коливань забезпечується вузлом завдання амплітуди. Обертання кулачка, здійснюване електродвигуном, призводить до коливального руху з необхідною амплітудою через важіль-штовхач тримачів, державок і зразків. При цьому відбувається зіткнення і прослизання поверхонь зразків в подовжньому напрямі.

Необхідний тиск в контакті забезпечується передачею навантаження зразків через важіль від навантажувальної пружини і регулюється зміненням ступеня стиснення останньої переміщенням наполегливої шайби уздовж штока (вузол завдання навантаження). Для зменшення зносу контакт кулачка 15 і коромислового важеля-штовхача здійснюється за допомогою ролика 16.

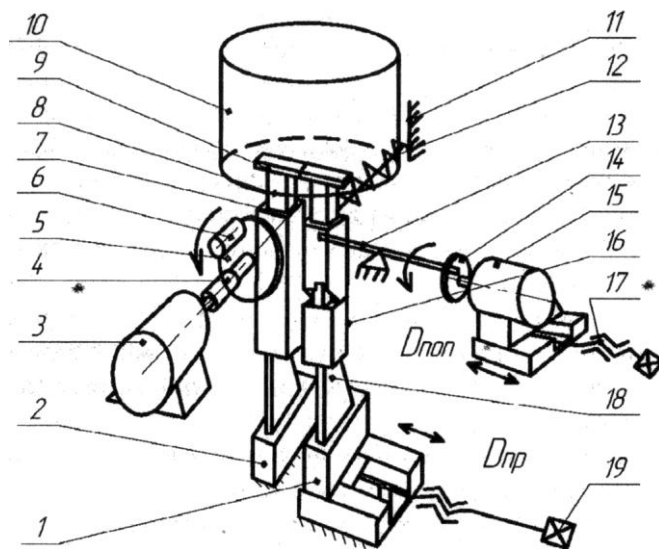
Зміна величини навантаження і амплітуди переміщення зразків безпосередньо в ході випробувань можливо зміною стиснення пружини і переміщенням кулачка, за рахунок включення крокових електро-двигунів відповідно до програми, що задається пристроєм ЧПУ (електронний блок). Для проведення випробувань при температурах від-особистих від кімнатної, зразки розташовуються в камері, в якій підтримується необхідна температура. [6,7]

Наявність закрутки і різної жорсткості перетинів пружинного пластинчатого тримача призводить до виникнення коливань тримачів, а, отже, і до поличь зразків у поперечному напрямку. В результаті реалізується тривимірне навантажене стану поверхонь зразків: удар з подальшим прослизанням в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

1.2.8 Установка з невідноваженою масою [6,7].

Схема більш багатифункціональної установки, в якій прослизання в двох взаємно перпендикулярних напрямках забезпечується за рахунок відповідного вузла, представленого на рис. 1.9.

Зіткнення зразків при випробуваннях відбувається в результаті обертання невідноваженої маси 5.



1 права стійка; 2 - ліва стійка; 3 - електродвигун поздовжньої амплітуди; 4 - гнучкий вал; 5 - диск; 6 - невідноважена маса; 7 - державка лівого зразка; 8 - база зразка; 9 - зразки; 10 - камера вузла завдання температури; 11 - наполеглива поверхня; 12 - пружина; 13 - вузол тонкого регулювання амплітуди поперечного ковзання; 14 - ексцентрик; 15 - електродвигун вузла поперечного ковзання; 16 - складова державка правого зразка; 17,19 - передача гвинт-гайка; 18 - пакети плоских пружин

Рисунок. 1.9 - Схема установки з невідноваженою масою.[7].

Установка є найбільш прийнятною для проведення модельних випробувань зносостійкості в умовах, наближених до натуральних умов експлуатації більшості трибосопрямих, так як дозволяє регулювати параметри навантаження за трьома напрямками. Крім того, в разі необхідності виділення процесів в «чистому вигляді», є можливість проводити випробування з різним навантаженням зразків з розривом і без розриву контакту, тобто тільки з коливаннями і просковзуванням в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

При цьому спеціальний вузол при необхідності дозволяє забезпечити контакт між зразками тільки при русі в одному напрямку, а при русі в протилежному напрямку контакт розривається. [6,7]

1.2.9 Універсальна машина тертя МИФИ-1 інерційного типу з автоматичним керуванням для дослідження фрикційних дисків (схема контакту; торці дисків) Камбалов с.44)[5].

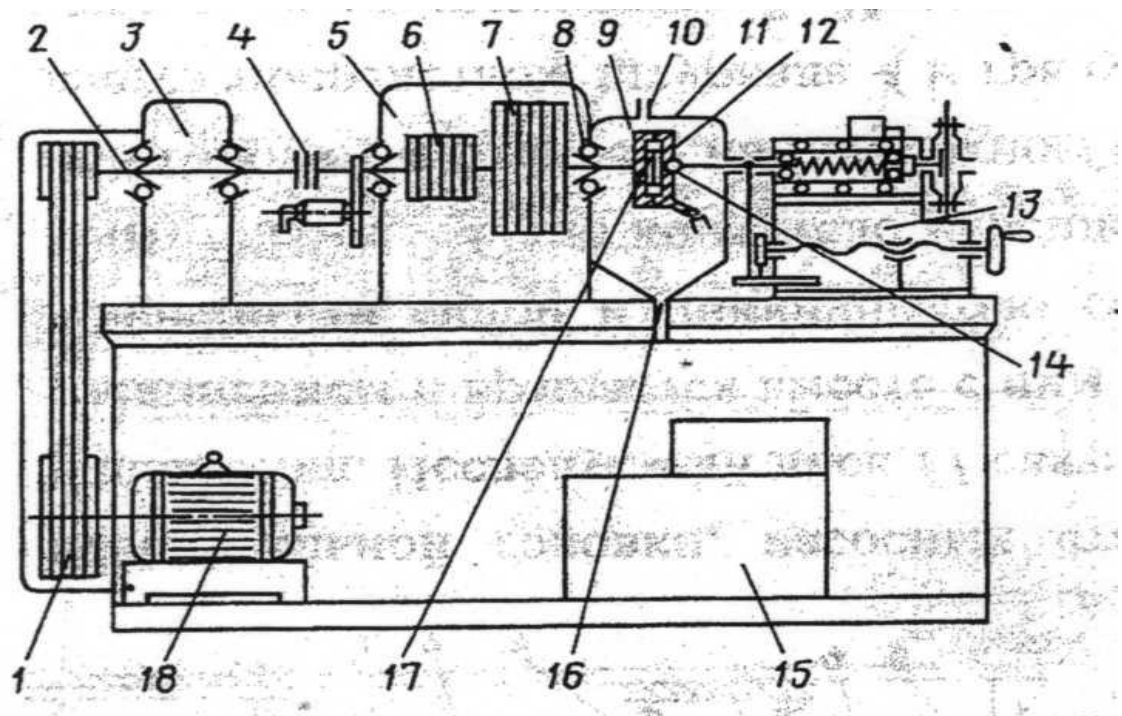
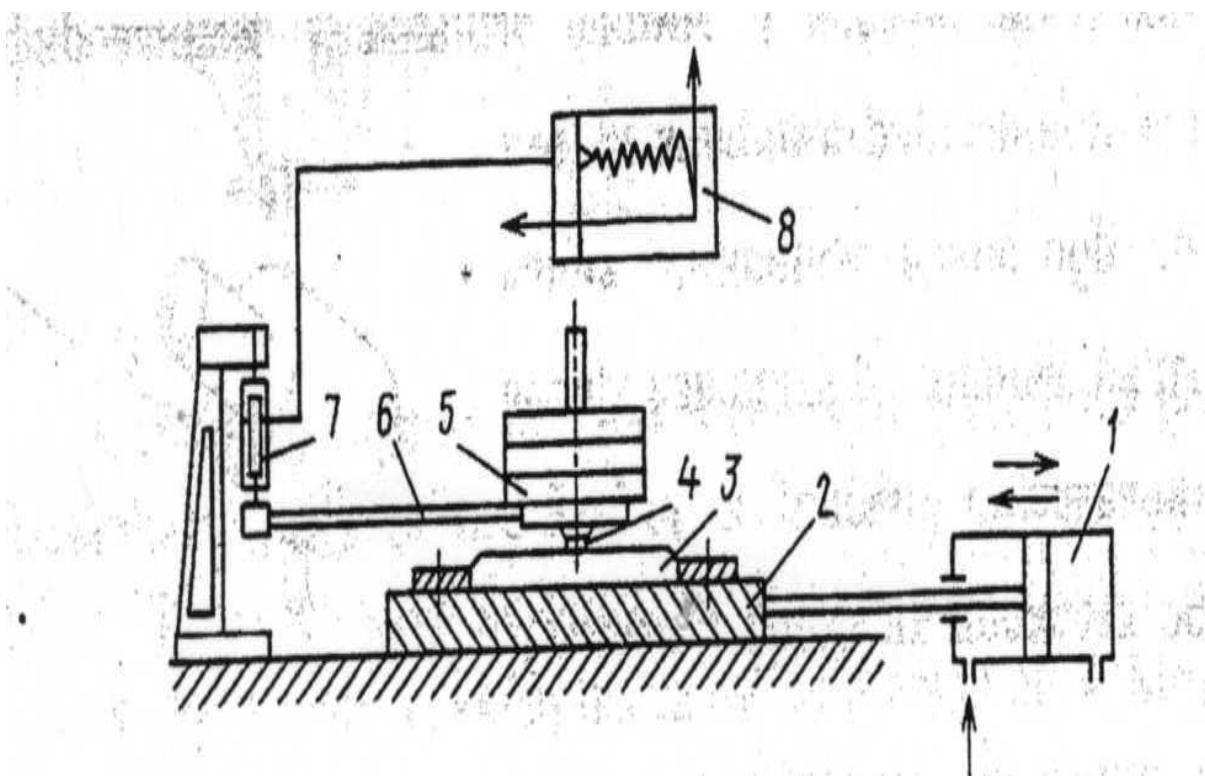


Рисунок 2.0 Універсальна машина тертя МИФИ

Таблиця 5

Технічні дані	Значення характеристик
Діаметр диска, мм зовнішній	75...250
Діаметр диска, мм внутрішній	53..120
Товщина диска, мм	2...10
Момент інерції махових мас, $\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$	0,02...2
Частота обертання шпинделя, с^{-1}	10...100
Осьове навантаження, Н	$(0,3...3) \times 10^4$

1.2.10 Машина тертя ПМТ-1 для дослідження при зворотно-поступальному переміщенні



Робочими органами машини є повзун 2 з пластиною 3 з дослідного матеріалу, що переміщається поступально по салазкам, віброзащитний привід 1 і пластина з досліджуваними зразками 4. Навантаження на зразки задається змінними вантажами 5. Вимірювання і реєстрація на осцилографі 8

моменту тертя проводиться за допомогою тяги 6 і гнучкого елемента 7 з наклеєними на нього тензодатчиками[5]

Рисунок 2.1 Машина тертя ПМТ-1

Таблиця 6

Технічні дані	Значення характеристик
Розміри пластини, мм	150x60x10
Розміри зразка, мм:	
круглого	< 10
прямокутного	10x15x10
Хід повзуна, мм	30...100
Швидкість переміщення повзуна м / с	0,001...0,01

1.3 Визначення фрикційних властивостей матеріалів [24]

Матеріали, використовувані в вузлах тертя, оцінюють трьома методами: за геометричними, фізичним і механічним характеристикам; по власним фрикційним характеристикам пар твердих тіл; з випробувань вузлів тертя на стендах і в натурі.

Взаємний зв'язок результатів оцінки по кожному з цих видів випробувань не завжди буває однозначною. Причиною цього є деякі специфічні особливості природи тертя, а саме формування в зоні контакту третього тіла, природа і властивості якого залежать від природи дотичних поверхонь, доступу навколишнього середовища в зону контакту, виникаючої контактної температури. [33]

Ці обставини є суттєвою особливістю оцінки фрикційних властивостей матеріалів, яка може бути отримана лише при контактній взаємодії двох

твердих тіл при наявності застосовуваної середовища. Це значно ускладнює лабораторну оцінку.

У зв'язку з цим за останні два десятиліття в науці при терті і зношуванні отримують все більший розвиток методи оцінки, вскриваючи зв'язок між елементарними основними характеристиками твердих тіл, мастильної середовищем і коефіцієнтом тертя, а також зносостійкість при взаємодії цих тіл.

Характеристики фрикційних властивостей матеріалів, одержані на основі розроблених методик, можуть бути застосовані в розрахункових залежностях при оцінці монотонно розвиваючихся процесів тертя і зносу.

1.3.1 Визначення характеристик мікрогеометрії поверхонь

Вимоги до профілограми. Від якості профілограм в значній мірі залежить точність отриманих значень характеристик мікрогеометрії поверхні.

Профілограми бажано отримувати такі, щоб середня лінія записаного профілю була горизонтальною. При виборі вертикального збільшення записи необхідно виходити з можливості найбільш повного використання ширини діаграмного паперу. Вибір горизонтального збільшення обумовлюється забезпеченням чіткої записи окремих нерівностей профілю. [5,6]

Профілограми знімають з декількох (не менше п'яти) ділянок поверхні. Для профілографування вибирають ділянки, найбільш характерні для досліджуваної поверхні. Довжина профілограми, знятої з кожної ділянки, повинна бути не менше базової довжини, що відповідає класу шорсткості досліджуваної поверхні. При наявності на профілограмі помітної волнистості довжину профілограми кожної ділянки зменшують з метою виключення впливу хвилястості, а кількість ділянок збільшують [5,6.]

Опорна крива профілю та параметри її апроксимації. Для побудови опорної кривої профілю $tr = bxv$ визначення параметрів апроксимації початкового ділянки цієї кривої профілограми знімаються в одному (поперечному) напрямку, що дає найбільшу інформацію про профіль.

$$r = \frac{l^2}{2\pi^2 R \alpha m n_0},$$

Профілограми можна знімати під кутом 45° по направленню слідів обробки, при цьому довжина траси вимірювання повинна бути збільшена в $\sqrt{2}$ раз по відношенню до базової довжини.

Параметри b і v визначають наступним чином.

На профілограмі на відстані $RBC_{от}$ середньої лінії проводять паралельно їй пряму, визначальну нульовий рівень. Величина RBC визначає середнє положення лінії виступів профілю з розглянутого числа оброблюємих ділянок профілограм. Від цього рівня на відстаннях, рівних 0,1; 0,2; 0,3 від R_{max} , проводять ряд паралельних прямих. Ці прямі визначають рівні при відносних зближеннях $x_1 = 0,1$; $x_2 = 0,2$; $x_3 = 0,3$.

Для кожного рівня визначають за всіма профілограми сумарну довжину перетинів виступів $l_{0,1} = \sum \Delta l_{0,1}$; $l_{0,2} = \sum \Delta l_{0,2}$; $l_{0,3} = \sum \Delta l_{0,3}$ і відповідні їм відносні площі $t_{0,1} = l_{0,1} / rl$; $t_{0,2} = l_{0,2} / rl$; $t_{0,3} = l_{0,3} / rl$, де rl – число оброблюємих профілограм, що мають довжину, рівну базовій l .

Вирішуючи систему двох рівнянь виду $tr = bxv$, отримаємо формули для

Для урвней 1 и 2

$$v_{1,2} = \frac{\lg \frac{t_{0,1}}{t_{0,2}}}{\lg \frac{x_1}{x_2}}; \quad b_{1,2} = \lg t_{0,1} - v \lg x_1.$$

Для урвней 1 и 3

$$v_{1,3} = \frac{\lg \frac{t_{0,1}}{t_{0,3}}}{\lg \frac{x_1}{x_3}}; \quad b_{1,3} = \lg t_{0,1} - v \lg x_3.$$

розрахунку b і v .

Для уривней 2 и 3

$$v_{2,3} = \frac{\lg \frac{t_{0,2}}{t_{0,3}}}{\lg \frac{x_2}{x_3}}; \quad b_{2,3} = \lg t_{0,2} - v \lg x_2.$$

Для расчелов принимаем средние значения:

$$v = \frac{v_{1,2} + v_{1,3} + v_{2,3}}{3}; \quad b = \frac{b_{1,2} + b_{1,3} + b_{2,3}}{3}.$$

Радіус заокруглень вершини неровності r Для обліку відхилень форми нерівностей від правильної сферичної форми визначення радіусів заокруглення вершин нерівностей вимагає зняття профілограм двох взаємно перпендикулярних напрямках (поздовжньому і поперечному). Кривизну вершин визначають для нерівностей, що лежать вище рівня $x = 0,3$ (див. Рис. 3 гл. 2), у яких вимірюється довжина перетину (хорди) ДНА відстані від вершини нерівності, відповідному і, 3Rалі 0, обітницю. [5,6.]

Середнє значення радіуса r (в мкм) даного напрямку визначають за формулою [405]

$$r = \frac{\gamma_v \sum_{i=1}^n \frac{d_i^2}{8n_i}}{\gamma_r^2 n} 10^3,$$

де n - число вимірюваних нерівностей; γ_v - вертикальне уве-лічення профілограми; γ_r - горизонтальне.

Розрахункове значення радіуса r визначають як середнє гео-метрическое з поздовжнього гпрод і поперечного ГПОП радіусів. Для поверхонь, оброблених шліфуванням, притиранням, хонінгованієм, а також прироблених поверхонь, т. Е. Коли шорсткість має нерегулярний характер, середнє значення для всіх нерівностей визначають за формулою [6,7.]

$$r = \frac{l^2}{2\pi^2 R a m n_0},$$

де l - довжина траси вимірювання.

Число максимумів t підраховують на всіх ділянках. За максимум приймають нерівності профілю, висота яких від найближчої западини не менше $0,05 R_{\max}$. Число перетинів n_0 підраховують по перетинанню профілю з середньою лінією на всіх ділянках і ділять на сумарну довжину цих ділянок в мкм:

$$n_0 = \frac{\sum n}{l}.$$

Дотик середньої лінії з профілем зверху чи знизу вважають за один перетин.

Кут нахилу бічних сторін профілю до середньої лінії визначають через тангенс кута нахилу: Дотик середньої лінії з профілем зверху чи знизу вважають за один перетин.

$$\operatorname{tg} \bar{\theta} = 4 R a n_0.$$

Безрозмірні характеристики A визначають на підставі отриманих із профілограм геометричних параметрів $i_{\max}$, g , b і в [174].

Нами показано, що, оцінюючі мікрогеометрію комплексно, немає необхідності окремо визначати параметри b і v , а обробка профілограм може бути значно спрощена, що вельми важливо в інженерних розрахунках [176].

Параметри волнистості. Встановлено, що розподілювання матеріалів хвилю поверхневого шару подібно розподіленню матеріала шорсткості. Воно також апроксимується степенною функцією вида

$$t_w = C_w x_w^x$$

де C_w і x - параметри опорної кривої волнистості.

Показник% для порізного оброблених поверхонь заключен в межах $1,75 < \% < 2,8$. Параметр C_w наближений до 2 і слабо залежить від коефіцієнта заповнення профілю [121].

Метрологічне забезпечення вимірювань. Характеристики мікрогеометрії поверхонь визначають щупом і оптичними приладами [130].

Опорну довжину профілю, кількість перетинів p_0 і число максимумів t можна визначати і без запису профілограмм на приладах типу Телесерф фірми «Тейлор-Гобсон» (Англія), Пертометр-фірми «Гоммель-Верке» (ФРН), МО-10 «Цейсс» (НДР). Електронні приставки до профілографу-профілометру Калібр-201 дозволяють крім перерахованих пар [6,7.]

1.3.2 Визначення фактичної площі контакту

У дослідницькій та технологічній практиці використовують три групи методів визначення ФПК: методи інформаторів, оптичні та електричні.

Застосовуючи методи першої групи, використовують в якості інформаторів про фактичний контакт фарби, пудри, радіоактивні речовини, а також тонку фольгу і дріт малих діаметрів [6,7.]. В процесі контактування в результаті силового впливу інформатори зазнають змін форми, розмірів, якості поверхні або залишають сліди на вивчаємих поверхнях, за якими судять про форму та розміри зон фактичного контакту.

Роздільна здатність і достовірність цих методів в основному визначаються товщиною шару інформатора. Товщина його повинна бути в кілька разів менше висоти нерівностей поверхні. В іншому випадку нерівності будуть заповнені інформатором і виявляться лише зони контакту

ділянок, піднесення які над поверхнею більше товщини шару інформатора. Для використовуваних інформаторів товщина шару становить 0,01-50 мкм.

Спосіб радіоактивних ізотопів найбільш перспективний з методів першої групи, і при відповідній розробці він може забезпечити високу роздільну здатність і достовірність при знаходженні фактичного контакту.

В основу оптичних методів покладені:

явища порушення повного внутрішнього відображення в точках дотику [28] при контакті досліджуваної поверхні з зразків з оптично прозорого матеріалу;

явища відображення і розсіювання світла при переході з одного середовища в інше з різними коефіцієнтами заломлення [15,28]; фазовоконтрастна мікроскопія .

Оптичні методи дозволяють безпосередньо (без роз'єму стику) спостерігати утворення і розвиток фактичного контакту під час дії стискаючих зусиль як при статичних, так і динамічних процесах. Оптичні методи отримали застосування для вирішення ряду контактних задач, зокрема для оцінки якостей поверхні і її змін при дослідженнях зносу і підробітки [8,22].

Основним недоліком оптичних методів є необхідність виготовлення одного із зразків, виготовлених з оптично прозорого матеріалу, що неминуче призводить до обмеження сфери його застосування.

Електричний метод дозволяє судити про фактичний контакт зі зміни величини перехідного електричного опору стику поверхонь, що відбувається в результаті збільшення під навантаженням числа точок контакту і величини елементарних майданчиків контакту [28].

Електричний метод так само, як і оптичний метод, дає можливість оцінювати зміни контакту, включаючи швидко-протікаючі, без роз'єму стику.

Однак детальне вивчення цього методу Р. Хольмом і І. В. Крагельська [31] показало, що з його допомогою неможливо з необхідним ступенем точності оцінити величину ФПК, так як для обчислень необхідно знати число одиничних контактів в загальній зоні контакту. Метод до того ж не вирішує питання про форму, розміри та структурі зони фактичного контакту. Проте електричний метод при відомих формі і розмірах контакту в деяких випадках дозволяє судити про відносний зміні величини контакту в зв'язку зі зміною величини навантаження в часі.

Метод інформаторов. В. С. Тарасенко (Одеський політехнічний інститут) узагальнив досвід і розробив ряд експериментальних методів для визначення ФПК за допомогою інформаторів.

В основу методів покладено використання люмінесцентної фарби, що наноситься тонким шаром на одну з контактуючих поверхонь. Інформація про контакт утворюється друкуванням у вигляді відбитка зон контакту у результаті перенесення фарби з однієї поверхні на іншу при контактуванні. Фарба повинна володіти певними в'язко-пластичними, адгезійними і оптичними властивостями, що дозволяють без спотворення передавати структуру фактичного контакту в широкому діапазоні діючих в контакті тисків. Як інформатора застосована друкується, люмінесцентна фарба наноситься шаром товщиною 0,1-0,01 мкм. Застосовані склади фарб є розчинами каніфолі, олеїнової кислоти і дефектол золотисто-зеленого (пігменту) в бензолі.

Перенесення фарби в процесі контактування дозволяє отримувати інформацію про контакт як на попередньо пофарбованій, так і неопофарбованій поверхні. Таким чином, спостерігаються як би негативний і позитивний зображення відбитків зон контакту.

Площа відбитків може бути обміряна та сфотографована методами для люмінесцентного аналізу.

Склади фарб і області їх застосування наведені в табл. 7.

Н. Б. Демкин і А. А. Ланка використовували в якості інформатора вугільну плівку [12,29]. Метод нанесення плівок слідує наступний. Поверхню металу покривають шаром підкладки, який зроблений з розчину вазеліну в чотирихлористому вуглероді (10 кг / м³). Після випаровування летючого розчинника на поверхні металу залишається тонкий шар (100-150 А) вазеліну, після чого на нього наносять шар вугілля. Угільна плівка одержується випаровуванням спектрально-чистих угільних електродів електричної дуги, поміщених в вакуумну камеру. Плівки

Таблица 7

Содержание компонента,%			Класс шероховатости повехности	Тип печати	Область применения
Кани- фоль	Олеиновая кислота	Дефект- толь			
25,0	2,5	0,5	3-5	позитив	Грубые полосы поверхности, макроконт
5,0	1,0	0,5	6-8		Поверхность подшибников скольжения, направляющие
1,6	0,8	0,2	6-8	негатив	Поверхность в процессе приработки, плотность стыков
0,8	0,3	0,2	8-12		позитив
5	1,56	0,2	5-7		
3,2	1,0	0,3	7-10		

напилювані таким способом, мають тонку аморфну структуру, точно відтворюють мікрорельєф поверхні, достатньо контрастні.

При використанні цього методу легко візуально видно плівки товщиною в десятки ангстрем. Метод не потребує складного обладнання,

володіє високою роздільною здатністю і дозволяє визначати площу контакту на поверхнях до 9-10-го класів шорсткості.

Метод прояви. Передумовами при розробці методу прояви стало виявлене різними дослідженнями деяка зміна потенціалу металу, залежно від фізичного стану останнього. Ця зміна дуже помітна при холодному наклепі. Зазвичай метал, що піддався, холодній обробці, декілька більш негативний, ніж у відпаленому стані. Металевий предмет, нерівномірно відпалений або піддався деформації в певних місцях, буде вести себе до деякої міри так, як якщо б він складався з двох різних металів. Ділянки, які зазнали стиску стають анодами, а відпалені - катодами [8,12].

Особливо сильна корозія з'являється на ділянках з перекрученою решіткою .

Будь-яка перебудова поверхні в бік створення більш упорядкованої структури, як правило, знижує каталітичну активність, і навпаки диспергуючу дію підвищує її з двох причин: завдяки збільшенню площі контакту і внаслідок зростання активних ділянок [3]. Електрохімічні процеси активізуються на ділянках, які піддалися впливу Ц напружень в місці контакту. Деформації і напруження звичайно знижують електродний потенціал і, отже, прискорюють корозію [7].

Для виявлення місць контакту можуть бути використані властивості чистих металевих поверхонь утворювати в присутності певних речовин захисні плівки; виборча метализація поверхні, при якій з розчину, вміщуючий іони менш активного по відношенню, наприклад, до заліза металу (Al, Si, Ag), відбувається в певних умовах осадження цього металу саме в місцях контакту, в місцях, які зазнали напругу в процесі контактування. Крім того, виявлення «контакту можливо за допомогою травлення в парах кислоти.

Для отримання інформації методом прояви на сталях можна використовувати такі процеси.

1. Освіта фосфатних плівок на сталі. Для цього застосовують розчин для «холодного» фосфатування: H_3PO_4 160- 170 г / л; $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 60-70 г / л; гас 10 г / л.

Однак фосфатні плівки, отримані цим способом крупнокрісталічні і досить пухкі. За їх допомогою важко виявити тонку структуру поверхні контакту.

2. Кислотне окисдування дає тонкі, мілко-крісталічні плівки, але контрастність зображення невисока.

Склад розчину: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 280 г / л; MnO_2 10 г / л; H_3PO_4 3 г / л.

Хороші за контрастом результати дає застосування 2-5% розчину щавлевої кислоти з добавкою 0,5-1% KNO_3 .

Міднення. Кращі результати забезпечує Міднення і особливо Міднення з екранною плівкою. Як проявляючі розчини можна рекомендувати розбавлені (від 0,2 до 1%) розчини мідних солей CuSO_4 , CuCl_2 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

При виборі солі (при Мідненні з екрануванням) треба зважати на вплив аніону, яке виражається в різних властивостях іонів Cl^- , SO_4^{2-} і NO_3^- проникнути через плівку. Найбільш рухливий іон Cl^- . Іон NO_3^- в розчинах зазначених концентрацій практично не проникає через плівку. Іон SO_4^{2-} займає проміжне положення.

Міднення з екранною плівкою. Цей спосіб визначення площі фактичного контакту являє собою поєднання двох методів - методу отримання відбитка зони контакту з міццю тонких друкуючихся плівок і методу прояви зон контакту виборчим осадженням міді.

Мідненням можливо також визначати зони фактичного контакту, позначені геометричною формою поверхонь (бочка - площину, циліндр - площина і т. П.). Виявлення ФПК при цьому виробляють також виборчим осадженням міді, але на відміну від методу з екрануванням Міднення виконують не після, а під час контактування, т. Е. В той час, коли зона контакту знаходиться в навантаженому («затиснутому») стані. При цьому в околу контактний простір вводять 20% розчину хлорної міді в етиловому спирті, який витягують в капіляр (зазор) змінного перерізу, утворений поверх Іост. Час витримки під навантаженням зазвичай не перевищує 10 хвилин. Потім за допомогою фільтрувального паперу розчин півністю видаляють із зони контакту, а замість нього вводять веретеневе масло для запобігання зони контакту від окислення і руйнування при подальшій обробці.

Виявлення та обробку інформації про контакт ведуть за допомогою звичайних мікроскопів в поляризованому світлі.

Результати, отримані методом металевих плівок, зрощена Нива з результатами, отриманими люмінесцентним методом Фотометричного вимірювання площі контакту, отриманих різними способами, дають розбіжності не більше $\pm 5\%$.

Оптичний метод можна розділити на дві групи : обидва взаємодіючі тіла прозорі; прозоре тільки одне; з тіл.

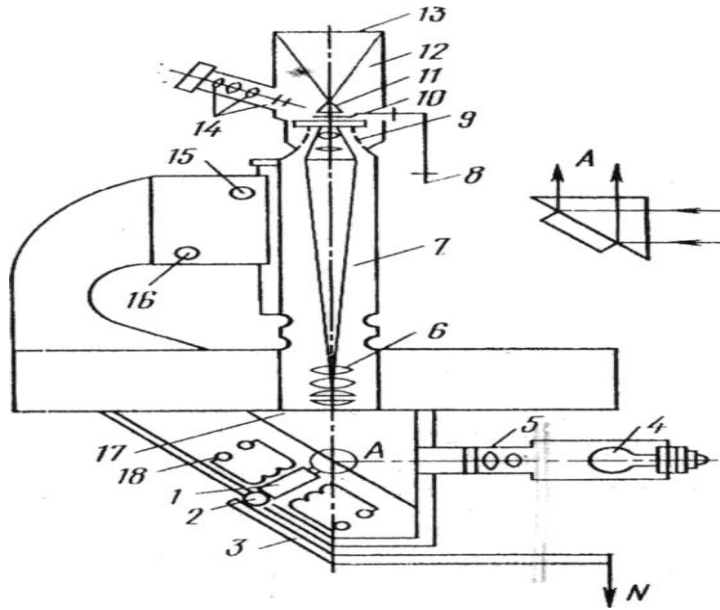
Методи вельми наочні, дозволяють оцінювати площу контакту не тільки в статиці, але і в процесі тертя.

До першої групи відносять метод, розроблений в Інституті машинознавства. Прозорі моделі, які є зразками, призводять до зіткнення з дією навантаження N | Пучок світла, пропущений через моделі в напрямку дії навантаження, відхиляється від цього напрямку і частково розсіювається тільки в місцях, де промені світла переходять з більш щільного середовища в менш щільне, там, де нерівності моделей не взаємодіють. Спостерігаючи моделі напросвіт, визначають площу контакту візуально або фотометрірованія. Метод придатний тільки для грубих поверхонь, коли розсіювання світла в шорсткому шарі значне.

Широке застосування знайшла друга група оптичних методів [13,14]. Вона заснована на явищі порушення повного внутрішнього відбиття світла в місцях контакту оптично прозорого матеріалу з непрозорим (метод хутра). Перевагою методу є надійність одержуваних результатів.

Принципова схема типового приладу цієї групи показана на рис.2.2. Він виконаний на базі мікроскопа МВТ. Зразок У, вставлений в спеціальну оправку, притискається за допомогою системи важеля 3 через кульку 2 до призми 17. Для освітлення зразків застосовується лампа розжарювання 4 типу СУ-62 потужністю 100 Вт, забезпечена конічним тілом напруження. У корпусі освітлювача розміщені лінза і діафрагма поля 5. Світлові промені від лампи потрапляють на призму 17 внутрішнього відображення, проходять через об'єктив 6 і потрапляють в окуляр 9 \ На корпусі мікроскопа розташовані маховички 15 і 16, що служать для грубого й точного налаштування мікроскопа. Фотографування площі контакту на фотопластинку 13 (6х9) здійснюється за допомогою Мікрофотонасадкі 12 типу МФН-2, прикріпленою до тубус 7. Наведення на різкість при фотографуванні здійснюється за допомогою призми 11 і системи лінз 14. Призма 11 відводиться від ходу світлових променів важелем 10, який перемещается затвором 8 (при натисканні на кнопку спускового механізму). Отримані фотознімки можна розшифрувати за допомогою люксметра з фотоелементом типу Ф-102. Вважаючи, що вивчається потік пропорційним площі контакту і ладу таріро- вочной графік, можна отримати відлік площі. Можливо безпосереднє вимірювання ФПК: на окуляр 9

жорстко кріплять спеціальну насадку з фотоелементом типу УФ-102.



Для дослідження температурної залежності фактичної площі контакту зразок поміщається в камеру нагріву 18 потужністю 100

150 Вт, виконану на двох ПЕВ-10.

Рисунок 2.2 прилад на якому можливо проводити дослідження залежності площі контакту від навантаження, часу контактування і температури. •

Акустичний метод.

Контакт твердих тіл в залежності від співвідношення фактичної і номінальної площі контакту з'являється в більшій чи меншій степені проникним для пружних, зокрема ультразвукових хвиль. Ця вихідна передумова лягла в основу акустичного методу дослідження контакту твердих тіл [15,17]. Метод застосуємо для оптично прозорих і непрозорих матеріалів, для вимірювань в статиці і при отно-сительном переміщенні тел.

При використанні ультразвукових коливань для оцінки ФПК виникає ряд питань, пов'язаних зі зміною властивостей контактуючих середовищ в процесі тертя і з впливом цих факторів на коефіцієнт відображення. Це особливо важливо при оцінці ФПК полімерних і металополімерних пар, вельми чутливих до різних експлуатаційних параметрам. Тому необхідно оцінювати вплив зміни акустичного опору на коефіцієнт відображення. Це можна зробити, якщо роздивлятися зону контакту як деяке третє тіло. Тоді умовно можна вважати, що ультразвук проходить через трьохшарову систему, що складається з двох безмежних середовищ і розташованого між ними шару завтовшки $h >$ фізико-механічні властивості

якого можуть бути визначені експериментально, наприклад за допомогою граничних хвиль. Розрахунок необхідної поправки для коефіцієнта відбиття не представляє принципових труднощів. Крім того, слід врахувати вплив на коефіцієнт відображення швидкості взаємного переміщення середовищ [17].

Експериментальні дослідження, розвідані на установці, Я показали, що в діапазоні задаються швидкості і питомих навантажень зміни, викликані впливом швидкості і температури, незначні і не перевищують 8%.

1.3.3 Фізичні методи дослідження тертя

Оцінка структури і фазового стану. Для дослідження структурних особливостей і фазового складу поверхонь тертя використовують різні фізичні методи, що включають світлову і електронну мікроскопію; електронну, рентгеновську і нейтронну дифракції; електронно-зондовий мікроаналіз; емісійну і абсорбційну спектроскопії.

Зазначені методи дослідження взаємно доповнюють один одного і дозволяють отримувати інформацію про зміни в мікро- і субмікроструктурі металів і сплавів як безпосередньо на поверхнях, так і на різній глибині.

Методи світлової мікроскопії дозволяють досліджувати особливості структури твердих тіл на кордоні розділу метал - навколишнього середовища. Однак застосування світлових мікроскопів обмежено відносно невисокою роздільною здатністю, визначаємою числовою апертурою (N) і довжиною хвилі світла ($\lambda = 0,50$ мкм). При цьому дослідження поверхні з глибоким мікрорельєфом вимагає використання об'єктивів з малої апаратури, що ще більше погіршує дозвіл світлових мікроскопів. Застосування ультрафіолетового випромінювання ($\lambda = 0,21$) в 2,5 рази перевищує роздільну здатність світлового мікроскопа, але ряд побічних обставин лімітує їх широке застосування.

Надзвичайно великий інтерес представляють дослідження мікрорельєфу за допомогою світлового мікроскопа. Інтерферометрія є найбільш чутливим і точним оптичним методом вимірювання мікротопографії поверхні. Відомі два основні методи інтерференції: двопроменевий і багатопроменевий. Останній дозволяє отримувати настільки

тонкі інтерференційні смуги, що вдається помітити навіть мізерно мале зміщення смуги, а це дає можливість оцінити різницю в рівнях рельєфу поверхні близько 5 Å [15,17].

Основний недолік оптичних або світлових мікроскопів, пов'язаний з малим дозволом, долається в електронному мікроскопі, де для освітлення застосовують електрони з ефективною довжиною хвилі близько 0,05 Å. Це означає, що електронний мікроскоп потенційно може мати в 10^6 разів кращою роздільною здатністю, ніж оптичний. Насправді через обмеження, обумовлених конструкцією електронних лінз, методикою приготування зразків досягають дозволу лише близько 2Å, а в повсякденній роботі близько 10Å. Таким чином, електронний мікроскоп дозволяє спостерігати і вимірювати особливості структури на атомному рівні. Ці дослідження проводять як за допомогою приготування реплік з досліджуваних поверхонь, так і за допомогою просвічування тонкої фольги, отриманих шляхом утонення масивного зразка до розмірів 0,5-0,25 мкм, т. Е. досліджуються «прозорі» для електронів зразки.

Новим кроком у електронно-мікроскопічному дослідженні є застосування растрових електронних мікроскопів (РЕМ) [15,17]. За допомогою цих приладів можна вивчати масивні непрозорі для електронів об'єкти. Метод РЕМ представляє особливий інтерес для аналізу структури реальних поверхонь, що мають зазвичай глибокий рельєф. Справа в тому, що в зв'язу з особливостями конструкції растровий електронний мікроскоп має надзвичайно великою глибиною фокуса. При збільшенні $\times 500$ глибина фокуса становить 0,5 мм (т. Е. Приблизно в 10^3 - 10^4 раз більше, ніж в оптичному мікроскопі), при збільшенні $\times 10\,000$ вона досягає 8000Å. Ця здатність РЕМ дає можливість досліджувати топографію поверхні при корисних збільшеннях 20 000-40 000, на багато що перевершують оптичну мікроскопію.

До наступної групи фізичних методів дослідження відносять дифракційні методи, які дозволяють аналізувати структуру і склад в обсязі матеріалу, вивчати недосконалості його кристалічної будови, пружні і залишкові навантаження, текстуру. Особливості картин, одержуваних при дифракції електронів, нейтронів або рентгенівських променів, визначаються довжинами хвиль застосовуються випромінювань і законами розсіювання променів атомами речовини. Завдяки дуже малою проникаючої здатності електронів в тверді тіла в розсіянні беруть участь тільки найтонші шари речовини (практично товщиною 10^{-6} майже $7 \cdot 10^{-6}$ в см), в той час як рентгенівську інтерференційну картину дають зазвичай шари товщиною $10^{-4} \sim 10^{-2}$ см. Слід відмітити, що в зв'язку з особливостями розсіювання електронів на електронограмах не вдається отримати інтерференційні максимуми з високими індексами, тим самим інформація їх об'єднується. Що стосується використання теплових нейтронів, то в їх розсіянні беруть участь шари товщиною в кілька міліметрів і навіть сантиметрів [16,17]. Таким чином, діапазон товщини $10^{-6} \sim 10^{-4}$ см, що займає проміжне положення в разі застосування стандартних рентгенівських методик і стандартних електронних пучків в методі електронографії, виявився малодоступним для дослідження. У літературі до сих пір фактично немає відомостей про структурні зміни в приповерхневих шарах товщиною $10^{-6} \sim 10^{-4}$ см. Між тим при терті, знос, захопленні, втомному руйнуванні основні процеси, що призводять до структурних змін, протікають саме в цих шарах і їх властивості тому є визначними у поведінці матеріалу у цілому.

Зазвичай структурні зміни в приповерхневих шарах, аналізують електроннографічеські і Електронномікроскопічеським за допомогою додаткового пошарового стравлювання (виготовлення тонкої фольги) хімічним або електролітичним способом (15). Такий шлях дослідження має істотний недолік, так як процес зняття шарів металу супроводжується перерозподілом структурних недосконалостей, виникненням значних мікронапруг. Додаткова обробка поверхонь тертя призводить до

неоднозначних результатів, а в разі наявності різкого градієнта структурних змін по глибині досліджуваного об'єкта вона зовсім неприпустима.

Сучасний розвиток методів електронної дифракції направлено в сторону застосування пучків електронів високих (до 1000 кеВ) і вельми низьких енергій порядку 10-400 еВ Ж (ДМПЕ-ZEED-дифракція повільних електронів), тим самим розширюються можливості отримання відомостей від шарів металу як більш товстих, так і вельми тонких, аж до аналізу розташування атомів зовнішнього атомного шару [28]. Електрографом повільних електронів [16, 22] представляють особливу цінність для вивчення явища адгезії металів. Поєднання методу ДМЕ і емісійної Оже-спектроскопії, за допомогою якої вдається встановити наявність елементів на поверхні Щ дуже малій концентрації (аж до 0,01 моношару для елементів з невеликими атомними номерами, наприклад кисень і вуглець), дає можливість досліджувати такі процеси як ж окислення, хемосорбция, також безпосередньо протікають на контакті і представляють великий практичний інтерес при вивченні дії мастил при терті матеріалів.

Елементний склад і характер розподілу входять в матеріал компонентів визначаються з високою точністю за допомогою традиційних хімічних, спектроскопічних, рентгеноспектральних методів аналізу, детально описаних в роботі [30]. Відзначимо тільки, що до розробки рентгеноспектрального мікроаналізу (електронного зонда) не існувало задовільного способу, дослідження розподілу різних компонентів в матеріалі з мікронним дозволом. Значний інтерес в цьому напрямку представляють нові прилади, такі, як лазерний і іонний мікрозонди, що дозволяють проводити аналіз елементів, концентрації яких складають мільйонні частки, в зоні розміром всього лише в кілька атомних шарів.

При аналізі поверхонь тертя особливо важливим є можливість дослідження методами, які не "псують» поверхні і не вимагають додаткової обробки. Таку можливість дає емісійна і абсорбційна спектроскопія, що

просвічує електронна мікроскопія. У зв'язку з цим розчинова електронна мікроскопія, а також різні дифракційні методи є основними методами дослідження. При цьому в силу особливостей, на які вказувалося вище, рентгенографічний метод дослідження є найбільш зручним і інформативним дифракційним методом. Для вивчення поверхонь тертя, де розвиваються значні пластичні деформації, руйнування, зміна складу і структури, рентгенівський метод дослідження знаходиться поза конкуренцією.

Використовуючи рентгенівські промені різної довжини хвилі (від 2А до 0, ба) отже, різної проникаючої властивості, можна аналізувати склад і структуру матеріалу на різній глибині від поверхні в зазначених вище межах 10 ~ 4 10 ~ а см. Відомо, що при даному випромінюванні при зйомці від плоскої поверхні зразка глибина проникнення рентгенівського променя в матеріал буде

$$t = \frac{\ln J_0/J}{\mu} \cdot \frac{\sin \alpha \sin (2\theta - \alpha)}{\sin \alpha + \sin (2\theta - \alpha)},$$

де / 0. J- інтенсивність падаючого і відбитого променя відповідно; μ - лінійний коефіцієнт поглинання; θ - кут дифракції; α - кут нахилу досліджуваної поверхні у напрямку первинного променя. З наведеного співвідношення видно, що товщина досліджуваного шару металу при даному випромінюванні обумовлена кутом нахилу падаючих на зразок рентгенівських променів. Це властивість рентгенозйомки від плоскої поверхні було покладено в основу розробленого в лабораторії теорії тертя маєш Л. М. Рибаквої і Д. І. Куксеновой методу дослідження поверхонь тертя [19]. Він отримав назву методу ковзаючого пучка рентгенівських променів.

Схема зйомки за методом ковзного пучка променів показана на рис. 2. Пучок променів з анода трубки з лінійчатим фокусом, пройшовши систему колімаційного пристрою, що складається з двох щілин, під строго фіксованим кутом, падає на досліджуєму поверхню зразка. Відбиті промені

реєструються іонізаційним або фотографічним способом. Для підвищення роздільної здатності дифракційної картини, визначаємої завданнями дослідження, перша щілина може бути замінена монохроматором. Основною особливістю цих зйомок є використання дуже вузького (~ 10 мкм) Практично паралельного пучка променів. Такий пучок променів дозволяє проводити зйомки при кутах нахилу а до досліджуваної поверхні близько 1° (і менш) і отримувати інформацію про структурні змінення в шарах товщиною аж до $10 \sim 6-10$ -у см в залежності від атомного номера металу і довжини хвилі випромінювання .

У табл. 8 на прикладі міді наведені результати визначення глибини бере участь у відбитті шару міді при різних кутах падіння первинного пучка променів на поверхню зразків для трьох випромінювань: Мо, Со, Сг. Розрахунок проведено для випадку, коли 75% випромінювання, що падає на зразок, поглинається які беруть участь у відбитті шаром. Схема ходу променів показана на рис.2.3.

З табл. 8 видно, що для МОК-випромінювання зміна кута падіння а від 30° до 1° приводить до зменшення товщини шару

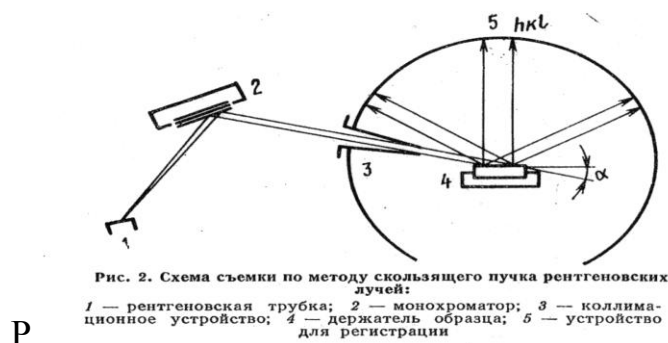


Рисунок 2.3

приблизно на порядок (від 6,5 до 0,6 мкм). Застосування більш м'якого довгохвильового випромінювання СгКа дозволяє при тих же кутах а зменшити t ще в 3 рази.

Таким чином, - змінюючи довжину хвилі рентгенівського випромінювання і кут падіння променів на поверхню зразка, надають можливість досліджувати структуру поверхневих шарів в широкому діапазоні товщини. При цьому метод ковзних променів дозволяє досліджувати гранично тонкі для рентгено-структурного аналізу шари металу та проводити не руйнуючи пошаровий аналіз структурного стану в діапазоні товщини 10 ~ 6-10 ~ 4 см, який до цього часу фактично відсутній.

Нижче наведені приклади, які ілюструють нові можливості, одержані завдяки застосуванню методу ковзного пучка рентгенівських променів.

2. Товщина ефективно розсіює рентгенівські промені шару міді при різних кутах

Таблиця 8

Излучение	$\lambda_{k\alpha}, \text{\AA}$	(hkl)	θ°	Толщина слоя (мкм) при α°					
				30	20	10	3	2	1
Mo	0,709	(331)	25° 25	6,5	6,4	4,3	1,5	1,0	0,6
Co	1,789	(111)	25 24	4,0	4,0	2,7	0,9	0,7	0,3
Cr	2,290	(111)	33 18	2,7	2,4	1,5	0,5	0,3	0,2

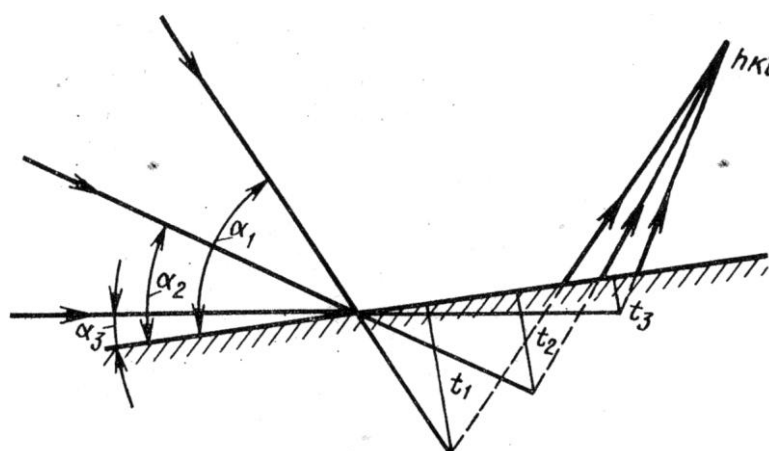


Рисунок 2.4

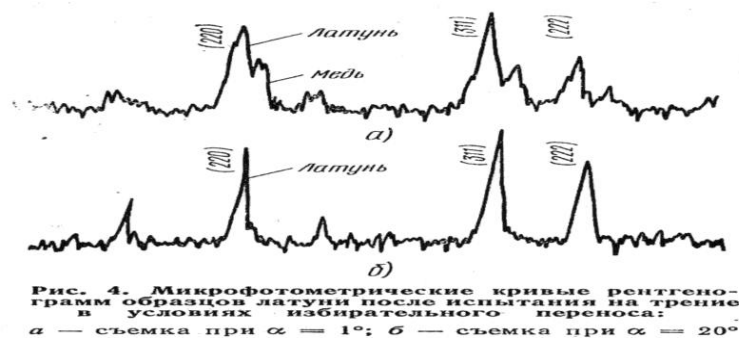


Рисунок 2.5

Так, при терті сплавів на мідній основі з допомогою звичаних рентгенозйомок не представляється можливість встановити формування на контакті в умовах виборного перенесення плівки чистої міді, яка добре видна і може бути проаналізована по рентгенограмам, отриманим за допомогою змінного пучка рентгенівських променей (рис.2. 5) [17].

За допомогою методу ковзаючого пучка рентгеновських променів можна отримати інформацію про структурні зміни поверхневих шарів, з'являючихся під дією активних середовищ [30]. У зв'язку з тим, що вплив середовища поширюється на дуже тонкі шари і їх дослідження не допускає додаткової хімічної або електролітичної обробки, наявні в літературі відомості про структуру і властивості цих шарів не можуть в даний час вважатися достовірними. На рис.2 5 показано зміна ширини інтерференційної лінії по глибині міді випробуваною на тертя в різних середовищах; чітко видно вплив ступеня активності середовища на розподіл щільності дислокацій. З отриманих даних можна зробити висновок, що активне середовище сприяє значно меншому скупченню плоскості дислокацій у приповерхневих шарах тертьових метала.

1.3.4 Фрикційні властивості матеріалів при односпрямованому і знакозмінному відносному переміщенні

Слід мати на увазі, що знакозмінні деформування супроводжується зворотно-поступальним рухом дислокацій. Багатокомпонентний характер навантаження призводить до зміни інтенсивності процесу зворотно-поступального руху дислокацій і пов'язаного з ним розвитку мікропошкодження металу, яке визначається структурним станом матеріалу. Саме умови контактної взаємодії при терті призводять до різного деформування поверхневого шару металу і формування його структурного стану з певною вільною енергією, фізичної і хімічної активністю.

1.3.5 Фрикційна утомлюваність матеріалів

Згідно з уявленнями про знос твердих тіл опір руйнуванню при дії змінних напружень, обумовлених контактним взаємодією тіл при ковзанні, характеризується кривою фрикційної втоми, яка визначає залежність між амплітудою чинного напруження або деформації і числом циклів його повторення n_f до руйнування матеріалу поверхневого шару [17].

Методи оцінки характеристик фрикційного втоми можуть бути прямими і непрямыми.

В основу прямих методів покладені випробування матеріалів на фрикційну втому, при яких число циклів до руйнування матеріалу визначається за кількістю його фрикційних взаємодій з індентором до моменту появи частки зносу.

У досліджах в якості індентора використовували кульки зі сталі ШХ15 і алмазний конус з радіусом заокруглення 40 мкм.

Випробування проводять при нормальному навантаженні на індентор, що виключає різання зразка. При декількох перших проходах індентора знос не спостерігається. Якість поверхні контролюється по профілограми поверхні

тертя зразка і контактної поверхні індентора. Після деякого числа взаємодії n_f , залежить від величини відносного впровадження, настає інтенсивне руйнування. Розвиток руйнування поверхні припиняється після певного числа циклів n_f ; яке також визначають по профілограмі.

За результатами випробувань будують залежність величини діючої напруги від кількості циклів. Коефіцієнт втоми t визначають за кутом нахилу кривої, значення 0 визначають екстраполяцією експериментальних значень при $n_f = 1$. Втомні характеристики матеріалів при пружному контакті можуть також визначатися методами, передбаченими в ГОСТ 2860-65 (метод випробування на втому). Втомлювально міцні матеріалів необхідно визначати також в залежності від температури.

Деяким різновидом циклометра являється прилад для дослідження фрикційної втоми гум, запропонований А. П. Рудаковим і Е. В. Кувшинский . Знос зразка розмірами 20x20 мм здійснюють клиноподібним металевим індентором з радіусом заокруглення 0,1 мм при зворотно-поступальному русі з реєстрацією нормального навантаження, сили тертя, глибини занурення індентора в гуму. Візуальне спостереження за станом поверхні здійснювали за допомогою мікроскопа і одночасно реєстрували на фото і кіноплівку. 4

В основі непрямих методів визначення параметрів фрикційної втоми лежать лабораторні випробування на знос. Суть методів полягає в експериментальному визначенні сталої інтенсивності зношування зразків матеріалу при заданих умовах. Розрахунком по відповідним залежностям знаходяться характеристики фрикційної втоми матеріалу. У цих методах, як правило, використовують контртіла з регулярної макрогеометрії робочих поверхонь [15,17]. Найбільш поширені схеми випробувань, використані для оцінки зносостійкості (в основному полімерів). Основними перевагами випробувань по сітці, гвинта і Архімедова спіралі, є висока стабільність стирання поверхні (власна зносостійкість);

1.3.6 Фрикційні властивості матеріалів

Матеріали, використовувані в вузлах тертя, оцінюють трьома методами: за геометричними, фізичним і механічним характеристикам; по власне фрикційним характеристикам пар твердих тіл; з випробувань вузлів тертя на стендах і в натурі.

Взаємний зв'язок результатів оцінки по кожному з цих видів випробувань не завжди буває однозначною. Причиною цього є деякі специфічні особливості природи тертя, а саме формування в зоні контакту третього тіла, природа і властивості якого залежать від природи дотичних поверхонь, доступу навколишнього середовища в зону контакту, виникаючої контактної температури.

Ці обставини є суттєвою особливістю оцінки фрикційних властивостей матеріалів, яка в повному обсязі може бути отримана лише при контактній взаємодії двох твердих тіл при наявності застосовуваного середовища. Це значно ускладнює лабораторну оцінку.

У зв'язку з цим за останні два десятиліття в науці про терті і зношуванні отримують все більший розвиток методи оцінки, відкриваючи зв'язок між елементарними основними характеристиками твердих тіл, мастильним середовищем і коефіцієнтом тертя, а також зносостійкість при взаємодії цих тіл.

Характеристики фрикційних властивостей матеріалів, отримані на основі розроблених методик, можуть бути застосовані в розрахункових залежностях при оцінці монотонно розвиваються процесів тертя і зносу. [15,17,23]

Фрикційні властивості пар тертя оцінюють на лабораторних установках за кінематичною ознакою всі установки для випробування матеріалознавством можна розділити на два класи:

1 Установки односпрямованого відносного переміщення;

2 Установки зі знакозмінними відносного переміщення.

Усередині кожного класу установки поділяються на дві групи:

1) Машини торцевого тертя; 2) машини з тертям по контактам з утворюють. Усередині кожної групи поділяють дві підгрупи за коефіцієнтом взаємного перекриття.

Отже, є вісім різних типів машин. Такий підрозділ необхідно, по-перше для моделювання різних видів руйнування поверхонь тертя і, по-друге, для виявлення впливу окремих факторів, в особливості фізико-хімічних процесів.

При однобічному і знакозмінному рухах характери руйнування різко відрізняються. Так, зворотно-поступальний рух призводить до значного зносу (наприклад, в результаті фреттинг-корозії). [15,17]

1.4 Визначення сили та моменту тертя за допомогою індуктивних датчиків та дровових датчиків опору

Застосування тензометричних датчиків для визначення величини деформації пружного елемента дозволяє значно спростити конструкцію машин тертя. Дротові тензодатчики мають високу чутливість, малою інерційністю, малої похибкою вимірювання, компактністю. Вони являють собою дротяну решітку, наліплену на основу, матеріалом якої зазвичай служить папір. Тензодатчик наклеюється на пружний елемент і по зміні електроопору тензодатчика визначають величину деформації елемента. Дротяна решітка тензодатчика виготовляється зі спеціальних сплавів, що володіють великим коефіцієнтом тензочутливості. Найбільше застосування отримав константовий дріт У фольговому датчику, який виготовляється з металевої фольги товщиною 0,001 0,01 мм необхідна конфігурація решітки виходить шляхом витравлювання відповідних частин. Наявність провідників з

прямокутним перетином в фольгових датчиках збільшує струмопровідну здатність грати і покращує зчеплення решітки з підтримуючим її матеріалом.

Перевагою цих датчиків, є те, що допустимий струм для них може досягати 0,5 а. Це дозволяє в деяких випадках відмовитися від підсилювача в схемі включення датчика. Фольгові датчики в залежності від місця їх кріплення і виду деформації можуть виготовлятися найрізноманітніших форм до матеріалу підстави дротяних і фольгових датчиків пред'являється ряд вимог. Основними є механічні міцність, гнучкість, висок; ізолюючі властивості, стійкість при нагріванні, нечутливість до вогкості, хороша склеиваемость. Цим умовам найбільш повно відповідає папір, тому вона і знайшла таке широке застосування у виготовленні тензодатчиків. Для їх виготовлення використовується тверда гладка газетний папір товщиною близько 0,1 мм в якості підкладки. Якщо датчик має кілька шарів, застосовується рисова цигарковий папір товщиною близько 0,015 мм. [28,29]

Виготовляються датчики і на плівковій основі, матеріалом якої служить бакелітовий лак, клей БФ-2 і ін. Вважають, що плівкова основа підвищує стабільність роботи тензодатчиків.

В останні роки знаходять все більше застосування напівпровідникові тензодатчики. В СРСР і за кордоном вони з'явилися в 1955-1958 роках. У порівнянні з дротяними напівпровідникові тензодатчики мають ряд переваг, у тому числі основними є: малі розміри бази, дуже висока чутливість до деформації, як правило, на 2 порядки вище, ніж у дротяних датчиків, можливість роботи без посилення.

В даний час основними матеріалами для виготовлення напівпровідникових датчиків є кремній і германій. У ряді робіт [28,29] описується технологія виробництва датчиків, наводяться їх технічні дані. Представляють інтерес напівпровідникові датчики з дендритних стрічки германію. Така дендритная

стрічка за своїми фізико-механічними властивостями аналогічна монокристалів германію.

Залежно від виду деформацій тензодатчики виготовляються двох типів працюють на стиск (розтягнення) і вигин (кручення).

До недоліків напівпровідникових тензодатчиків, які в основному можна пояснити недосконалістю технології виготовлення, слід віднести їх механічну неміцність і малу гнучкість, нестабільність чутливості в часі.

Чутливість тензодатчика і стабільність свідчень при повторних вимірах залежить від того, як добре він наклеєний на поверхню досліджуваної деталі. Тому, перш ніж закріпити датчик, поверхня деталі повинна бути належним чином підготовлена. Для металевих деталей при наявності грубої поверхні, наприклад, відливання, останню слід обробити шляхом підпилювання напилком і зачистки наждачним полотном. Остаточна зачистка виробляється тонкою наждачною шкіркою, проте поверхня не повинна бути заполірована, так як на полірованій поверхні клей погано тримається. [15,28]

Перед наклеюванням датчика поверхню деталі очищається від бруду, пилу і мастила толуолом або чистим бензином, а потім протирається 96% етиловим спиртом для видалення вологи. На підготовлену поверхню деталі і датчик жорсткої пензлем наносять тонкий шар клею і дають йому підсохнути протягом 15 хв, потім знову наносять шар клею і через 2-3 хв накладають датчик. Сильним натисканням пальців або гумовим валиком через фільтрувальну папір видавлюють з-під датчика надлишок клею і можливі бульбашки повітря. Фільтрувальний папір може бути залишена на датчику. Шар клею під датчиком повинен бути тонким і приблизно однакової товщини по всій поверхні, в іншому випадку датчик допускає меншу силу струму при вимірах.

Після наклеювання датчик накривають цигарковим папером, щоб не пошкодити грати і притискають вантажем або струбциною через повстяну

або гумову прокладку. При роботі з ацетонової клеєм датчик слід витримувати ЦОД вантажем 2-3 кг протягом 1,5-2 ч при кімнатній температурі.

Для виготовлення датчиків і кріплення їх на виробах, деформація яких визначається, вживаються целулоїдний клей (целулоїд, розчинений в ацетоні), карбінольний, бакелітовий, бакеліто-фенольний (БФ-2, БФ-4), окремі модифікації Ціаноакрілатний клею та ін.

Основною характеристикою тензодатчика є коефіцієнт тензочутливості, що є мірою величини зміни опору для даної деформації. Його можна виразити формулою, Основною характеристикою тензодатчика є коефіцієнт тензочутливості, що є мірою величини зміни опору для даної деформації. Його можна виразити формулою,

$$F = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L},$$

де R і L - опір і довжина дроту тензодатчика, а ΔR і ΔL - малі зміни опору і довжини, що з'являються внаслідок деформації датчика. [15,28]

Знаючи коефіцієнт тензочутливості та відносна зміна опору, можна визначити величину відносної лінійної деформації уздовж бази

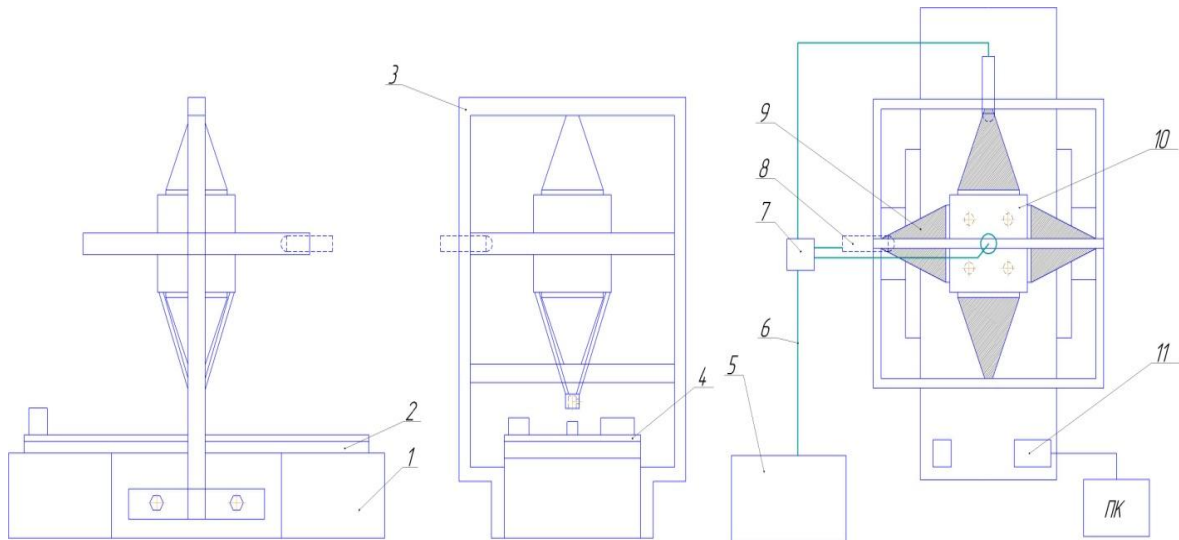
$$\epsilon = \frac{\Delta R/R}{F}.$$

Висновки до розділу

Проведено аналіз літературних джерел про стан досліджень в галузі трибо-техніки характеристик матеріалів при динамічному контактному навантаженні. Визначені вузли тертя машин з плоско-паралельним переміщенням деталей і динамічному навантаженні. Проведено аналіз пристроїв визначення трибологічних характеристик матеріалів за умов складного динамічного навантаження. Визначені мета і завдання досліджень.

Розділ 2 Конструювання установки для дослідження трибо логічних характеристик матеріалів

2.1 Принципова схема і опис конструкції та роботи установки



Пристрій містить корпус 1; механізм статичного навантаження, що складається з тримача зразка 2, пружних пластини 3, тримачів пружних пластин 4, тіла інерції 5; механізм динамічного навантаження, що складається з віброштовкачів 6, пневмопроводу 7, розподільювача повітря 8.

Рисунок 2.6 принципова схема установки.

Механізм статичного навантаження має змогу переміщення у трьох площинах, а тіло інерції 5 виконано у формі куба на кожній стороні якого розташовані по два взаємоперпендикулярних пази для пружних пластин 3.

Механізм динамічного навантаження містить: віброштовкачі 6, які жорстко закріплені до корпусу 1, що дозволяє забезпечити динамічне контактне навантаження зразка; пневмопровід 7, який через розподільювач повітря 8 поєднує віброштовкачі 6 з компресором.

До нерухомої частини трибометру закріплюють пристрій для дослідження трибологічних характеристик матеріалів. На дошку трибометру встановлюють контрзразок. У тримач зразка 2 встановлюють зразок, щодосліджують. Подають напругу на компресор, який за допомогою розподільвача повітря 8 забезпечує утворення тиску у пневмопроводі 7 для створення динамічного навантаження зразка за допомогою виброштовкачів 6. Динамічне навантаження зразка можливо регулювати, змінюючи тиск у пневмопроводі 7 за допомогою розподільвача повітря 8. Статичне навантаження на зразок задають за допомогою маси: тіла інерції 5, тримачів пружних пластин 4, пружних пластини 3, тримача зразка 2. Запропонований пристрій дозволяє досліджувати знос зразка при динамічному контактному навантаженні у трьох площинах. При повздовжньому русі плити трибометру зразок взаємодіє з контрзразком, що створює умови максимально наближені до реальних.

2.2 Розрахунок основних параметрів установки

2.2.1 Початкові умови

найбільша частота коливань, відтворена пульсаторами - 60 Гц;

- найменша амплітуда коливань - 0,02 мм;

- найбільше питомий тиск в контакті зразка і контробразца - 0,25 МПа;

- маса установки $m = 1,8$ кг

2.2.2 Розрахунок сили тертя зразків

Для розрахунку сили тертя вибирається пара матеріалів, що мають найбільший коефіцієнт тертя. При проведенні експериментів планується відчувати пари зразків зі сталі 40ХФ в умовах сухого тертя ковзання. Ці пари мають найбільший коефіцієнт тертя серед інших передбачуваних поєднань матеріалів, таких як чавун-чавун, сталь-чавун, сталь-бронза, сталь-фторопласт.

Коефіцієнт сухого тертя ковзання для гладких поверхонь пари сталь-сталь приймається: $f = 0,18$

Значення коефіцієнта тертя при проведенні випробувань з накладенням коливань невідомо і є шуканої величиною. Припускаючи, що він може збільшуватися при застосуванні певних комбінацій динамічних навантажень, розрахунковий коефіцієнт тертя необхідно збільшити стосовно табличному значенню. Тому для подальших розрахунків приймається коефіцієнт тертя $f = 0,3$.

Сила тертя, необхідна для створення коливань зразка відносно контробразца визначається за формулою:

$$F_{mp} = F_n \cdot f$$

де F_n - нормальне навантаження на зразок, Н

Нормальна навантаження на зразок визначається виходячи з максимального значення питомої тиску на поверхні зразка і площі цієї поверхні.

$$F_n = P_{yd} \cdot \frac{\pi \cdot (D_1^2 - D_2^2)}{4}$$

де D_1, D_2 - зовнішній і внутрішній діаметри робочої поверхні зразка відповідно, мм;

Максимально питомий тиск на зразок, МПа

$$D_1=12; D_2=8; P_{yd}=0,25 \text{ МПа}$$

$$F_n = 0,5 \cdot \frac{3,14 \cdot (12^2 - 8^2)}{4} = 31,4 \text{ Н}$$

$$F_{mp} = 15,7 \cdot 0,3 = 9,42 \text{ Н}$$

2.2.3 Розрахунок пружних пластин

Ширина плоскої пружини визначається за формулою:

$$B = \frac{6 \cdot F_{\max} \cdot L_o}{h^2 \cdot [\sigma]_{\mu}}$$

де $F_{\max}$ - максимальне навантаження на одну пружину, Н;

L_o - довжина вільної частини пружини, мм;

h - товщина поперечного перерізу пружини, мм;

$[\sigma]_{\mu}$ - допустима напруга вигину для матеріалу пружини, МПа

Конструктивно приймається: $L_o = 56$ мм; $h = 2$ мм

Допустима напруга вигину $[\sigma]_{\mu}$ і приймається: де $F_{\max}$ - максимальне навантаження на одну пружину, Н;

L_o - довжина вільної частини пружини, мм;

h - товщина поперечного перерізу пружини, мм;

$[\sigma]_{\mu}$ - допустима напруга вигину для матеріалу пружини, МПа

Конструктивно приймається: $L_o = 56$ мм; $h = 2$ мм

Допустима напруга вигину $[\sigma]_{\mu}$ і приймається:

$$[\sigma]_{\mu} = 0,5 \cdot \sigma_B$$

де σ_B - межа міцності матеріалу при розтягуванні, МПа

Для рессорно-пружинної сталі марки 65Г $\sigma_B = 1000$ МПа

Відповідно $[\sigma]_{\mu} = 500$ МПа

$$B = \frac{6 \cdot 31,4 \cdot 56}{2^2 \cdot 500} = 5,27 \text{ мм}$$

Конструктивно приймається ширина пластини $B = 10$ мм

Максимально допустима деформація пружини визначається за формулою:

$$f_3 = \frac{2 \cdot L_o^3 \cdot [\sigma]_{\mu}}{B \cdot h^3 \cdot E}$$

$$f_3 = \frac{2 \cdot 56^3 \cdot 500}{10 \cdot 2^3 \cdot 21000000} = 0,1_{мм}$$

Деформація пружини при розрахунковому навантаженні визначається за формулою: деформація пружини при розрахунковому навантаженні визначається за формулою:

$$f = \frac{4 \cdot L_o^3 \cdot F_{\max}}{B \cdot h^3 \cdot E} \quad f = \frac{4 \cdot L_o^3 \cdot F_{\max}}{B \cdot h^3 \cdot E}$$

де E - модуль пружності, МПа

E=21000000 МПа

$$f = \frac{4 \cdot 56^3 \cdot 31,4}{10 \cdot 2^3 \cdot 21000000} = 0,01_{мм}$$

2.3 Розробка пневматичного віброштовхача

2.3.1 Розрахунок параметрів

Для визначення максимальної частоти коливань, створюваної пульсатором необхідно розрахувати час ходу пульсатора.

Час ходу пульсатора з поворотною пружиною для здійснення одного циклу коливань визначається за формулою:

$$t_y = t_s + t_o$$

де t_s - час робочого ходу пульсатора, с;

t_0 - час зворотного ходу під дією поворотної пружини, з

Час робочого ходу пульсатора розраховується за формулою:

$$t_s = t_1 + t_2$$

де t_1 - час зміни тиску в робочій порожнині до початку руху поршня, с;

t_2 - час на переміщення поршня, з

Час t_1 приймається з умови:

$$t_1 = 0.15 \cdot t_2$$

Час t_2 розраховується за формулою:

$$t_2 = \tau \cdot \sqrt{\frac{m \cdot s}{M \cdot p_m \cdot F}}$$

де τ - безрозмірний час;

m - маса поршня і прикріплених до нього частин, кг;

s - хід поршня, мм;

M - розрахунковий параметр

p_m - тиск повітря в магістралі, кгс / мм²;

F - площа поршня, мм²

Конструктивно маса поршня і прикріплених до нього частин $m = 0,05$ кг.

Хід поршня приймається рівним мінімальній амплітуді коливань: $s = 0,02$ мм.

Тиск повітря в магістралі $p_m = 6$ кгс / см²

Величина τ визначається з графіка і залежить від величини ω .

Величина ω визначається як відношення площ вихлопного f_v і вхідного f отвору циліндра пульсатора:

$$\omega = \frac{f_e}{f}$$

Зазвичай при конструюванні пневматичних пульсаторів приймається

$$\omega = 1,75.$$

$$\text{Звідси } \tau = 3,8$$

Параметр М визначається за формулою:

Зазвичай при конструюванні пневматичних пульсаторів приймається $\omega = 1,75$.

$$\text{Звідси } \tau = 3,8$$

Параметр М визначається за формулою:

$$M = \left(\frac{f \cdot K}{F} \right)^2 \cdot \frac{m \cdot R \cdot T_m}{p_m \cdot F \cdot s}$$

де К - параметр;

ТМ - температура робочого середовища (повітря), оС;

Р - газова стала повітря, кгс / (кг • ° С)

Температура робочого середовища приймається рівною температурі повітря в приміщенні: ТМ = 20 оС.

$$R = 29,3 \text{ кгс} / (\text{кг} \cdot ^\circ \text{C})$$

Площа вхідного отвору визначається за формулою: де К - параметр;

ТМ - температура робочого середовища (повітря), оС;

Р - газова стала повітря, кгс / (кг • ° С)

Температура робочого середовища приймається рівною температурі повітря в приміщенні: ТМ = 20 оС.

$$R = 29,3 \text{ кгс} / (\text{кг} \cdot ^\circ \text{C})$$

Площа вхідного отвору визначається за формулою:

$$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

де d - діаметр вхідного отвору, мм

Конструктивно, діаметр вхідного отвору d = 2 мм

$$f = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ мм}^2 = 0,314 \text{ см}^2$$

$$M = \left(\frac{0,314 \cdot 8}{1,44} \right)^2 \cdot \frac{0,05 \cdot 29,3 \cdot 20}{6 \cdot 1,44 \cdot 0,02} = 170$$

Параметр До визначається за формулою:

$$K = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot k}{k - 1}}$$

де g - прискорення вільного падіння, м / с²;

k - показник адіабати

Показник адіабати k визначається за формулою:

де g - прискорення вільного падіння, м / с²;

k - показник адіабати

Показник адіабати k визначається за формулою:

$$k = n \cdot H$$

Величини n і H визначаються з графіків в залежності від ставлення тисків в початковий і кінцевий момент ходу поршня (падіння тиску) Y в робочій камері пульсатора.

При конструюванні пневматичних пульсаторів приймають Y

При Y=0,5 n=1,2; H=1,2

$$k = 1,2 \cdot 1,2 = 1,44$$

$$K = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot 1,44}{1,44 - 1}} = 8,0$$

Площа поршня визначається за формулою: Площа поршня визначається за формулою:

$$F = \frac{P \cdot (1 + a)}{\eta \cdot p_m}$$

де P - сила на штоку, кгс;

η - коефіцієнт;

a - коефіцієнт

При постійному параметрі навантаження приймається $\eta = 0,3$; a = 0,3

Значення сили тертя P1 визначається за формулою:

$$P_1 = a \cdot P,$$

де a - коефіцієнт тертя

$$a=0,3$$

$$P_1 = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ кгс} = 6 \text{ Н} \quad P_1 = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ кгс} = 6 \text{ Н}$$

$$F = \frac{2 \cdot (1 + 0,3)}{0,3 \cdot 6} = 1,44 \text{ см}^2$$

Діаметр поршня визначається за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,44}{3,14}} = 0,78 \text{ см}$$

Приймається стандартне значення діаметра поршня D = 8 мм

$$t_2 = 3,8 \cdot \sqrt{\frac{0,05 \cdot 0,02}{170 \cdot 6 \cdot 1,44}} = 0,003 \text{ с}$$

$$t_1 = 0,15 \cdot 0,003 = 0,00045 \text{ с}$$

Час зворотного ходу поршня під дією поворотної пружини визначається за формулою:

$$t_o = \tau_p \sqrt{\frac{m \cdot s}{M \cdot p_m \cdot F}}$$

де τ - безрозмірний час

Для визначення τ з графіка згідно [1] необхідно визначити безрозмірну жорсткість пружини ν .

Безрозмірна жорсткість пружини визначається за формулою:

$$\nu = \frac{c \cdot s}{p_m \cdot F}$$

де c - жорсткість пружини, кгс / мм

Виходячи з діаметральні габаритів циліндра пульсатора для здійснення зворотного ходу поршня вибирається стандартна пружина сжатія 1086-0769 ГОСТ 13771-68.

Основні характеристики пружини 1086-0769 ГОСТ 13771-68:

- зовнішній діаметр $D = 8$ мм
- діаметр дроту $d = 0,8$ мм
- крок витків $t = 3,08$ мм
- довжина у вільному стані $H_0 = 16,6$ мм
- число робочих витків $n = 5$
- загальне число витків $n_1 = 7$
- зусилля $P_2 = 2$ кгс = 20 Н при деформації $F_2 = 9,1$ мм

Жорсткість пружини визначається за формулою:

$$c = \frac{P_2}{F_2}$$

$$c = \frac{2}{9.1} = 0.22 \text{ кгс} / \text{мм} = 2,2 \text{ кгс} / \text{см}$$

$$\nu = \frac{2,2 \cdot 0,02}{6 \cdot 1,44} = 0,05$$

Звідси безрозмірний час $\tau = 18$

$$t_o = 18 \sqrt{\frac{0,05 \cdot 0,02}{170 \cdot 6 \cdot 1,44}} = 0,013$$

$$t_{\text{ц}} = 0,00345 + 0,013 = 0,01645$$

Максимально допустима частота коливань пульсатора розраховується за формулою:

$$\omega_{\kappa} = \frac{1}{t_{\text{ц}}}$$

$$\omega_{\kappa} = \frac{1}{0,01645} = 60,79 \text{ Гц}$$

Задана частота коливань $\omega = 60$ Гк забезпечується при заданих конструктивних параметрах пульсатора.

Висновки до розділу: Розроблена конструкція установки для дослідження зносостійкості матеріалів, яка дозволяє проводити їх при осцилюючому переміщенні в координатах (x, y, z) і одночасному накладенні однонаправлене переміщення.

3 Методика проведення випробувань з використанням розробленої установки

3.1 Визначення сили та коефіцієнту тертя

Встановлено основні закономірності тертя і зношування за умов динамічного навантаження та високих температур. Зокрема визначено:

- температура поверхонь, що контактують, впливає на трибохарактеристики (абсолютний розмір зносу, інтенсивність зношування, коефіцієнт тертя) найбільш істотно і, як правило, призводить до їх зниження. При цьому має місце критична температура, де зниження найбільш суттєве;
- опір зношуванню жароміцних дисперсійно-зміцнених сплавів, а також характер зміни коефіцієнта тертя в основному визначається умовами утворення і руйнування захисного поверхневого прошарку, що є результатом

окислювання поверхні з наступним механічним ущільненням продуктів зношування й оксидів; [15]

- основним механізмом зношування жароміцних матеріалів є руйнування локальних об'ємів поверхневого прошарку від втоми, яке ініціюється зміною морфології зміцнюючої інтерметалідної фази. За температур, що перевищують критичні, превалюючим механізмом є окислювальний, який супроводжується зі збільшенням амплітуди просковзування захопленням матеріалів та їх багаторазовим перенесенням однієї поверхні на іншу. Перенесені об'єми матеріалу руйнуються внаслідок малоциклової втоми. Поява зазору в з'єднанні призводить до розвитку процесів удару, що можуть цілком порушити упорядковану послідовність швидкостей зносу матеріалів, що має місце при взаємодії поверхонь в умовах без розриву контакту; в умовах термоцикування підвищений знос робочих поверхонь визначається протіканням протягом одного термоциклу процесів окислення та втоми. [15,21]

3.2 Визначення лінійного зносу методи профілографування

При дослідженнях визначався лінійний знос (h) безпосереднім виміром пари зразків за допомогою двох індикаторних годин з ціною поділки 0,001 мм, встановлених на вилці (рис. 2.8), що дозволяє визначати величину зносу в будь-який момент часу, не знімаючи зразків з установки. При цьому величина зносу знаходиться з різниці показань індикаторів до і після встановленого (необхідного) числа циклів навантаження.

Інтенсивність зношування розраховувалася як відношення величини обсягу зношеного матеріалу до кількості циклів контактування: [25]

$$J_v = V/n, \quad (2.26)$$

де J_v - інтенсивність зношування, мм³ / цикл;

V - об'єм зношеного матеріалу, мм³;

n - кількість циклів навантаження.

Обсяг зношеного матеріалу перебувати з профілограм, знятих за допомогою профілографа - профілометра заводу «калібр» моделі 201:

$$V = V_{\text{л}} + V_{\text{адг}} \quad (2.27)$$

$$V_{\text{л}} = h_{\text{л}} F, \quad (2.28)$$

де $V_{\text{л}}$ - лінійна складова обсягу зношеного матеріалу, мм³;

$h_{\text{л}}$ - величина лінійного зносу зразка, мм;

F - контурна площа контакту зразка після випробувань, мм²;

$V_{\text{адг}}$ - адгезійна складова обсягу зношеного матеріалу, мм³.

Величина адгезійної складової обсягу зношеного матеріалу оп-ределяється з виразу:

$$V_{\text{адг}} = R F K_{\text{н}}, \quad (2.29)$$

где $R = 1/n \sum_{i=1}^n R_i$ - середня глибина пошкоджень (рис. 2.9), мм;

$K_{\text{н}}$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність ушкоджень по площі контакту.

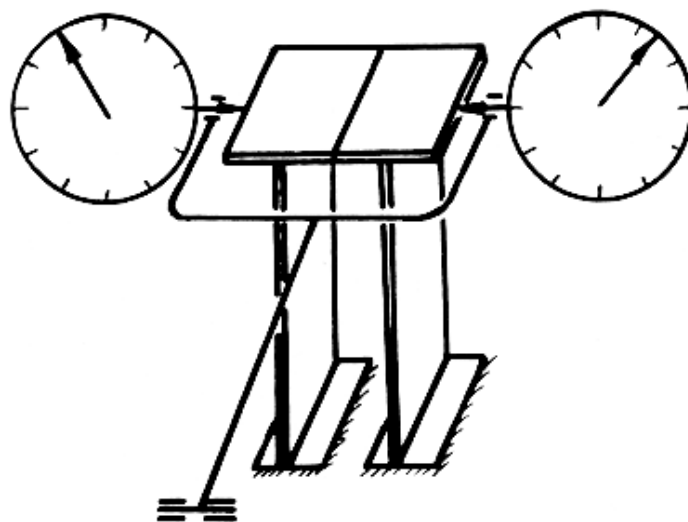


Рисунок. 2.7 - Схема вимірювання лінійного зносу

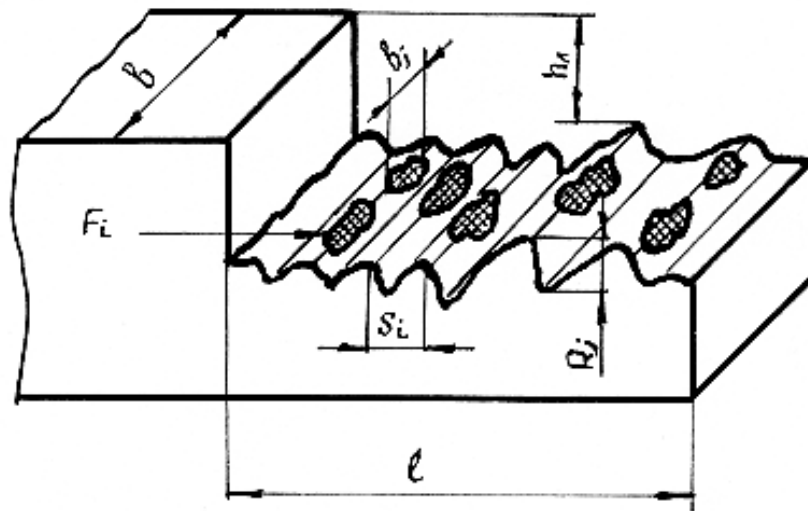


Рисунок. 2.8 - Схема до визначення величини обсягу зношеного матеріалу

Коефіцієнт нерівномірності ушкоджень залежить від форми мікрорельєфу зношеної поверхні. Найбільш часто зустрічаються окремі вириви, на слідах зносу з борознами вздовж напрямку ковзання (регулярний мікрорельєф), у вигляді еліпса неправильної форми (в плані) або паралелограма. У загальному випадку K_n може бути знайдений з відношення суми площ окремих виривів до контурної площі контакту: [15,26]

$$K_n = F_1 / F, (2.30)$$

де F_1 - сумарна площа окремих виривів на регулярному мікрорельєфі, мм²;

F - контурна площа контакту (регулярного мікрорельєфу), мм².

$$F_1 = \sum_{i=1}^n F_i, (2.31)$$

де F_i - елементарна площа ушкодження.

Для ушкоджень типу еліпса

$$F_i = 2 \int_{-c}^{+d} d/c \sqrt{c^2 - x^2} dx, (2.32)$$

де c і d - осі еліпса.

Інтегруючи вираз (2.32), отримаємо:

$$F_i = \Pi_{cd}. (2.33)$$

Підставивши замість c і d їх позначення (див. Рис. 2.9), знаходимо:

$$F_i = 1,57 S_i B_j, (2.34)$$

тоді

$$F_l = 1.57 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_i B_j (2.35)$$

Контурна площа контакту:

$$F = B \sum_{i=1}^n S_i / 2 = Bl. (2.36)$$

Тоді коефіцієнт нерівномірності пошкоджень:

$$K_n = (1,57 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_i B_j) / Bl (2.37)$$

У разі форми ушкоджень у вигляді паралелограма (в плані) коефіцієнт нерівномірності може бути знайдений з відношення суми обсягів елементарних ушкоджень до обсягу пошкоджень при регулярному мікрорельєфі.

$$K_n = V_1 / V, (2.38)$$

де V_1 - сумарний обсяг окремих виривів, мм³;

V - об'єм пошкоджень при регулярному мікрорельєфі, мм³.

$$V_1 = \sum_{i=1}^n V_i. \quad (2.39)$$

Обсяг елементарного вириваючи:

$$V_i = \frac{1}{12} S_i^2 R_j. \quad (2.40)$$

Тут допускається, що глибини елементарного пошкодження регулярного мікрорельєфу рівні.

$$V_1 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n S_i^2 \sum_{j=1}^m R_j. \quad (2.41)$$

Обсяг пошкоджень при регулярному мікрорельєфі:

$$V = \frac{1}{2} b \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{2} \sum_{j=1}^m R_j. \quad (2.42)$$

Підставивши у вираз вираження обсягів V_1 і V знаходимо:

$$K_n = \frac{1}{2b} \sum_{i=1}^n S_i. \quad (2.43)$$

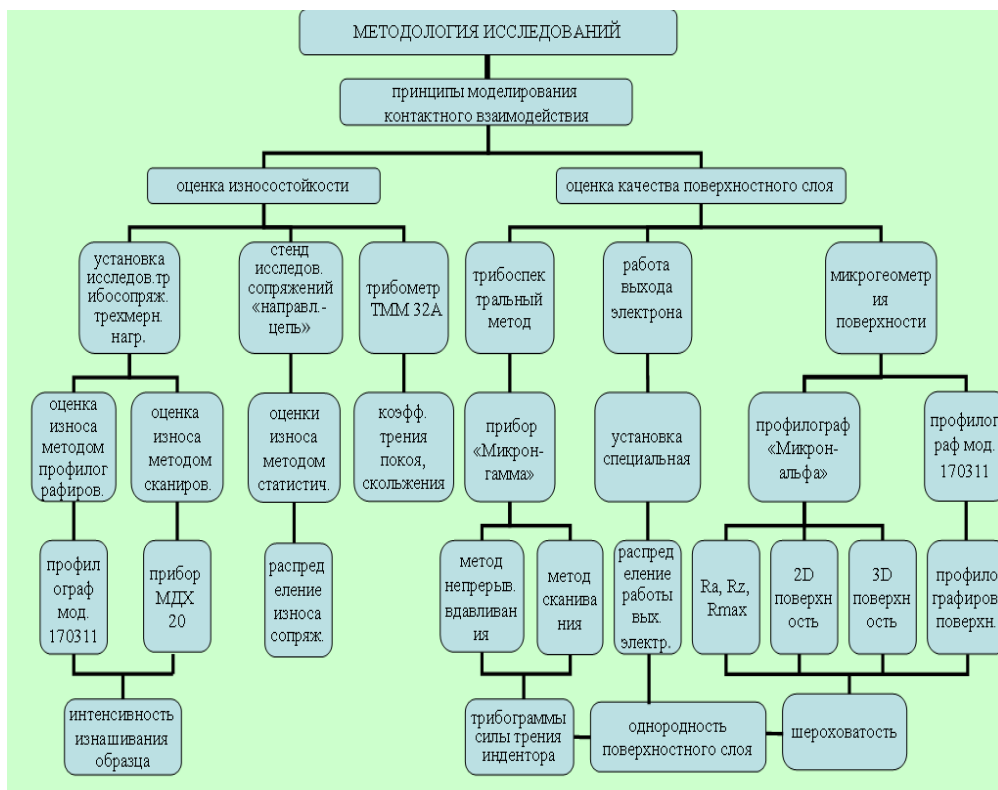
3.3 Визначення інтенсивності зношування (курсовий розділ 2)

Існуючі методи визначення інтенсивності зношування стримують виявлення всього різноманіття процесів контактних взаємодій і поверхневого руйнування. Випробування натурного вузла тертя не завжди можливі через тривалість випробувань і велику вартість проведення експерименту по повному циклу. Для побудови загальної закономірності інтенсивності

зношування від швидкості відносного ковзання і питомого навантаження тільки для одного матеріалу і однієї робочої середовища потрібно близько 300 годин роботи [65]. Крім того, при вимірюванні інтенсивності зношування традиційними методами спостерігається великий розкид даних (50%).

Таким чином, для підвищення довговічності деталей трибосопряжених, що працюють в умовах трехкомпонентного навантаження, необхідні додаткові дослідження, які дозволили б розкрити механізм процесу руйнування, зміни властивостей поверхневого шару, і обґрунтувати вибір конструктивно технологічних заходів. Необхідно визначити також ступінь впливу стану пластично деформованого металу, його деструкції, на ступінь придатності до експлуатації. При цьому великого значення набувають методи прискорених випробувань пар тертя, при яких необхідний обсяг інформації про зносостійкості виходить в більш короткий термін. [15,27]

Загальна схема методології проведення досліджень представлена на рисунку 2.9.



3.4 Матиматичне планування експерименту (повний факторний експеримент $n=p^3$)

3.4.1 Лінійна модель

Для металургійних процесів характерна велика кількість факторів, що впливають на досліджуване явище. Ефективність повного факторного експерименту різко знижується з ростом числа факторів, так як значно збільшується кількість дослідів. Тому він в більшості випадків реалізується у вигляді дрібного факторного експерименту, т. Е. Частково. Якщо при цьому число дослідів кратно числу рівней факторів, то планування експерименту спрощується. При проведенні дробового факторного експеримента не зважають на більшість ефектів взаємодії, а визначають тільки головні (лінійні) ефекти кожного фактора. В цьому випадку ефекти взаємодії не зникають, а змішуються з головними. Вони зазвичай на порядок менше головних і тому практично не впливають на властивості моделі. Мінімальна кількість дослідів має бути на один більше числа факторів, так як необхідно обчислити вільний член моделі. [15,17]

3.4.1.1 Кодування факторів

Планування багато факторного експерименту передбачає, перш за все вибір критеріїв варіювання змінних. Межі варіювання називають верхнім і нижнім рівнями і позначають $+1$ і -1 (або $+$ і $-$). Зазвичай число рівнів для однієї серії дослідів обмежується двома. План експерименту при цьому називають планом типу 2^R , де R -кількість факторів, що враховуються в експерименті. Для переходу від натуральних значень факторів до значень $+/-1$ проводиться так зване кодування факторів, яке визначається співвідношенням: Планування багато факторного експерименту передбачає, перш за все вибір критеріїв варіювання змінних. Межі варіювання називають верхнім і нижнім рівнями і позначають $+1$ і -1 (або $+$ і $-$). Зазвичай число рівнів для однієї серії дослідів обмежується двома. План експерименту при

цьому називають планом типу 2^R , де R -кількість факторів, що враховуються в експерименті. Для переходу від натуральних значень факторів до значень ± 1 проводиться так зване кодування факторів, яке визначається співвідношенням:

$$x_i = \frac{x_j - x_{j0}}{I_j},$$

Де x_i - кодоване поточне значення фактора (± 1); x_j - натуральне текущее значення фактора; x_{j0} -натуральне значення нульового рівня є і x_v - натуральні значення нижнього і верхнього рівнів фактора; I_j - натуральне значення інтервалу варіювання ($I_j = x_v - x_{j0}$).

$$x_{j0} = \frac{x_n + x_v}{2}, x_n$$

Формула являє собою лінійне перетворення факторного простору, тобто перенесення початку координат в точку, відповідну x_{j0} , і вибір масштабів по осях в одиницях інтервалів варіювання. Нехай є дві незалежні змінні x_1 і x_2 кожна з яких варіюється на рівнях ± 1 . Тоді кількість необхідних дослідів буде дорівнює чотирьом, план експерименту наведено на табл. 4. Пояснимо сказане конкретним прикладом. Нехай потрібно скласти план експерименту по визначенню середньої швидкості автомобіля в залежності від споживаної питомої потужності N і передавального числа головної передачі i . [15,34]

Варіювання проводиться в межах NOT 7,5 до 15,0 кВт / тс і i від 6 до 10. За формулою виробляємо кодування змінних:

$$x_1 = \frac{N - 11,25}{3,75}; \quad x_2 = \frac{i - 8}{2}.$$

3.4.2 Матриця планування

Повний трьохфакторний експеримент 2^3 описується моделлю

$$Y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{1,2}x_1x_2 + b_{1,3}x_1x_3 + b_{2,3}x_2x_3 + b_{1,2,3}x_1x_2x_3,$$

де b {- головні (основні) ефекти факторів; B_{ij} - допоміжні ефекти, що відображають взаємодію декількох факторів. План повного трьохфакторного експерименту представлений у вигляді матриці 23 в табл. 9

План повного трьохфакторного експерименту[15,26]

Таблиця 9.

Опыт	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	1	Y_1
2	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	Y_2
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	Y_3
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	Y_4
5	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	Y_5
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	Y_6
7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	Y_7
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	Y_8

3.4.3 Визначення коефіцієнта регресії

Після розробки плану експерименту приступають до виконання дослідів у випадковій послідовності, щоб виключити вплив неврахованих регулярних факторів. Для розрахунку коефіцієнтів регресії (ефектів факторів) за даними дослідів використовують рівняння

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum Y_n; \quad b_i = \frac{1}{N} \sum x_{i,n} Y_n; \\ b_{i,j} = \frac{1}{N} \sum x_{i,n} x_{j,n} Y_n,$$

де N - кількість дослідів в плані експерименту. Так як значення факторів рівні 1 або -1, то визначення коефіцієнтів моделі зводиться до алгебраїчного підсумовування результатів кожного досвіду зі знаком, відповідним значенням фактора.

Для розрахунку дисперсії експерименту проводять ряд дослідів при постійних (найкраще при середніх) значеннях факторів. Помилку експерименту можна розрахувати і за результатами раніше проведених дослідів. Адекватність отриманої моделі, які в регресійному аналізі, визначають за критерієм Фішера. Значимість коефіцієнтів регресії встановлюють за допомогою критерію Стюдента. Екстремальні значення шуканої залежності виявляють методом крутого сходження. При цьому вибирають такі нові значення факторів, які забезпечують максимальне збільшення параметра оптимізації. [15,34]

3.4.4 Перевірка відтворюваності, значущості, адекватності моделі

Перевірка відтворюваності експериментальних даних. Здійснюється на основі перевірки однорідності вибірових дисперсій. При відомих значеннях uv (див. П. Б.3) для кожної точки плану експерименту обчислюються построчні дисперсії за формулою

$$S_v^2 = \frac{1}{m} \sum (y_i - \bar{y}_v),$$

де m -число повторюваних вимірювань в кожній точці плану.

Перевірка однорідності отриманих дисперсій проводиться з використанням критерію Фішера або Кохрена.- При цьому слід мати на увазі, що використання критерію Фішера при числі дисперсій більше двох не ефективна оскільки в оцінці беруть участь тільки найбільша і найменша дисперсії. Критерій Кохрена придатний для тих випадків, коли число повторних експериментів в усіх точках плану однаково. Тому він частіше застосовується при перевірці однорідності порядкової дисперсій.

Для розглянутого випадку експериментальне значення критерію Кохрена визначається відношенням

$$G = S_{v, \max}^2 / \sum_{v=1}^k S_v^2,$$

порівнявши яке з критичним значенням $G_{кр}$, можна зробити відповідні висновки. Якщо $G < G_{кр}$ для обраних рівня значущості і числа ступенів свободи, то гіпотеза про однорідність порядкової дисперсій нудиться. Далі можна обчислити середню дисперсію відтворюваності одиничного результату[17,34]

$$S^2\{y\} = \frac{1}{k} \sum_{v=1}^k S_v^2,$$

яка являє собою середню арифметичну величину з k дисперсій різних варіантів експерименту.

Можна також визначити середню для всього експерименту дисперсію відтворюваності середнього значення величини y за формулою:

$$S^2\{\bar{y}\} = S^2\{y\}/m.$$

Проводиться незалежно для кожного коефіцієнта з використанням t-критерію Стюдента. Спочатку розраховується дисперсія окремого коефіцієнта регресії; при рівномірному дублювання експериментів у всіх точках плану з m повторюваними експериментами вона визначається виразом

$$S^2\{b_i\} = S^2\{y\}/(mk).$$

Далі знаходиться експериментальне значення критерію Стюдента за формулою

$$t_i = |b_i|/\sqrt{S^2\{b_i\}}.$$

Якщо $t_i < t_{\text{кр}}$ для обраних рівня значущості і числа ступенів свободи, то коефіцієнт b_i визнається значущим, в іншому випадку - статистично незначущим ($\beta_i = 0$). Після перевірки значущості всіх коефіцієнтів складається регресійна модель явища, що зв'язує шуканий параметр y зі змінними і включає в себе тільки значущі коефіцієнти регресії.

Статистична незначимість коефіцієнта регресії може бути обумовлена великою похибкою експерименту внаслідок впливу неконтрольованих і некерованих

факторів, малим інтервалом варіювання фактора відсутністю функціонального зв'язку даної змінної (твори змінних) з величиною y . В окремих випадках статистична незначимість коефіцієнта регресії може бути пов'язана з тим, що основний рівень фактора близький до точки приватного екстремуму по змінній x_i . Залежно від конкретної причини необхідно вжити заходів до зменшення похибки експерименту, збільшення інтервалу варіювання фактора або стабілізації фактора на певному рівні. [15,34]

Чим більше за абсолютним значенням коефіцієнт регресії, тим сильніше впливає він на величину y в заданому інтервалі варіювання

факторів. У разі, якщо $B > 0$, збільшення x_i призводить до зростання y_i навпаки. Значимість коефіцієнта регресії при творі факторів свідчить про те, що дія одного з них залежить від рівня, на якому знаходиться інший фактор.

Перевірка адекватності регресійної моделі. Отриману в результаті факторного експерименту регресійну модель явища слід перевірити на адекватність - відповідність математичної моделі і експериментальним даним з необхідним ступенем точності. Перевірка гіпотези про адекватність моделі здійснюється на основі оцінки відхилень величини y , розрахованої за регресіонним рівнянням, від результатів експериментального визначення y_v в різних точках простору.

При однаковій кількості повторюваних експериментів в кожній точці плану дисперсія адекватності визначається виразом

$$S_a^2 = \frac{m}{kr} \sum_{v=1}^k (\hat{y} - \bar{y}_v)^2,$$

де g - число значущих коефіцієнтів у регресійній моделі.

Перевірка гіпотези адекватності моделі проводиться з використанням критерію Фішера, який для розглянутих умов записується в наступному вигляді:

$$F = S_a^2 / S^2 \{y\},$$

де $S^2 \{y\}$ - дисперсії відтворюваності.

Якщо $F < F_T$ для обраних рівня значущості і числа ступенів свободи $f_a = k - 2$ и $f_a = k (m - 1)$, то регресійна модель визнається адекватною реальному явищу і може застосовуватися в практичних розрахунках.

Перевірка адекватності регресійної моделі, як видно з наведених формули, можлива тільки при $a > 0$. У разі коли $k = g$ ($a = 0$), адекватність моделі перевіряється різницею $y_0 - u_0$. Якщо дана різниця значима, то це

вказує на неадекватність лінійної моделі, а також моделі, що містить взаємодії факторів. [34]

3.5 Матеріали і зразки до випробувань

Умови проведення випробувань максимально наближені до натурних (конструктивне виконання вузла, кінематика, навколишнє середовище та ін.).

У процесі досліджень проводиться оцінка стану поверхневого шару контактуючих поверхонь по зміні величини рівноважної шорсткості і при необхідності проводиться почергове коригування умов контакту (зменшується чи збільшується амплітуда коливань обойми зі зразками, зменшується зусилля нормального навантаження, оптимізуються величина переміщень).

Перед випробуванням зразки притираються до повного прилягання поверхні тертя на спеціальній плиті.

Температура в умовах експерименту становить 20°C - 24°C, що відповідає тепловому режиму роботи напрямних верстатів.

У якості матеріалів зразків для випробувань обрані пари матеріалів, що є найбільш розповсюдженими у напрямних ковзання металообробного обладнання: чавун-чавун (СЧ25), сталь-сталь (азотована сталь 40ХФ), сталь-кольоровий сплав БрОФ10-1 і сталь-фторопласт-4.

Шорсткість зразків відповідає шорсткості поверхні напрямних ковзання середніх верстатів і дорівнює Ra 1,6 мкм.

Нормальне навантаження на зразок становить 50 Н. Питомий тиск при цьому 0,25 МПа відповідно.

Амплітуда коливань вантажу становитиме, згідно [15,34] становитиме від 0,02мм до 0,1мм. Комбінації режимів накладення вібрацій для отримання різних схем складного динамічного навантаження представлені в таблиці 10.

Таблиця 10 – Матриця проведення експерименту

Номер електродвигуна	Номера одночасно працюючих електродвигунів (1 - працює, 0 - не працює)						
I	1	0	0	1	0	1	1
II	0	1	0	1	1	0	1
III	0	0	1	0	1	1	1

У якості мастила використовується індустріальне масло И-20А ГОСТ 20799-88.

Форма зразка являє собою циліндр з вифрезерованою площиною (рис. 1.4), на яку кріпиться змінна база за допомогою клею «Епоксілін». База використовується для оцінки стану поверхні зразка, що випробовується, після проведення експерименту. Поверхня бази буде піддається такій самій обробці як і площина зразка, що буде піддаватися зносу. Форма контактної поверхні зразків в процесі випробувань дозволяє зберегти вихідну поверхню і порівняти її з отриманою поверхнею. Це дає можливість визначити зміни лінійних розмірів, властивостей поверхневих шарів і забезпечує оцінку зносостійкості методами профілографування, сканування та іншими. Зразок із закріпленою на ньому базою показаний на рис. 1.5.

3.6 Методи дослідження якісних змінень в зоні контакту

3.6.1 Дослідження макро- і мікроструктури поверхневих шарів

Вивчення макроструктури поверхонь тертя проводилися за допомогою світлових оптичних мікроскопів типу МБС. При цьому за зовнішнім виглядом поверхонь виявлялися ті характерні зміни, які відповідають різноособистим умов тертя: викидання, налипання і перенесення металу з однієї поверхні на іншу, оксидні плівки, пошкодження механічного походження (подряпини, борозди і ін.).

Проводить металографічний метод дослідження, проведене на мікроскопах МІМ-8, МІМ-10, світловому та растровому електронних мікроскопах, дозволив вивчити основні зміни структури в мікрооб'ємах металів в результаті пластичної деформації і термічної напруги, тривалого впливу температури і динамічних навантажень, окислення поверхні металу зразків і деталей та ін.

Дослідження проводилися на шліфах зразків, які затискалися в струбцині попарно так, щоб поверхні тертя стикалися один з одним, як це відбувалося при випробуваннях. Такий спосіб закріплення дозволяє уникнути завалу країв зразків і дає можливість простежити зміни на сполучених поверхнях. Шліфи готувалися звичайним механічним способом із застосуванням шліфування абразивними матеріалами і подальшого механічного полірування. Поверхня приготованого шліфа знежирюємо, а потім піддавалася травленню в універсальному реактиві [15,21,22]

Марбле складу: HCl - 20мл; суміш 10% хромової кислоти з соляної, взятої в рівному об'ємному співвідношенні (1:1). Для виявлення фазових перетворень зразки травили електролітично в реактивне N18 складу 10г сульфату амонію; 10г лимонної кислоти, 1200мл води. Режим електролізу: $D = 0,06 \text{ А / см}$; $T = 5 - 10 ^\circ \text{ С}$. При дослідженні кінетики процесів зношування шліфи готувалися на зразках, не знімаючи останніх з установки (рис. 3.0).

Другим по інформативності методом вивчення структури сплавів є метод растрової електронної мікроскопії, принцип якого полягає в опроміненні тонким скануючим пучком електронів поверхні досліджуваного зразка, отриманні в результаті цієї взаємодії вторинного електронного випромінювання і перетворення його в зображення на флуоресціюючому екрані.

Для встановлення зв'язку між механічними властивостями поверхневого шару металів з тими процесами, які протікають при терті і зношуванні, застосовувався метод мікротвердості. Вимірювання мікротвердості проводилося за допомогою приладу ПМТ-3, при навантаженні на індентором 20 і 50г, як з боку робочої поверхні зразка, так і матеріалу поверхневого шару в поперечному перерізі на шліфах. [15]

3.6.2 Дослідження субмікроструктури робочого шару

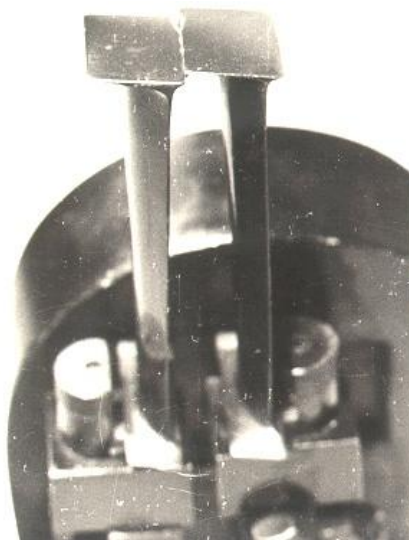
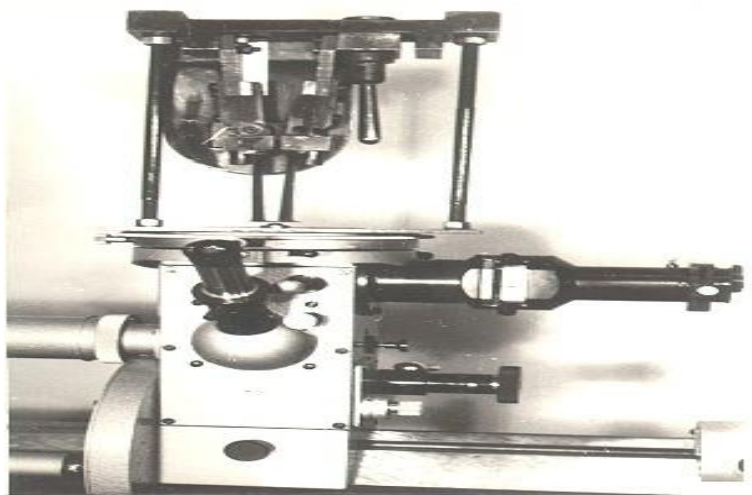


Рисунок. 3.0 - Пристосування (а) і зразки (б) для дослідження кінетики зношування

Застосовувана в цій роботі методика дослідження металевих поверхонь за допомогою електронного мікроскопа досить повно висвітлена в літературі [15, 21]. Для дослідження відмінностей між фазами (на сплавах ХТН) 1) застосовувався японський растровий мікроскоп JSM-ІЗ, що має дозвіл $200\text{\AA}$ і глибину фокуса 70 мкм при збільшенні $\times 1000$, що на два-три порядки вище, ніж у світових мікроскопів. Приготування зразків для таких досліджень полягала в витравленні на шліфах металевої матриці на значну глибину (5 - 40 мкм) з повним збереженням фаз впровадження. Оскільки кристали фаз впровадження мають велику протяжність (по відношенню довжини до їх товщині), то після глибокого травлення вони залишалися виступаючими з металевої матриці і ставали зручними для вивчення методом РЕМ. На фотографіях мікроструктур, кристали фаз впровадження завжди виглядають більш світлими, ніж металева матриця. Основною трудностю при таких дослідженнях є підбір реактивів та режимів травлення, які повинні забезпечувати витравлення матриці і збереження кристалів фаз впровадження при відсутності залишків і продуктів реакції на розглянутій поверхні. Так для хімічного витравлювання Fe, Ni - матриці застосовувався 5 - 10% розчин бром у метиловий спирт (температура реактиву 20°C , тривалість травлення 5 - 30хв); для витравлювання матриці нержавіючої сталі аустенітного класу - 5% -ний розчин плавикової кислоти в 30% -ного перекису водню (хімічне травлення при температурі $40 - 60^\circ\text{C}$ тривалістю до 10 хвилин).

Дослідження характеру руйнування поверхневих шарів проводилося на просвічує електронному мікроскопі УЕМВ-100К, а також електронному растровому мікроскопі "JSM Т-300". Електронномікроскопіческіе дослідження субмікроструктури проводилося на мікрошліф, поверхня яких піддавалася глибшого труїть, ніж при дослідженнях за допомогою оптичної мікроскопії. [15,22]

При дослідженнях застосовувався метод вугільно-коллодієвіє реплік. Для збільшення контрастності зображення вугільні відбитки відтінялися окисом вольфраму. Репліки вивчалися при ускоряючем напрузі 75кВ, фольги - при 100кВ. Електроннограмми знімалися в режимі мікродифракції. Використання методу електронномікроскопічного аналізу значно розширює можливості дослідження процесів, що протікають при терті і зношуванні металів. [21]

3.6.3 Методика рентгеноструктурного фазового аналізу матеріалів (дис. Івченко с.112-118)

Фазовий склад матеріалів робочих поверхонь оцінювався методами рентгеноструктурного фазового аналізу на дифрактометрі ДРОН-1, рентгенівському дифрактометрі 11 HZC-4A / 2 в сік, МоК випромінюванні [30,15].

При вивченні зміни стану структури поверхневих шарів матеріалу зразків в процесі тертя визначалися розміри областей когерентного розсіювання (розміри блоків) і спотворення решітки II роду ($\square D / d$). Вибір структурних характеристик для оцінки стану поверхневого шару обумовлений тим, що вони безпосередньо пов'язані з процесами зміцнення-знеміцнення металів і, в значній мірі, визначають параметри антифрікційності і зносостійкості [33].

Оскільки рентгенограми багатофазної системи являють собою результат накладення рентгенограм окремих фаз, то їх ідентифікація проводиться шляхом порівняння знайдених при зйомці міжплощинних відстаней (d) з заздалегідь відомими їх значеннями для даної фази. Для цього використовуються таблиці міжплощинних відстаней різних речовин [30]. Ідентифікацію зміцнюючих фаз в сплавах ВЖЛ-2, ХТН37, ХТН61, ЖС32 проводили за допомогою рентгеноспектрального мікроаналізу (РСМА) на мікроаналізаторах MAP-3.

З метою визначення типу карбідів, причин їх нестабільності, а також природи структурних змін матриці в приповерхневої зоні зносу деяких сплавів проводився рентгеноспектральний мікроаналіз на приладі «Cameca MS46».

Якісні зміни структури в зоні контакту оцінювалися за допомогою нагою растрового електронного мікроскопа «Stereoskan S 4» з приставкою РСМА[15,21]

Висновки до розділу

Вибрано і обґрунтовано методики проведення досліджень трибологічних характеристик при складному динамічному навантаженні на розробленій установці. Розроблено методику визначення сили тертя, інтенсивності зношування та лінійного зносу з використанням методу профілографування.

Розділ 4 Матеріали до заявки на отримання патенту « Пристрій для дослідження трибо логічних характеристик матеріалів »

4.1 Вибір та аналіз аналога

Відомий пристрій [Пат 53587 Україна, МПК G01N 3/56. Пристрій для дослідження тертя /Л. Й. Івченко, В. В. Циганов; заявник та патентовласник Запорізький державний технічний університет - № u201004585, заявл. 19.04.2010; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19, 2010 р. [15] для дослідження тертя, що складається з вузла кріплення зразків, вузла завдання нормального статичного навантаження, вузла завдання повздовжнього переміщення та енергії удару, вузла завдання поперечного переміщення, вузла завдання температури з шарнірним кріпленням та вузла контролю зносу зразків, які закріплені на державках. Пристрій забезпечує тримірність навантаження зразків - удар та проковзування у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

4.2 Вибір та аналіз прототипу

Відомий пристрій [Пат. 18596 Україна, МПК G01N 3/56 (2006.01). Пристрій для випробування матеріалів на зношування / Л. Й. Івченко, А. Г. Андрієнко, О. С. Юдін, В. М. Івлєв; заявник та патентовласник Запорізький державний технічний університет - № 4865456/SU, заявл. 10.09.1990, опубл. 25.12.1997, Бюл. № 6[21] для випробування матеріалів на зношування, який містить корпус; тримач зразка, що виконаний у вигляді штанги та встановлений співвісно в отвір корпусу за допомогою пластинчатих пружин рівної довжини і зв'язаний з механізмом для створення нормального навантаження, який виконаний у вигляді пружини та важеля, з механізмом для створення асиметричного навантаження, що осцилює, який виконаний у вигляді ексцентрика, що з'єднаний з приводом та пружиною для створення нормального навантаження через важіль, з механізмом повертально-поступального руху вздовж його вісі. Під тримачем зразка в корпусі встановлений тримач контрзразка, зв'язаний з механізмом повертально-поступального руху вздовж його вісі, з механізмом поздовжньо-поперечного переміщення та з механізмом обертання навколо своєї вісі.

Недоліками цього пристрою є забезпечення динамічних коливань лише у одному напрямку за допомогою ексцентрика, що не дозволяє задавати потрібну частоту коливань. Крім цього, цей пристрій не дозволяє досліджувати знос зразка, зумовлений його лінійним переміщенням.

4.3 Опис пристрою

В основу рішення поставлено задачу розробити пристрій для дослідження трибологічних характеристик матеріалів, який шляхом створення тримірної динамічного навантаження на зразок дозволяє здійснювати дослідження зносостійкості матеріалів в умовах наближених до реальних.

Суттєвими ознаками рішення, що заявляється, є наявність:

- корпусу,

- механізм статичного навантаження, який має змогу переміщення у трьох площинах, який складається з тримача зразка, пружних пластин рівної довжини, тримачів пружних пластин та тіла інерції, що виконано у формі куба на кожній стороні якого розташовані по два взаємоперпендикулярних пази для встановлення пружних пластин;
- механізму динамічного навантаження, що містить віброштовкачі, які жорстко закріплені до корпусу, пневмопровід та розподільувач повітря. Відмінними від прототипу ознаками є те що:
- механізм статичного навантаження має змогу переміщення у трьох площинах до складу якого входять тримач зразка, пружні пластини, тримачі пружних пластин та тіло інерції, що виконано у формі куба на кожній стороні якого розташовані по два взаємоперпендикулярних пази для встановлення пружних пластин;
- механізм динамічного навантаження містить віброштовкачі, які жорстко закріплені до корпусу; пневмопровід та розподільувач повітря.

Пристрій містить корпус 1; механізм статичного навантаження, що складається з тримача зразка 2, пружних пластини 3, тримачів пружних пластин 4, тіла інерції 5; механізм динамічного навантаження, що складається з віброштовкачів 6, пневмопроводу 7, розподільувача повітря 8.

Механізм статичного навантаження має змогу переміщення у трьох площинах, а тіло інерції 5 виконано у формі куба на кожній стороні якого розташовані по два взаємоперпендикулярних пази для пружних пластин 3.

Механізм динамічного навантаження містить: віброштовкачі 6, які жорстко закріплені до корпусу 1, що дозволяє забезпечити динамічне контактне навантаження зразка; пневмопровід 7, який через розподільувач повітря 8 поєднує віброштовкачі 6 з компресором.

До нерухомої частини трибometру закріплюють пристрій для дослідження трибологічних характеристик матеріалів. На дошку трибometру встановлюють контрзразок. У тримач зразка 2 встановлюють зразок, що досліджують. Подають напругу на компресор, який за допомогою

розподільвача повітря 8 забезпечує утворення тиску у пневмопроводі 7 для створення динамічного навантаження зразка за допомогою виброштовкачів 6. Динамічне навантаження зразка можливо регулювати, змінюючи тиск у пневмопроводі 7 за допомогою розподільвача повітря 8. Статичне навантаження на зразок задають за допомогою маси: тіла інерції 5, тримачів пружних пластин 4, пружних пластини 3, тримача зразка 2. Запропонований пристрій дозволяє досліджувати знос зразка при динамічному контактному навантаженні у трьох площинах. При повздовжньому русі плити трибometру зразок взаємодіє з контрзразком, що створює умови максимально наближені до реальних.

4.4 Формула можливого винаходу

Пристрій для дослідження трибологічних характеристик матеріалів, що містить корпус; тримач зразка, який пов'язаний з корпусом за допомогою пружних пластин рівної довжини; механізми статичного та динамічного навантаження, який відрізняється тим, що механізм динамічного навантаження містить виброштовкачі, які закріплені до корпусу, пневмопровід та розподільвач повітря, а механізм статичного навантаження має змогу переміщення у трьох площинах до складу якого входять тримач зразка, пружні пластини, тримачі пружних пластин та тіло інерції, яке виконано у формі куба на кожній стороні якого розташовані по два взаємоперпендикулярних пази для встановлення пружних пластин.

Висновки до розділу

Підібранні матеріали та складено заявку для отримання патенту на корисну модель.

5 Вплив електричного струму на людину та методи захисту

Дія електричного струму на організм людини має декілька особливостей:

- несподіваність ураження, яка пов'язана із відсутністю у людини органів чуття (рецепторів), за допомогою яких можна виявити напругу на відстані;
- можливість дистанційної дії, що проявляється в ураженні людини через електричну дугу, або крокову напругу;
- рефлекторна дія через центральну нервову систему, яка призводить до порушення роботи серця і легенів.

Електричний струм, проходячи через організм людини спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дію.

Термічна дія струму полягає в нагріванні тканини, випаровуванні вологи із неї, що викликає опіки, обвуглювання тканин та їх розриви парою. Тяжкість термічної дії струму залежить від величини струму, опору його проходженню та часу проходження.

Електролітична дія струму проявляється в електролізі крові та плазми, що призводить до зміни їхніх фізико-хімічних та біохімічних властивостей.

Біологічна дія струму проявляється у подразненні і збудженні тканин організму. Збудження тканин внаслідок прямої (контактної) дії струму може

проявлятися у вигляді мимовільного, непередбачуваного скорочення м'язів. Непряма дія струму (рефлекторна) відбувається через центральну нервову систему, до якої надходять імпульси від збуджених під дією електричного струму рецепторів. Центральна нервова система опрацьовує інформацію і надсилає відповідні імпульси до систем організму щодо нормалізації процесів життєдіяльності у відповідних тканинах та органах. Якщо кількість імпульсів, що надходить від збуджених рецепторів занадто велика настає перевантаження інформацією центральної нервової системи внаслідок чого вона може видавати недоцільну команду, що може призвести до серйозних порушень діяльності серця та легенів, навіть якщо ці органи і не знаходяться на шляху проходження струму [5].

Ураження електричним струмом поділяються на місцеві – електричні травми та загальні – електричні удари.

Електричні травми – це місцеві ураження, серед яких розрізняють: електричні опіки, електричні знаки, електрометалізація шкіри, електрофтальмія, механічні пошкодження.

Електричний опік в залежності від умов виникнення може бути контактним і дуговим. Контактні струмові опіки мають місце в електроустановках напругою до 1000 В, вони виникають в місцях контакту людини із струмоведучими неізольованими елементами електроустановок. В місцях контакту виділяється значна кількість тепла за рахунок великої густини струму та підвищеного опору, який створює шкіра людини. Тяжкість ураження за таких умов залежить від величини струму, часу його дії та опору людини. Дугові опіки мають місце в установках, напругою більше 1000 В і, як правило, більш тяжкі (III або IV ступеня). В електроустановках напругою 6...10 кВ дугові опіки є результатом випадкових коротких замикань при виконанні робіт в електроустановках. Електрична дуга виникає між елементами електроустановки, тому струм через тіло людини в даному випадку не проходить і небезпека обумовлюється тепловою дією струму.

Електричні знаки – це різко окреслені плями сірого або блідо-жовтого кольору на поверхні тіла людини в місці контакту з струмоведучими елементами. Зазвичай знаки мають круглу, овальну форму або форму струмоведучого елемента, до якого доторкнулась людина, розмірами до 10 мм з поглибленням у центрі, а іноді – форму мікроблискавки. Особливого больового відчуття електричні знаки не спричиняють і з часом безслідно зникають.

Металізація шкіри – проникнення у верхні шари шкіри дрібних часток металу, який розплавився під дією електричної дуги. На ураженій ділянці тіла при цьому відчувається біль від опіку за рахунок тепла, занесеного в шкіру металом, і напруження шкіри від присутності в ній часток металу. В більшості випадків одночасно із металізацією шкіри мають місце дугові опіки.

Електрофтальмія – запалення поверхневих слизових оболонок очей в результаті дії ультрафіолетових променів, які утворюються електричною дугою. Електрофтальмія розвивається через 2 – 6 годин після опромінення і проявляється у формі почервоніння і запалення шкіри та слизових оболонок повік, слъозоточінні, гнійних виділеннях, світлоболях і світлобоязні. Тривалість захворювання 3...5 днів.

Механічні ушкодження спричиняються непередбачуваним судомним скороченням м'язів у результаті подразнювальної дії струму. В результаті таких судомних скорочень м'язів можливі розриви сухожиль, шкіри, кровоносних судин, нервових клітин, вивихи суглобів, переломи кісток.

Загальні електричні травми або електричні удари – це порушення діяльності життєво важливих органів або всього організму людини як наслідок збудження живих клітин організму електричним струмом, яке супроводжується судомним скороченням м'язів. При цьому зовнішні місцеві ушкодження можуть бути відсутні. В залежності від наслідків ураження розрізняють 4 групи електричних ударів.

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів, що забезпечують захист людей від небезпечної і шкідливої дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля, статичної електрики. Вимоги електробезпеки викладено в ГОСТ 12.1.019-79 «ССБП. Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту»

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового дотику;
- застосування електроенергії з безпечними величинами напруги;
- усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування;
- застосування індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом [6].

Недоступність розташування струмопровідних частин досягається розміщенням їх на висоті, під підлогою чи приховано в стінах. Незахищені струмопровідні частини, до яких можливий дотик людей, надійно огорожують у всіх випадках, якщо напруга перевищує:

- 65 В – в приміщеннях без підвищеної небезпеки;
- 42 В – в приміщеннях з підвищеною небезпекою;
- 12 В – в приміщеннях особливо небезпечних.

Застосування малих напруг – дуже ефективний захист від ураження електричним струмом. Для живлення кіл управління технологічним обладнанням, встановленим в особливо небезпечних приміщеннях і приміщеннях з підвищеною небезпекою; кіл управління пересувного устаткування і для живлення ручного інструменту використовують напругу не вище 42 В. На шафах і пультах управління обладнанням розміщують штепсельні розетки з напругою не вище 12.

Захисне заземлення – свідоме електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих частин електроустаткування. Вимоги до захисного

заземлення викладено в ГОСТ 12.1.030-81 «ССБП. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення». Зміни 1987.

Дотик до незахищеного корпусу, який виявився під напругою, рівнозначний однофазному ввімкненню людини в електричну мережу. Мета заземлення – понизити до безпечної величини напругу відносно землі на металевих частинах електроустаткування, які випадково виявилися під напругою, і цим усунути небезпеку ураження людей електричним струмом. В установках напругою до 1000 В опір захисного заземлення в будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом (з потужністю джерела струму 100 кВА і менше опір заземлення допускається не більше 10 Ом). Оскільки опір заземлення значно менший за опір тіла людини (1000 Ом), то у випадку її дотику до пошкодженого електроустаткування найбільший за величиною струм пройде через заземлюючий пристрій. Заземлюючим пристроєм називається сукупність заземлювачів – металевих провідників, які з'єднані з землею, і заземлюючих провідників, які з'єднують заземлювані частини електроустаткування з заземлювачами. Заземлювачі бувають штучні та природні.

Занулення – свідоме електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих струмонепровідних частин, які можуть виявитися під напругою. Занулення повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.030-81. У електричних мережах розрізняють нульовий захисний (N3) і нульовий робочий (NP) провідники. Нульовий захисний провідник служить для з'єднання занулюваних частин устаткування з глухо заземленою нейтраллю джерела струму; нульовий робочий провідник – для підключення до основної мережі напругою 380 В освітлювальних приладів, машин і електроапаратів, які працюють за фазової напруги (220 В). Мета занулення – перетворити витік струму на корпус в однофазне коротке замикання між фазовим і нульовим заземленням, коли пошкоджене устаткування автоматично вимикається від мережі, яка його живить. Для захисту від струмів короткого

замикання можуть використовуватися плавкі запобіжники чи автоматичні вимикачі з часом спрацьовування відповідно 5,7 і 1,2 с.

Захисне вимкнення – швидкодійний захист, що забезпечує автоматичне відключення електроустаткування, коли в ньому виникає небезпека ураження струмом. Така небезпека може виникнути у випадку:

- замикання фази на корпус електроустаткування,
- пониження опору ізоляції фаз відносно землі,
- появи в мережі більш високої напруги,
- торкання людини до струмопровідних частин.

У цих випадках у мережі змінюються деякі електричні параметри (напруга, струм, опір), що може бути імпульсом, який викликає спрацьовування захисту – відключення пристрою.

Блокування застосовується в електроустановках напругою вище 220 В, в яких часто ведуться роботи на струмоведучих частинах, що огорожуються. Блокування забезпечує зняття напруги із струмоведучої частини і електроустановки під час проникнення до них без зняття напруги.

Часто використовується звукова та світлова сигналізація, надписи, плакати та інші засоби інформації, що попереджують про небезпеку.

За призначенням електрозахисні засоби поділяються на ізолюючі (діелектричні рукавиці, боти, калоші, килимки, ізольовані підставки, інструмент з ізолюючими ручками, ізолюючі штанги, кліщі тощо), огорожувальні (переносні огороження, заземлення тощо) та запобіжні (пояси, захисні окуляри, каски, спеціальні рукавиці). Засоби індивідуального електрозахисту є захисні костюми, взуття і рукавиці [5].

ВИСНОВОК

1. Сучасний стан досліджень в області зношування матеріалів в особливо складних умовах механічного навантаження які носять динамічний характер не дозволяють з достатнім ступенем вірогідності вибрати, розробити ті чи інші конструктивно-технологічні заходи, спрямовані на підвищення зносостійкості деталей трібосполучення.
2. Розроблено конструкцію установки для дослідження тертя і зношування, яка дозволяє моделювати трибологічні процеси при складному багатокomпонентному динамічному навантаженні в трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Ці динамічні процеси накладаються на односпрямоване тертя з постійною швидкістю.
3. Проведено аналіз методів визначення трибологічних фрикційних властивостей матеріалів, фізичних методів дослідження поверхонь контактної взаємодії, який буде покладено в основу розробки методології дослідження процесів при складному багатокomпонентному динамічному контактному навантаженні.
- 4 Складено заявку для отримання патенту на корисну модель.

Перелік використаних джерел

1. Богуслаев В.А., Цыпак В.И., Яценко В.К.
Основы технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов .-
Запорожье:Изд-во "Мотор Сич",2003 .-336с
- 2.Севостьянов І. В. С 28 Експлуатація верстатних комплексів. Навчальний посібник. Ч. II. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 119 с.
3. Поверхностная прочность материалов при трении / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. / Под ред. Б.И. Костецкого. - К.: Техника, 1976.- 296с.
4. Гаркунов Д.Н. Триботехника. - М.: Машиностроение, 1985. - 424с.
- 5 Камбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов.—М.: Машиностроение,2008 — 384 с
- 6 В.А Богуслаев Л.И.Ивченко А.Я.Качан В.Ф. Мозговой Контактное взаимодействие сопряженных деталей.ГТД с 66. Запорожье изд.ОАО «Мотор Сич» 2009 — 326с.
- 7 В.А.Богуслаев,В.В.Цыганов,Л.И.Ивченко,А.Я.Качан Изнашивание материалов при многокомпонентном термомеханическом нагружении — Запорожье, АО «Мотор Сич»,-- 2014г. —245с;ил.
- 8 Пат. 13900 Україна, МПК G01N 3/56. Спосіб визначення зносостійкості сталей і сплавів /Івченко Л.Й., Циганов В.В.; заявник та патентовласник Запорізький нац.-техн. унів. - № u2011 14367; заявл. 05.12.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл.№11.
- 9 Пат. 75194 Україна, МПК G01N 3/58. Спосіб визначення зносостійкості сталей і сплавів /Івченко Л.Й., Циганов В.В., Лоскутов С.В.; заявник та патентовласник Запорізький нац.-техн. унів. -№u201205338; заявл. 28.04.2012; опубл. 26.11.2012, Бюл.№22

- 10 Костецкий Б.И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания // Трение и износ. - 1980. - Т.1. - № 4. - С.622-638.
- 11 Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / [А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.]; под общ.ред. А.В. Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 2003. - 576 с.
- 12 Крагельский И.В. Трение и износ / Крагельский И.В - М.: Машиностроение, 1968.-480с.
- 13 Канарчук В.Е. Исследование влияния вибраций на изнашивание чугунов / В.Е. Канарчук // Проблемы прочности. - 1978. - №5. - С. 111- 113.
- 14 Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. - М.: Машиностроение, 1977. -526 с.
- 15 Ивченко Л.И. Исследование изнашивания жаропрочных сплавов в условиях динамического контактного нагружения: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.04 / Л.И. Ивченко.-К, 1978.-24 с.
- 16 Кислик В.А. Влияние деформаций на износ стали / В.А. Кислик // Трение и износ в машинах. - 1946. - №2. - С. 44-51.
- 17 Сучасні методи технічної діагностики та неруйнівного контролю деталей і вузлів рухомого складу залізничного транспорту. Криворудченко В.Ф., Ахмеджанов Р.А.
- 18 Богуслаев В.А., Жуков В., Яценко В.К. Прочность деталей ГТД:Монография .-Запорожье:Изд-во ОАО "Мотор Сич",1999 .-249с.
- 19 . Поверхностная прочность материалов при трении / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. / Под ред. Б.И. Костецкого. - К.: Техника, 1976.- 296с.
- 20 Глушко А. В., Журба М. О., Литовський М. В. Розроблення фізичної моделі тертя та зношування плоско паралельних трибоз'єднань в умовах складних коливальних навантажень- 248с.

21. Патент на винахід 18596 G01N3/56: Пристрій для випробування матеріалів на зношування / Івченко Л.Й., Андрієнко А.Г., Юдін О.С., Івлев В.М.; Заявлено 10.09.90, опубл. 25.12.97. Бюл. № 6. – 2с.
22. Івченко Л.Й., Андрієнко А.Г. Метод трибологічних випробувань матеріалів за умов силового і температурного навантаження // Металознавство та обробка металів. – 1996. - № 3. – С.62-65.
23. Норосэ. - Трение и износ в особых условиях //Дзюнкацу. - 1981. - Т.26. - №11. - С.725-730.
- 24 8. Чичинадзе А. В. Трение и износ фрикционных материалов / А. В. Чичинадзе. – Москва: Наука, 1977. – 135 с.
25. Назаренко П.В., Костецкий Б.И. Трение, смазка, износ деталей машин // Тр. ин-та/ Киевский ин-т гражд. возд. флотилии. - К.: Редиздат, 1964. - Вып.4. – 178с.
26. Трение и износ в экстремальных условиях: Справочник / Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. – М.: Машиностроение, 1986. - 224с.
27. Носовский И.Г.Трение, смазка и износ деталей машин // Тр. ин-та/ Киевский ин-т граждан. возд. флота. - К.: Редиздат, 1961. - Вып. 11. – С.174-179.
28. Высокотемпературные тензодатчики: Сб. статей. - М.: Гос-ное науч.-тех. изд-во машиностр. лит-ры, 1963. - 230с.
29. Патент на винахід 18596 G01N3/56: Пристрій для випробування матеріалів на зношування / Івченко Л.Й., Андрієнко А.Г., Юдін О.С., Івлев В.М.; Заявлено 10.09.90, опубл. 25.12.97. Бюл. №6. – 2с.
30. Кочанов Н.Н., Миркин Л.И. Рентгеноструктурный анализ. - М.: Машгиз, 1960. - 326с.

31. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526с.
32. Ивченко Л.И., Лен С.Г. Ускоренные испытания износостойкости деталей трибосопряжений // Придніпровський науковий вісник. – «Наука і освіта», 1998. – №50 (117). – С.7-12.
33. Костецкий Б.И., Носовский И.Г. Износостойкость и антифрикционность деталей машин. - К.: Техніка, 1965. - 206с.
34. Основы научных исследований в черной металлургии / Под ред. Ю.Н. Яковлева. - К: Вища шк. 1985 -205с.

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ

Рішення відноситься до галузі машинобудування, а саме до пристроїв для випробування матеріалів на зношуванні при динамічному контактному навантаженні.

Відомий пристрій [Пат 53587 Україна, МПК G01N 3/56. Пристрій для дослідження тертя / Л. Й. Івченко, В. В. Циганов; заявник та патентовласник Запорізький державний технічний університет - № u201004585, заявл. 19.04.2010; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19, 2010 р.] для дослідження тертя, що складається з вузла кріплення зразків, вузла завдання нормального статичного навантаження, вузла завдання повздовжнього переміщення та енергії удару, вузла завдання поперечного переміщення, вузла завдання температури з шарнірним кріпленням та вузла контролю зносу зразків, які закріплені на державках. Пристрій забезпечує тримірність навантаження зразків - удар та проковзування у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Недоліком цього пристрою є неможливість дослідження зношування зразка під впливом динамічного навантаження одночасно у трьох площинах.

Ознаками, спільними з рішенням, що заявляється, є наявність вузла кріплення зразка, вузла створення нормального статичного навантаження, вузла повздовжнього переміщення та енергії удару.

Відомий пристрій [Пат. 18596 Україна, МПК G01N 3/56 (2006.01). Пристрій для випробування матеріалів на зношування / Л. Й. Івченко, А. Г. Андрієнко, О. С. Юдін, В. М. Івлєв; заявник та патентовласник Запорізький державний технічний університет - № 4865456/SU, заявл. 10.09.1990, опубл. 25.12.1997, Бюл. № 6] для випробування матеріалів на зношування, який містить корпус; тримач зразка, що виконаний у вигляді

штанги та встановлений співвісно в отвір корпусу за допомогою пластинчатих пружин рівної довжини і зв'язаний з механізмом для створення нормального навантаження, який виконаний у вигляді пружини та важеля, з механізмом для створення асиметричного навантаження, що осцилює, який виконаний у вигляді ексцентрика, що з'єднаний з приводом та пружиною для створення нормального навантаження через важіль, з механізмом поворотально-поступального руху вздовж його вісі. Під тримачем зразка в корпусі встановлений тримач контрзразка, зв'язаний з механізмом поворотально-поступального руху вздовж його вісі, з механізмом поздовжньо-поперечного переміщення та з механізмом обертання навколо своєї вісі.

Недоліками цього пристрою є забезпечення динамічних коливань лише у одному напрямку за допомогою ексцентрика, що не дозволяє задавати потрібну частоту коливань. Крім цього, цей пристрій не дозволяє досліджувати знос зразка, зумовлений його лінійним переміщенням.

Ознаками, спільними з рішенням, що заявляється, є наявність: корпусу; тримача зразка, пов'язаного з корпусом за допомогою пружних пластин рівної довжини; механізмів статичного та динамічного навантаження.

В основу рішення поставлено задачу розробити пристрій для дослідження трибологічних характеристик матеріалів, який шляхом створення тримірного динамічного навантаження на зразок дозволяє здійснювати дослідження зносостійкості матеріалів в умовах наближених до реальних.

Суттєвими ознаками рішення, що заявляється, є наявність:

- корпусу,
- механізму статичного навантаження, який має змогу переміщення у трьох площинах, який складається з тримача зразка, пружних пластин рівної довжини, тримачів пружних пластин та тіла інерції, що виконано у формі куба на кожній стороні якого розташовані по два взаємоперпендикулярних пази для встановлення пружних пластин;

- механізму динамічного навантаження, що містить віброштовкачі, які жорстко закріплені до корпусу, пневмопровід та розподільувач повітря. Відмінними від прототипу ознаками є те що:
- механізм статичного навантаження має змогу переміщення у трьох площинах до складу якого входять тримач зразка, пружні пластини, тримачі пружних пластин та тіло інерції, що виконано у формі куба на кожній стороні якого розташовані по два взаємоперпендикулярних пази для встановлення пружних пластин;
- механізм динамічного навантаження містить віброштовкачі, які жорстко закріплені до корпусу; пневмопровід та розподільувач повітря.

Пристрій містить корпус 1; механізм статичного навантаження, що складається з тримача зразка 2, пружних пластини 3, тримачів пружних пластин 4, тіла інерції 5; механізм динамічного навантаження, що складається з віброштовкачів 6, пневмопроводу 7, розподільувача повітря 8.

Механізм статичного навантаження має змогу переміщення у трьох площинах, а тіло інерції 5 виконано у формі куба на кожній стороні якого розташовані по два взаємоперпендикулярних пази для пружних пластин 3.

Механізм динамічного навантаження містить: віброштовкачі 6, які жорстко закріплені до корпусу 1, що дозволяє забезпечити динамічне контактне навантаження зразка; пневмопровід 7, який через розподільувач повітря 8 поєднує віброштовкачі 6 з компресором.

До нерухомої частини трибometру закріплюють пристрій для дослідження трибологічних характеристик матеріалів. На дошку трибometру встановлюють контрзразок. У тримач зразка 2 встановлюють зразок, що досліджують. Подають напругу на компресор, який за допомогою розподільувача повітря 8 забезпечує утворення тиску у пневмопроводі 7 для створення динамічного навантаження зразка за допомогою віброштовкачів 6. Динамічне навантаження зразка можливо регулювати, змінюючи тиск у пневмопроводі 7 за допомогою розподільувача повітря 8. Статичне навантаження на зразок задають за допомогою маси: тіла інерції 5, тримачів

пружних пластин 4, пружних пластини 3, тримача зразка 2. Запропонований пристрій дозволяє досліджувати знос зразка при динамічному контактному навантаженні у трьох площинах. При повздовжньому русі плити трибометра зразок взаємодіє з контрзразком, що створює умови максимально наближені до реальних.

На фіг. 1 зображено зовнішній вигляд пристрою для дослідження трибологічних характеристик матеріалів.

На фіг. 2 зображено тіло інерції.

На фіг. 3 зображено переріз тримача зразку із встановленим до нього зразком.

Приклад конкретного виконання. Корпус 1 пристрою був виконаний із квадратного профілю 30 x 30 мм зі сталі 20, він складався з двох перпендикулярно розташованих рамок жорстко з'єднаних між собою шляхом зварювання. Габаритні розміри корпусу 1 дорівнювали: зовнішні 260x260x260 мм, внутрішні 200x200x200 мм. Корпус 1 мав дві паралельно розташовані стійки для кріплення пристрою до станіни трибометра та шість квадратних отворів для кріплення тримачів пружних пластин 4, що дозволило забезпечити можливість переміщення механізму статичного навантаження у трьох площинах.

Механізм статичного навантаження мав змогу переміщення у трьох площинах і складався: з тримача зразка 2, пружних пластин 3, тримачів пружних пластин 4, тіла інерції 5. Тримач зразка 2 мав отвір для кріплення зразка, що досліджували, чотири різьбові отвори М 5 для з'єднання з тілом інерції 5 і проріз, який дозволяв забезпечити переміщення механізму статичного навантаження відносно корпусу 1. За допомогою тримача зразка 2 передавали коливання від тіла інерції 5 безпосередньо до зразка. Пружні пластини 3 мали по два глухі отвори для фіксації гужонами. Тримачі пружних пластин 4 мали хвостовики чотиригранної форми і паз з двома різьбовими отворами М 4 для встановлення та закріплення пружних пластин 3. Тіло інерції 5 (Фіг. 2) було виконано у формі куба розміром

60x60x60мм зі сталі 40Х, кожна зі сторін якого мала по два перпендикулярно розташованих пази та чотири різьбові отвори М 6, в які встановлювали гужони для фіксації пружних пластини 3. Пази мали такі розміри: довжина 60 мм, ширина 1,5 мм, глибина 8 мм і були призначені для встановлення пружних пластин 3. На одній зі сторін тіла інерції 5 було виконано чотири отвори для жорсткого кріплення тримача зразка 2.

Механізм створення динамічного навантаження складався з трьох віброштовкачів 6, які були жорстко закріплені до корпусу 1, що дозволяло забезпечити динамічне контактне навантаження зразка; пневмопроводу 7, який через розподільувач повітря 8 поєднував віброштовкачі 6 з компресором. Кожен з віброштовкачів 6 складався з: корпусу, штуцера подання повітря, поршня, пружини.

Запропонований пристрій дозволяє досліджувати трибологічні характеристики поверхневих шарів матеріалів при динамічному контактному навантаженні одночасно у трьох площинах моделюючи умови, що наближені до реальних, і може бути використаний у різних галузях машинобудування. Пристрій дозволяє скоротити витрати на проведення натурних досліджень.

Автори:

Івченко Л. Й;

Нікулін І. А.

Глушко А. В.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій для дослідження трибологічних характеристик матеріалів, що містить корпус; тримач зразка, який пов'язаний з корпусом за допомогою пружних пластин рівної довжини; механізми статичного та динамічного навантаження, **який відрізняється тим, що механізм динамічного навантаження містить віброштовкачі, які закріплені до корпусу, пневмопровід та розподільувач повітря, а механізм статичного навантаження має змогу переміщення у трьох площинах до складу якого входять тримач зразка, пружні пластини, тримачі пружних пластин та тіло інерції, яке виконано у формі куба на кожній стороні якого розташовані по два взаємоперпендикулярних пази для встановлення пружних пластин.**

Автори:

Івченко Л. Й;

Нікулін І. А.

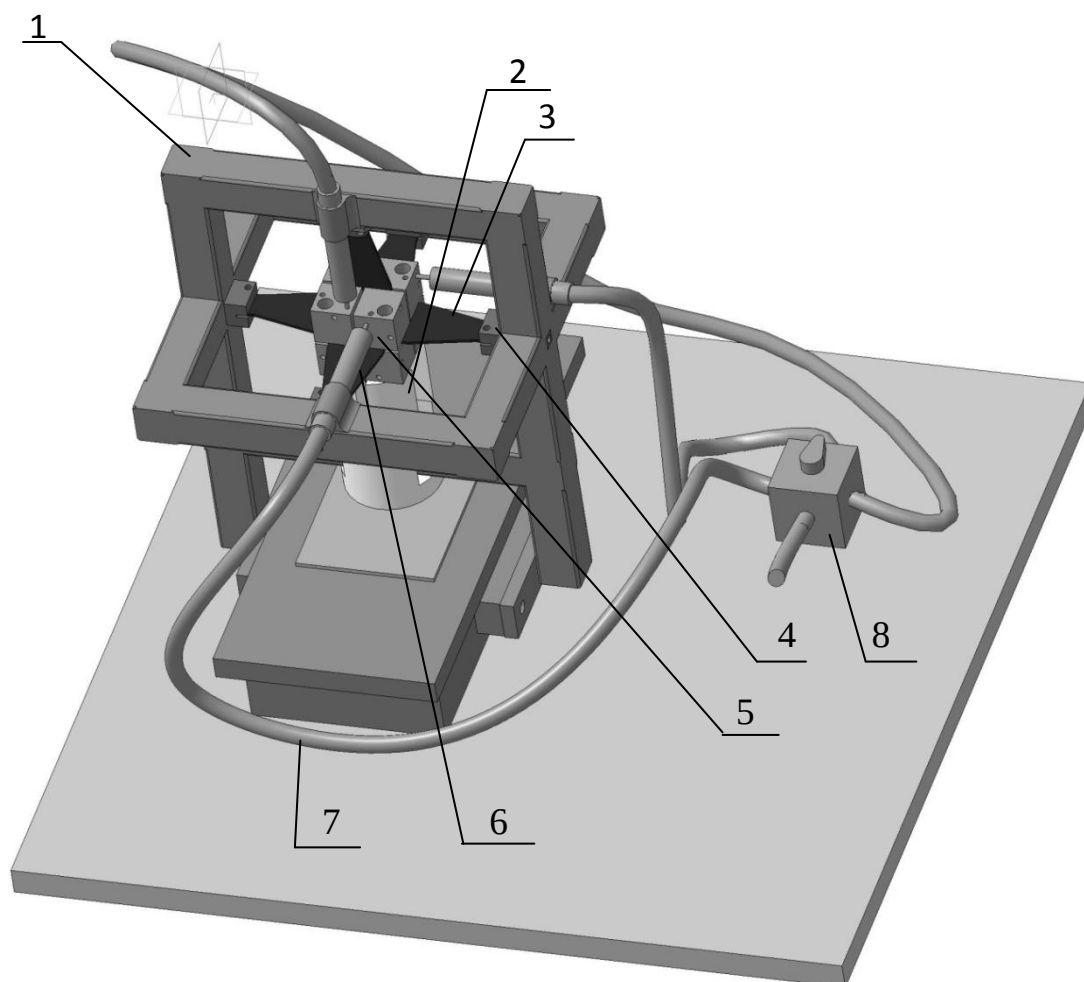
Глушко А. В.

РЕФЕРАТ

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ

Рішення відноситься до галузі машинобудування, а саме до пристроїв для випробування матеріалів на зношуванні при динамічному контактному навантаженні одночасно у трьох площинах. Для дослідження трибологічних характеристик матеріалів запропонований пристрій жорстко закріплюють до трибометра. Пристрій містить корпус та механізми статичного та динамічного навантаження. На дошку трибометра встановлюють контрзразок. У тримач зразка встановлюють зразок, що досліджують. Подають напругу на компресор, а розподільувач повітря забезпечує утворення тиску у пневмопроводі для створення динамічного навантаження зразка за допомогою виброштовкачів.

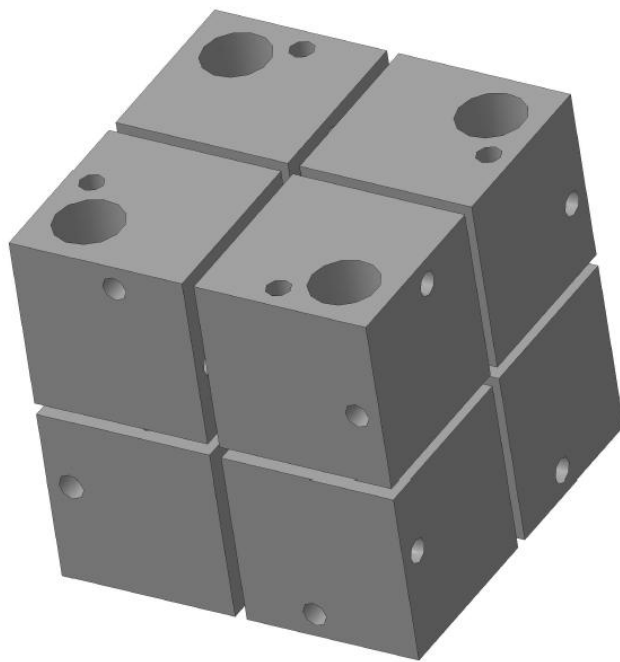
**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТРИБОЛОГІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ**



Фіг. 1

Автори: Івченко Л. Й;
Нікулін І. А.
Глушко А. В.

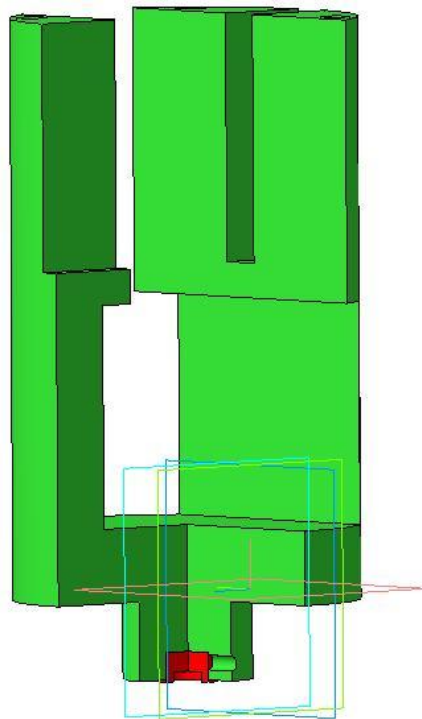
**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТРИБОЛОГІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ**



Фіг. 2

Автори: Івченко Л. Й;
Нікулін І. А.
Глушко А. В.

**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТРИБОЛОГІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ**



Фіг. 3

Автори: Івченко Л. Й;
Нікулін І. А.
Глушко А. В.