

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний
(повне найменування інституту, назва факультету)
Металорізальні верстати та інструменти
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

магістр
(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Розробка фізичної моделі та методики досягнення значущих
складових параметрів плоско-паралельних трибозв'язків
металобробного обладнання

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

133 Галузьке машинобудування
(код і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Танченко С.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Івченко Л.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Фронов М.В.
(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
20 18 рік

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М.В. Фролов

" " 20 року

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

Томченку Сергію Віталійовичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка оригінальної моделі та методи дослідження точності складноплакатних плоско-паралельних тридвугулів металообробного обладнання
 керівник проекту (роботи) д.т.н. проф. Звизенко П.Й.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "07" листопада 2018 року № 340

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Умови роботи плоско-паралельних тридвугулів металообробного обладнання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Фінальні процеси в напрямках металообробного обладнання; Фінальна модель станів; Розробка функцій; Розробка функцій; Умови проведення випробувань; Вибір конструкції установи; Методи проведення випробувань; Фізика мікрогеометрії поверхні; Розробка методів та засобів підвищення точності плоско-паралельних тридвугулів; Аналіз поточних тенденцій та заходи безпеки при проведенні досліджень.

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

3D-модель експериментальної функції. Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1	Гвищенко Л.І. д.т.н. проф.		
2	Гвищенко Л.І. д.т.н. проф.		
3	Гвищенко Л.І. д.т.н. проф.		
4	Гвищенко Л.І. д.т.н. проф.		
5	Шмарко В.І. к.т.н., доц.		
Нормоконтроль	Гушико А.В. ст. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд щодо членів родини плоско-паралельних трикутників	03.09.18 - 10.09.18 11.09.18 - 18.09.18	
2	Розробка фізичної моделі	19.09.18 - 26.09.18	
3	Розробка конструкції установок	27.09.18 - 04.10.18	
4	Розробка методів досліджень	05.10.18 - 12.10.18	
5	Розробка захарів підвищення жорсткості плоско-паралельних трикутників	13.10.18 - 20.10.18 21.10.18 - 28.10.18	
6	Розробка механізмів безпеки життєдіяльності на охорони праці	29.10.18 - 05.11.18 06.11.18 - 13.11.18	
7	Підготовка графічного матеріалу	14.11.18 - 21.11.18	
8	Оформлення звіт	22.11.18 - 10.12.18	
9	Нормоконтроль	11.12.18	
10	Рецензент	11.12.18	
11	Допуск до захисту	11.12.18	

Студент

Керівник проекту (роботи)

(підпис) С.В. Танченко
(прізвище та ініціали)

(підпис) Л.І. Гвищенко
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Завдання до проекту.....	
Реферат.....	
Вступ.....	
1 Динамічні процеси в напрямних металорізальних верстатів.....	
2 Фізична модель динамічного навантаження плоско-паралельних.....	
трибоз'єднань металообробного обладнання.....	
3 Розробка установки для реалізації фізичної моделі.....	
3.1 Умови проведення випробувань.....	
3.2 Опис конструкції експериментальної установки.....	
3.3 Принцип роботи експериментальної установки.....	
3.4 Розробка зразка для випробувань.....	
3.5 Розрахунок основних параметрів та вузлів установки.....	
3.6 Методика проведення випробувань.....	
3.7 Методика визначення зносу і математична обробка результатів експерименту.....	
4 Методи дослідження якісних змін поверхневого шару в зоні контакту.....	
4.1 Оцінка стану поверхневого шару трибоспектральним методом.....	
4.2 Визначення зміни фізико-механічних властивостей поверхневих шарів за допомогою приладу «МікронГама».....	
4.3 Оцінка стану поверхневого шару за зміною роботи виходу електрона з поверхні зразків.....	
4.4 Оцінка мікрогеометрії поверхні за допомогою безконтактного 3D профілографа "Мікрон - альфа" 62.....	
5 Розробка засобів підвищення зносостійкості плоско-паралельних трибоз'єднань технологічного обладнання.....	
5.1 Огляд сучасних методів відновлення напрямних шляхом створення одношарових ремонтних покриттів.....	
5.2 Розробка рекомендацій щодо створення багатошарових захисних структур плоско-паралельних трибоз'єднань металообробного обладнання.....	
5.2.1 Основні вимоги до створення ремонтного шару захисних структур.....	

5.2.2	Огляд способів створення зносостійкого шару захисних структур.....
5.2.3	Рекомендації щодо вибору складу зносостійкого шару.....
5.2.4	Вибір прототипу матеріалу зносостійкого шару.....
5.2.5	Рекомендації щодо вибору структури матеріалу зносостійкого шару.....
5.3	Технологічні аспекти нанесення багат шарових покриттів на відновлювані поверхні.....
5.3.1	Технологічні рекомендації щодо нанесення ремонтного шару зносостійкого покриття.....
5.3.2	Технологічні рекомендації щодо нанесення зносостійкого шару покриття...
6	Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.....
6.1	Аналіз потенційних небезпек.....
6.2	Заходи щодо забезпечення техніки безпеки.....
6.4	Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....
6.5	Заходи пожежної безпеки.....
6.6	Методи захисту від впливу електромагнітного імпульсу на елементи виробництва.....
	Висновки.....
	Список літератури.....

РЕФЕРАТ

ПЗ.: 81 с., 28 рис., 7 табл., 50 джерел.

Об'єкт дослідження – плоско-паралельні трибоз'єднання металообробного обладнання, які працюють в умовах складного динамічного навантаження.

Мета роботи – розробка експериментальної установки та методики дослідження закономірностей зношування плоско-паралельних трибоз'єднань металообробного обладнання, визначення принципів створення зносостійких трибоз'єднань.

В роботі проведено аналіз умов роботи плоско-паралельних трибовузлів металорізальних верстатів, виявлені динамічні фактори, що негативно впливають на їх зносостійкість. Розроблена фізична модель для визначення закономірностей зношування та конструкція експериментальної установки для реалізації фізичної моделі. Розроблені методи дослідження якісних змін поверхневого шару в зоні контакту. Запропоновано спосіб підвищення зносостійкості трибовузлів в умовах складних динамічних навантажень шляхом створення багат шарових покриттів. Запропоновано спосіб та технологічні рекомендації щодо несення таких покриттів на контактуючі поверхні трибовузлів.

МЕТАЛОРІЗАЛЬНИЙ ВЕРСТАТ, НАПРЯМНІ КОВЗАННЯ, ЗНОС, СТІЙКИЙ ДО УКОДЖЕНЬ, ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, КОЛИВАННЯ, ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ТРИБОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ABSTRACT

The object of the study - the flat-parallel triboisation of metal-working equipment, which operate in conditions of complex dynamic load.

The purpose of the work - developing an experimental installation and methods of studying the patterns of wear of flat-parallel tribo compounds of metalworking equipment, determination of the principles of wear-resistant tribo compounds.

In the work analysed conditions of the work of flat-parallel tribunches of metal-cutting machine, dynamic factors that negatively affect their wear resistance were revealed. A physical model was developed for determining the patterns of wear and design of an experimental installation for the implementation of the physical model. Methods of studying qualitative changes of the surface layer in the contact area are developed. A method of increasing the wear resistance of the tribunes in the conditions of complex dynamic loads by creating multilayer coatings is proposed. The method and technological recommendations for carrying such coatings on the contact surfaces of the tribunes are proposed.

METALLURAL MILLING MOLDINGS, SURFACE INCORPORATION,
INFLAMMABILITY, DANGER-SATURING, DYNAMIC LOADS, VOLTAGE,
PHYSICAL SIMULATION, TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS

ВСТУП

Однією з найважливіших проблем сучасного машинобудування є проблема забезпечення точності і надійності металообробного обладнання.

Серед трибовузлів металорізальних верстатів важливе місце займають плоско-паралельні трибоз'єднання, до яких відносяться напрямні ковзання. Збереження їх форми і розмірів в процесі експлуатації в значній мірі визначає забезпечення показників точності обробки на верстаті.

Складний характер навантаження призводить до напруженого стану поверхневих шарів матеріалів напрямних, що характеризується відповідним зносом. Зміна характеру навантаження супроводжується зміною структури поверхневого шару і якості поверхонь і, як наслідок, зниженням зносостійкості трибоз'єднань.

Метою роботи є розробка фізичної моделі динамічного навантаження плоско-паралельних трибоз'єднань металообробного обладнання, розробка експериментальної установки та методики дослідження закономірностей зношування плоско-паралельних трибоз'єднань металообробного обладнання, визначення принципів створення зносостійких трибоз'єднань.

Завданнями роботи є:

- 1 Аналіз умов роботи плоско-паралельних трибовузлів металорізальних верстатів та виявлення динамічних факторів, що негативно впливають на їх зносостійкість;
- 2 Розробка фізичної моделі для визначення закономірностей зношування;
- 3 Розробка конструкції експериментальної установки для реалізації фізичної моделі;
- 4 Розробка методики дослідження закономірностей зношування плоско-паралельних трибоз'єднань в умовах складних динамічних навантажень;
- 5 Розробка засобів підвищення зносостійкості плоско-паралельних трибоз'єднань технологічного обладнання;
- 6 Розробка технологічних рекомендацій щодо несення зносостійких покриттів на контактуючі поверхні трибовузлів.

1 ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ В НАПРЯМНИХ КОВЗАННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Обробка на верстатах за певних умов може супроводжуватись виникненням вібрацій. При цьому знижується якість виготовлення, зношується ріжучий інструмент, а вузли верстата піддаються інтенсивному зносу.

Особливо актуальна ця проблема для сучасного обладнання, що працює з великою продуктивністю і на високих швидкостях різання.

Розглядаючи умови виникнення вібрацій, потрібно враховувати жорсткість всієї обробної системи ВПД, до якої входять: верстат, фундамент під верстатом, пристосування для різних умов обробки, деталь.

Особливий негативний вплив вібрації здійснюють на напрямні верстата. Так як напрямні є одними з найбільш відповідальних вузлів металорізальних верстатів то збереження їх форми і розмірів в процесі експлуатації в значній мірі визначає забезпечення показників точності обробки на верстаті.

Значна частина верстатів, будучи джерелами коливань основи, в той же час мають потребу в захисті від коливань, що надходять до верстата. Цей фактор визначає складність динамічної системи верстата. Основна вимога, яку висувають до верстатів - забезпечення надійного захисту від коливань основ - віброізоляція. Схема коливань технологічної системи і причини їх виникнення приведена на рис. 1.1.

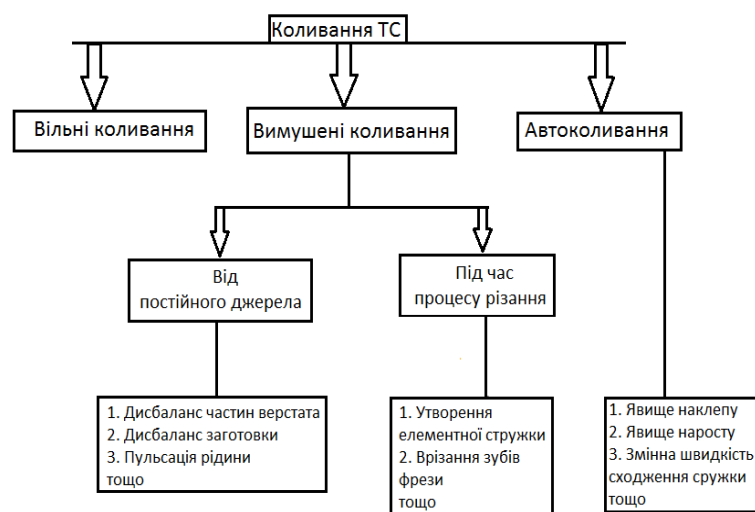
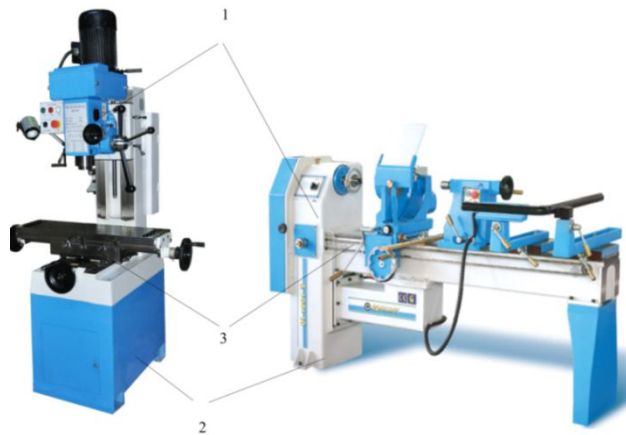


Рисунок 1.1- Коливання в технологічних системах

Вплив параметрів пружної системи на стійкість її руху багато в чому схожий при різній природі виникнення нестійкості.

У верстатах розрізняють наступні види коливань (рис. 1.2):

- 1) параметричні;
- 2) вимушені;
- 3) автоколивання;
 - а) квазігармонійні;
 - б) релаксаційні.



1-параметричні, 2 вимушені, 3- автоколивання
а) фрезерний верстат; б) токарный верстат

Рисунок 1.2- Джерела вібрації в верстатах

Параметричні коливання - коливання, які виникають внаслідок змінної жорсткості окремих елементів приводу головного руху. Наприклад, причиною таких коливань можуть виявитися вали які працюють на вигин, значно ослаблені шпонковими канавками. Жорсткість верстата в значній мірі визначає собою інтенсивність коливань (чим вище жорсткість верстата, тим нижче амплітуда коливання).

Вимушені коливання виникають внаслідок наявності в технологічній системі зовнішньої періодичної сили, що викликає коливальний процес з частотою, рівній частоті вимушених коливань.

Джерелом вимушених коливань може бути переривчасте різання, що визначається кінематикою процесу і конструкцією ріжущого інструменту, тому коливання при різанні, що мають частоту власних коливань системи і є вимушеними, буває іноді важко відрізнити від автоколебаний.

Вимушені коливання верстата без різання, на холостому ходу, називаються коливаннями холостого ходу. Геометричні помилки виготовлення деталей верстата, помилки кінематичних ланцюгів - все це джерела вимушених коливань. Вплив цих помилок на працюючий верстат визначає його динамічну точність.

Шкідлива роль вимушених коливань зростає зі збільшенням вимог до точності верстата, швидкостей різання і подач, оснащенням верстатів вимірювальними системами і системами ЧПК, оскільки їх датчики колійного контролю чутливі до вібрацій [1].

Нормально спрямовані вимушені коливання зменшують силу тертя з тієї ж причини, що і коливання, що збуджуються силою тертя. Зі збільшенням амплітуди вібропереміщень поблизу резонансної частоти сила тертя зменшується, але зношуваність деталей в зоні контакту зростає. Тангенціальна вібрація також знижує силу тертя, причому це зниження пропорційно частоті вібрації. Найбільший ефект зниження сили тертя спостерігається при частоті, яка дорівнює половині власної частоти коливань повзуна в нормальному напрямку [2].

Найпоширенішим видом вібрацій при роботі на металорізальних верстатах є автоколивання.

На відміну від вимушених коливань, частота автоколивань зазвичай залишається постійною в широкому діапазоні швидкостей різання, що є найбільш характерною ознакою, за яким можна відрізнити вимушені коливання від автоколивань [3].

Автоколивальним або «самозбуджувальним» називається такий процес, при якому можуть збуджуватися незгасаючі коливання за рахунок джерела енергії, що не володіє коливальними властивостями. Такий зв'язок коливального елемента з джерелом енергії називається зворотнім зв'язком.

Як відомо, автоколивання обумовлені особливостями конструкції верстата і характеристиками робочих процесів. Автоколивання відрізняються від вимушених і параметричних коливань тим, що підтримуються джерелами енергії неколивального характеру. Найчастіше джерелами автоколивань в металорізальних верстатах є процеси, які супроводжують тертя в парах ковзання - передача гвинт-гайка, напрямна - рухливий вузол, процес різання. При виникненні автоколивань в верстатах їх амплітуда швидко збільшується, але через якийсь час встановлюється на одному певному рівні. Це відбувається через нелінійність залежності в'язкого тертя в системі від величини переміщення щодо стану рівноваги.

Інтенсивність автоколивань нестійкої динамічної системи може бути різна, досягаючи при цьому деякого граничного значення і стабілізуючись [4].

Сили тертя, які зазвичай призводять до загасання коливань, в деяких випадках є причиною виникнення автоколивань. Зазвичай це відбувається в парах тертя ковзання при малих відносних швидкостях переміщення ланок пари.

Автоколивання, викликані процесами тертя - фрикційні автоколивання - можуть викликатись нелінійною характеристикою процесу тертя і неоднозначністю залежності сили тертя від переміщення. Такі умови виникають:

- 1) через зниження характеристики сили тертя від швидкості;
- 2) при стрибку сили тертя через перехід від спокою до руху;
- 3) від залежності сили тертя від часу нерухомого контакту;
- 4) через інерційність процесу тертя;
- 5) внаслідок особливостей пружної системи з декількома ступенями волі.

Тому ці коливання визначаються динамічними характеристиками всієї системи в цілому, що володіє власними формами коливань і декрементом загасання.

При малих швидкостях ковзання вузла в напрямних, деяких параметрах пружної системи і характеристиках тертя в системі самозбуджуються фрикційні

автоколивання без періодичних впливів ззовні. Вони можуть бути двох видів: квазігармонічні (без зупинкові) і релаксаційні, при яких відбувається стрибкоподібний рух, що складаються з двох фаз, що по чергово повторюються: фази стрибка-ковзання та фази вистою. Перші призводять до погіршення шорсткості обробленої поверхні; другі - до неможливості точного позиціонування робочих органів при дуже малих переміщеннях на мінімальних швидкостях.

Амплітуда і частота фрикційних автоколивань визначаються динамічними параметрами системи. Самозбудження коливань відбувається внаслідок перевищення енергії, що отримує система від зовнішнього джерела (неколебательного характеру), над енергією, що розсіюється при коливанні; коли настає рівність цих енергій, встановлюються стаціонарні коливання з певною амплітудою.

Характеристики фрикційних автоколивань вузлів істотно залежать також від схем їх навантаження і від зміни швидкості вузлів в процесі їх переміщення в напрямних ковзання [5].

Оскільки багато джерел коливань мають досить широкий спектр, пружна система верстата посилює ті коливання, частота яких збігається з її частотою власних коливань. При прояві нестійкості в системі виникають резонансні коливання. Значними є резонансні піки при частотах 100; 160; 220 і 320 Гц. Жорсткість має найбільший вплив на резонансні коливання, наступна за ступенем впливу є демпфуюча здатність і, нарешті, маса.

Найбільш потужні резонанси лежать в діапазоні 30 - 60 Гц. Все це свідчить про спільність розрахункових схем верстатів, що, в свою чергу, дозволяє розробити типові розрахункові схеми для окремих груп верстатів (токарних, фрезерних, зуборізних тощо).

Для визначення ступеня впливу резонансних частот на систему напрямних і оцінки збільшення інтенсивності зношування створюється фізична модель, оскільки проведення дослідів на натурних зразках неможлива.

З вище викладеного можна зробити висновки:

1 У металообробному обладнанні під час роботи відбуваються складні та інтенсивні динамічні процеси, пов'язані із виникненням коливань, що знижують довговічність напрямних.

2 Коливання у верстатах мають різні причини виникнення та дуже широкий спектр від 10 до 10000 Гц. Але найбільш небезпечними є коливання у низькому діапазоні частот (до 100 Гц). Саме вони призводять до підвищення інтенсивності зносу напрямних.

3 Аналіз розрахункових схем прикладання коливальних навантажень свідчить про їх спільність для різних груп верстатів. Це створює умови для розробки загальних розрахункових схем для різних видів металообробного обладнання.

4 Проведення випробувань на натурних зразках (верстатах) практично неможливе. Тому для оцінки впливу вібрацій на зменшення зносостійкості напрямних необхідне створення фізичної моделі у відповідності зі схемою динамічних навантажень притаманної металообробному обладнанню.

2 ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПЛОСКО-ПАРАЛЕЛЬНИХ ТРИБОЗ'ЄДНАНЬ МЕТАЛООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ

Для створення схеми навантаження фізичної моделі проводиться аналіз схеми коливань верстата.

На рис. 2.1 представлена розрахункова схема верстата і супорта. Каретка переміщається за всіма шістьма ступенями волі і згинається в площині YOZ. Слід зазначити поворотні коливання фартуха близько осі X. Поперечний супорт повторює коливання каретки по всіх координатах, крім координати Y, по якій його переміщення більше, ніж за всіма іншими осями.

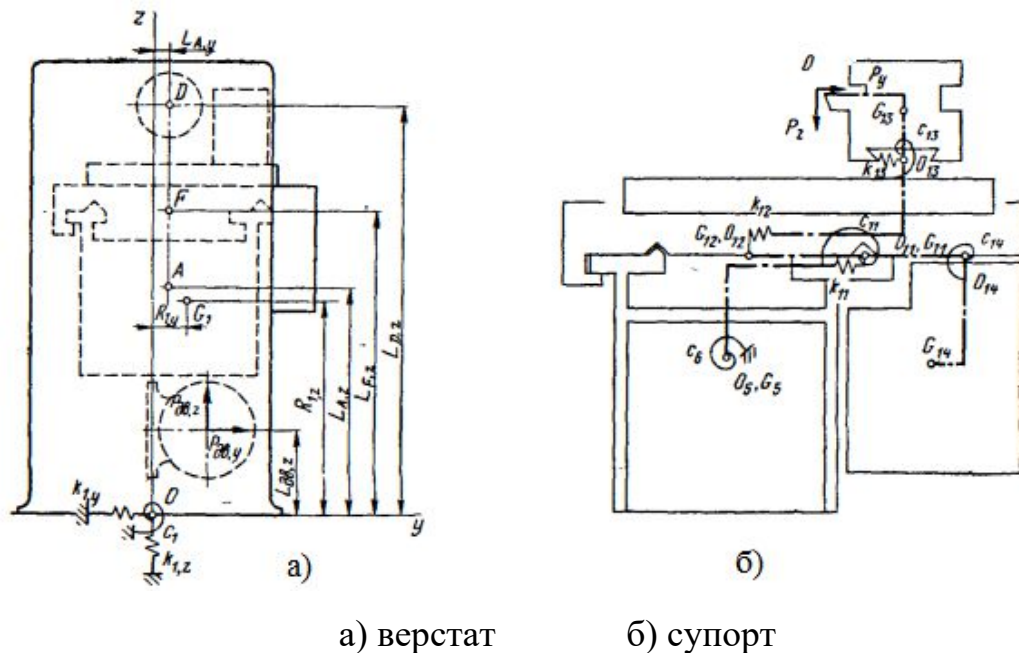


Рисунок 2.1– Розрахункова схема коливань системи

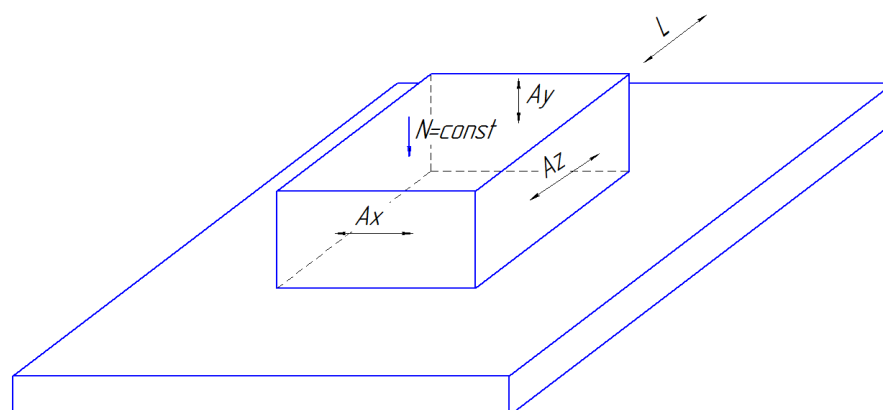
Верхній супорт коливається як одне ціле з різцетримачем; найбільшими є коливання по осях X і Y і навколо осі X.

Спрощенню та обґрунтуванню розрахункової схеми допомагає аналіз частот власних коливань окремих елементів розрахункової схеми (парціальних частот). При цьому слід використовувати таке правило: якщо коливання в верстаті мають, наприклад, частоту 100 Гц, то можуть не враховуватися ті ступеня волі елементів, за якими їх парціальні частоти перевищують 500- 1000

Гц. У проміжних випадках необхідно користуватися іншими способами спрощення. Парціальні частоти для верхнього супорта токарного верстата при коливаннях уздовж осі X рівні 167 Гц, уздовж осі Y - 388 Гц, уздовж осі Z - 100 Гц, а при коливаннях навколо осі X рівні 503 Гц, навколо осі Y - 1300 Гц і навколо осі Z - 370 Гц. Аналіз цих значень показує, що ступеня волі, що допускають переміщення навколо осей X , Y , Z можуть бути відкинуті [1]. Жесткість стиків в металорізальних верстатах, в значній мірі визначає точність обробки і вібростійкість системи.

Моделі контактної взаємодії в трибоз'єднання, що розроблюються, повинні максимально точно відтворювати схему навантаження в реальних напрямних металорізального верстата.

Принципова схема фізичної моделі випробування зразка представлена на рис. 2.2.



L -поступальний реверсивний рух, N постійна статичне навантаження,
 A_x , A_y , A_z - напрямки коливань

Рисунок 2.2 - Фізична модель випробувань зразка

Плоска форма зразка дозволяє витримати постійні умови контакту під час випробувань з різними схемами динамічних навантажень, точно визначити обсяг зношеного матеріалу і розрахувати шлях тертя з мінімальною трудомісткістю. Зразок, що випробовується притискається до контртіла з силою N і накладенням вібрацій в 3-х взаємоперпендикулярних напрямках з

амплітудами A_x , A_y , A_z відповідно до схеми розподілу динамічних навантажень в верстаті.

Модель включає поступальний реверсивний рух зразка уздовж однієї координатної осі з певною швидкістю на величину L , імітуючи переміщення вузла верстата.

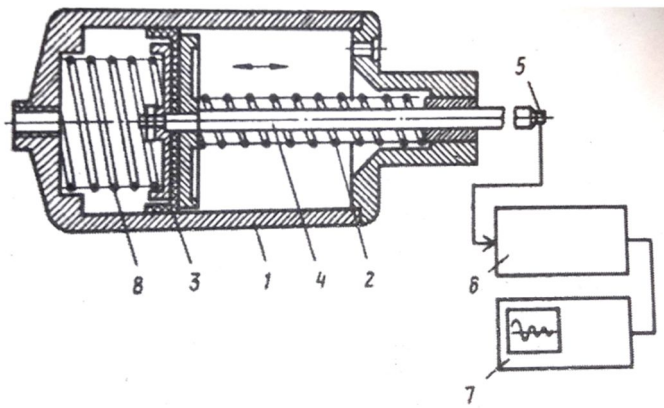
Зміна напрямку рухів пар тертя при ковзанні зменшує зносостійкість. Знакозмінні зсувні деформації впливають на динаміку зміни властивостей металів. У разі реверсу наклеп поверхностного шару більше, ніж при односторонньому терті, але тільки на перших етапах роботи. Подальше знакозмінне деформування вичерпує можливості зміцнення мікрооб'ємів, розхитує їх мікроструктуру і викликає інтенсифікацію втомних процесів. Зменшення міцності поверхневих шарів спостерігається не тільки при реверсивному терті, а й при односторонньому при важких режимах.

В умовах реверсивного тертя без розриву контакту може відбуватися схоплювання поверхонь. При цьому на контактуючих поверхнях можуть спостерігатися задири, подряпини, пластичні відбитки і перенесення матеріалу однієї деталі на поверхню іншого. Зазначені ушкодження на одній з деталей пари завжди мають у відповідь на поверхні іншої деталі.

Для реалізації фізичної моделі було розглянуто ряд установок, в яких є можливість відтворення проскопараллельного тертя.

Для вибору віброзбуджувачів було розглянуто ряд патентів, розробка яких відноситься до техніки вібраційних випробувань, а саме віброустановки для створення різноспрямованих вібрацій.

Установка тертя Б.В.Лушнікова та С.Л.Цифанського (рис. 2.3) відноситься до пристроїв, що ідентифікують сили сухого тертя, яке підпорядковується закону Кулона та коефіцієнту лінійного вязкого тертя в пружно-лінійній коливальній системі з одним ступенем волі.



1-пневмоциліндр, 2- пружина, 3-поршень, 4-шток, 5- датчик вібромереміщень, 6-віброперетворювач, 7-самописець, 8-лінійно-пружний елемент

Рисунок 2.3 – Креслення установки тертя в розрізі Б.В. Лушнікова та С.Л.Цифанського

Установка тертя конструкції Л.І.Івченко і Н.Н.Голего (рис. 2.4) відноситься до пристроїв для дослідження фрикційних характеристик матеріалів, що працюють при змінних контактних навантаженнях, наприклад при терті зі спів ударом. Работа цього пристрою полягає в тому що привід повідомляє держаку зразка коливальний рух, в результаті чого зразок взаємодіє з нерухомим контрзразком при зіткненні.

Число взаємодій до руйнування досліджуваних матеріалів служить критерієм їх зносостійкості.

Установка працює в такий спосіб: при включенні двигуна 5 обертання передається через гнучкий вал 6 диску 8 з неврівноваженою масою, який через підшипник 7, вісь 9 і планку 4 повідомляє коливальний рух держаку 1 зразка 2. Контрзразок 11, укріплений на держаку 10, а взаємодіє із зразком 2, забезпечуючи одночасно зіткнення і прослизання поверхонь тертя в контакті К. Разом з цим індукційний нагрівач 13 і робоча камера 14 дозволяє створювати в зоні випробування задану температуру і контрольовану робоче середовище.

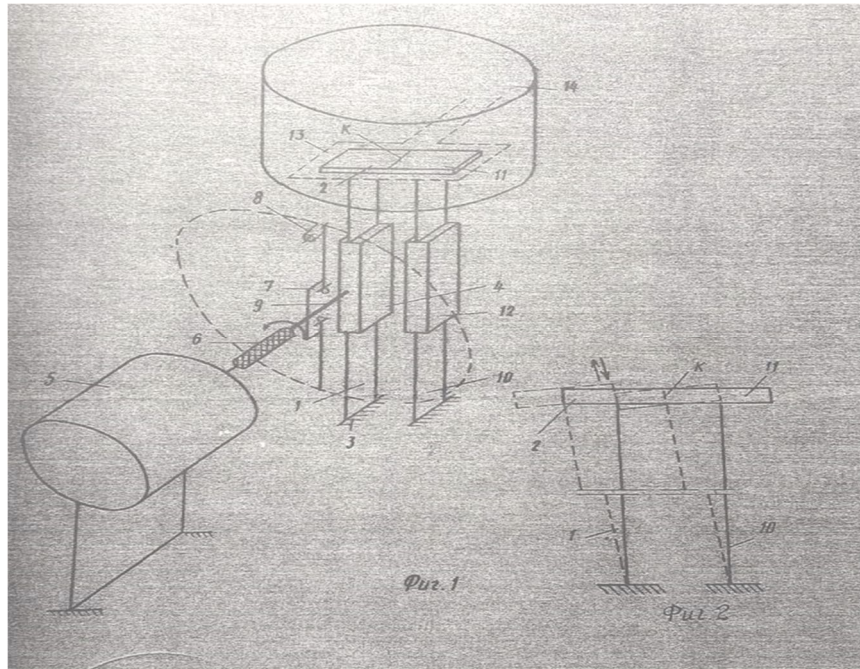


Рисунок 2.4- Принципова схема установки тертя Івченко Л.Й. та Н.Н.Голего

Вібростенд, призначений для випробування виробів на вібраційні навантаження за трьома ортогональними напрямками, містить електродинамічні вібратори зі взаємно перпендикулярними напрямками дії вібраційних навантажень, і платформу для встановлення випробуваного виробу, яка виконана у вигляді паралелепіпеда (рис. 2.5).

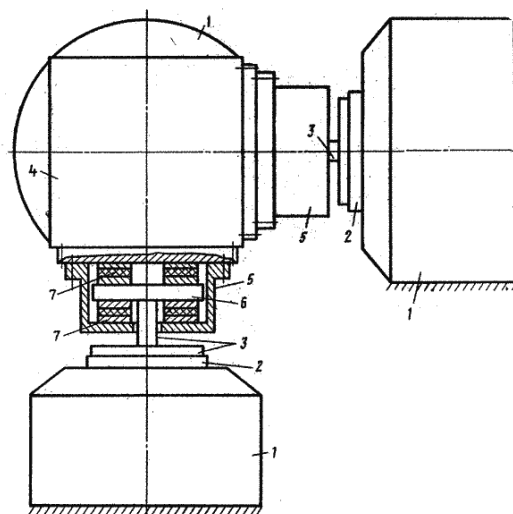


Рисунок- 2.5- Вібростенд

При модернізації розроблювальної установки механічні віброзбудники не можуть використовуватися через значне розсіювання коливань. Це може внести значні похибки при створенні односпрямованих вібрацій одночасно в різних площинах.

Застосування електродинамічних віброзбудників для реалізації фізичної моделі найбільш прийнятний. Однак розглянуті вібростенди, що працюють за цим принципом, також мають ряд недоліків - складність і громіздкість конструкції, складність в отриманні необхідної точності відтворення режимів випробувань.

Розглянуті трибоустановки плоскопаралельного тертя не можуть використовуватися в реалізації заявленої фізичної моделі, тому що не мають можливостей реверсивного руху та створення коливань зразків у різних площинах.

Висновки:

1. Розроблена фізична модель випробувань плоско-паралельних трибоз'єднань металообробного обладнання під дією складних динамічних навантажень.

2. Аналіз трибоустановок, що працюють з накладанням вібрацій на випробувані зразки показав, що серед них не існує конструкцій, що відповідають розробленій фізичній моделі. Для відтворення схеми динамічного навантаження напрямних металообробного обладнання необхідно створення оригінальної конструкції установки для випробувань.

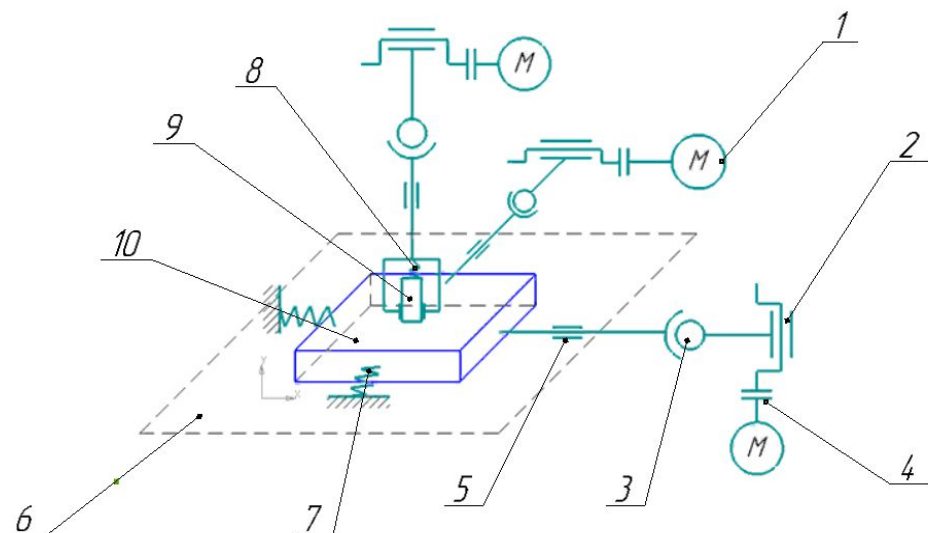
3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ

На базі аналізу розглянутих віброустановок, була розроблена схема прикладення вібрації.

Випробування проводитимуться на удосконаленому трибометрі мод. ТММ-32А. Ця установка призначена для визначення коефіцієнта тертя ковзання між двома тілами при їх рівномірному русі відносно один одного.

Для реалізації зазначеної вище фізичної моделі на базі трибометра ТММ 32А розроблена конструкція установки для випробувань зразків в умовах трьохкомпонентного коливального навантаження.

На рис.2.6 зображено кінематичну схему запропонованої конструкції установки.



1- електродвигун; 2- ексцентрик; 3- шарнір; 4- гнучка муфта; 5- підшипник ковзання; 6- котрзразок; 7- пружина; 8- пружина ударника; 9- ударник; 10- обойма зі зразками

Рисунок 2.6 - Кінематична схема розробленої установки.

3.1 Умови проведення випробувань

Умови проведення експерименту будуть 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 пластини, зменшується зусилля нормального навантаження, оптимізуються величина переміщень).

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

1) Температурний режим: температура в умовах експерименту становить 20-24 ° С, що відповідає тепловому режиму роботи направляючих верстатів.

2) Матеріали зразків: для випробувань обрані пари матеріалів, найбільш часто застосовуються в напрямних - чавун-чавун (СЧ25), сталь-сталь (азотована сталь 40ХФ), сталь-кольоровий сплав БрОФ10-1 і сталь-фторопласт-4.

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

4) Режими тертя: у випробуваннях нормальне навантаження на зразок становить 50 Н. Питомий тиск при цьому 0,25 МПа відповідно.

5) Частота і амплітуда вібрацій

Амплітуда коливань вантажу становитиме, згідно [1], 0,02 мм. Частота на віброзбудник буде задана згідно розрахованій частоті власних коливань системи. Комбінації режимів накладення вібрацій для отримання різних схем складного динамічного навантаження представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Матриця проведення експерименту

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

6) Машення: як мастила використовуємо індустріальне масло І-20А ГОСТ 20799-88.

3.2 Опис конструкції експериментальної установки.

На рис. 3.1а, 3.1б, 3.1в представлена принципова схема експериментальної установки.

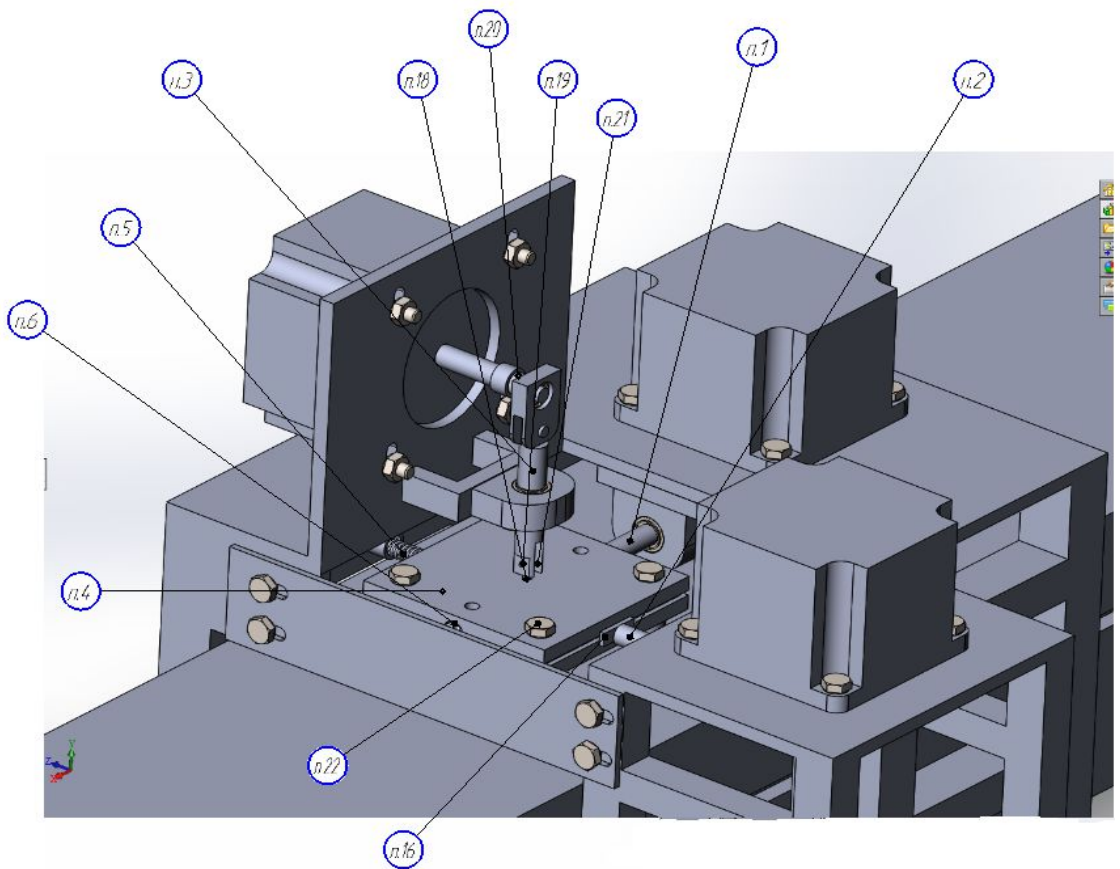


Рисунок 3.1а- Принципова схема установки

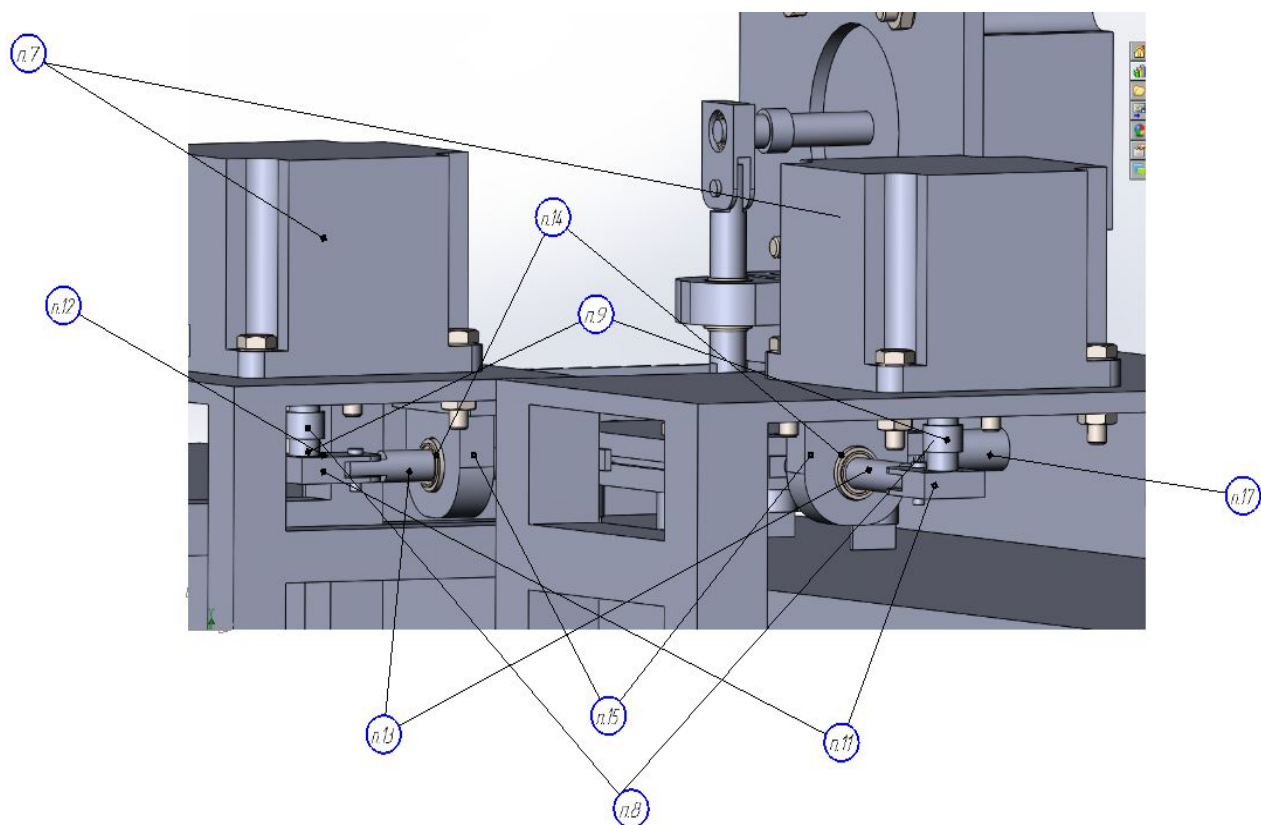


Рисунок 3.1б- Принципова схема установки

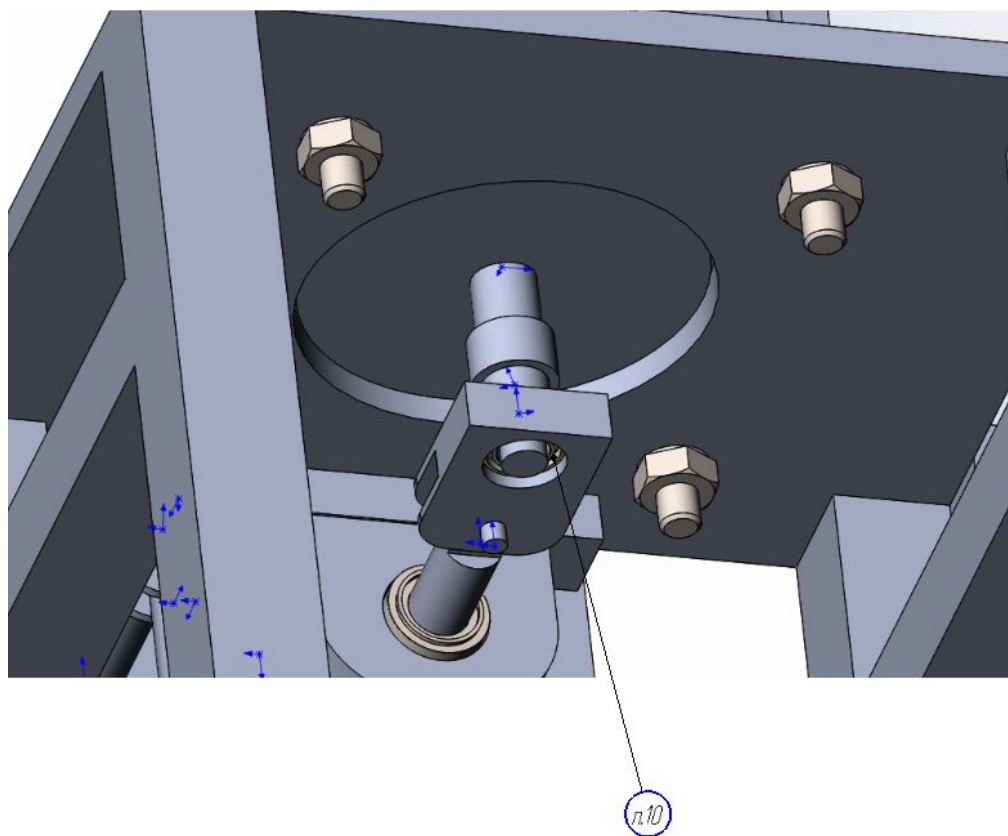
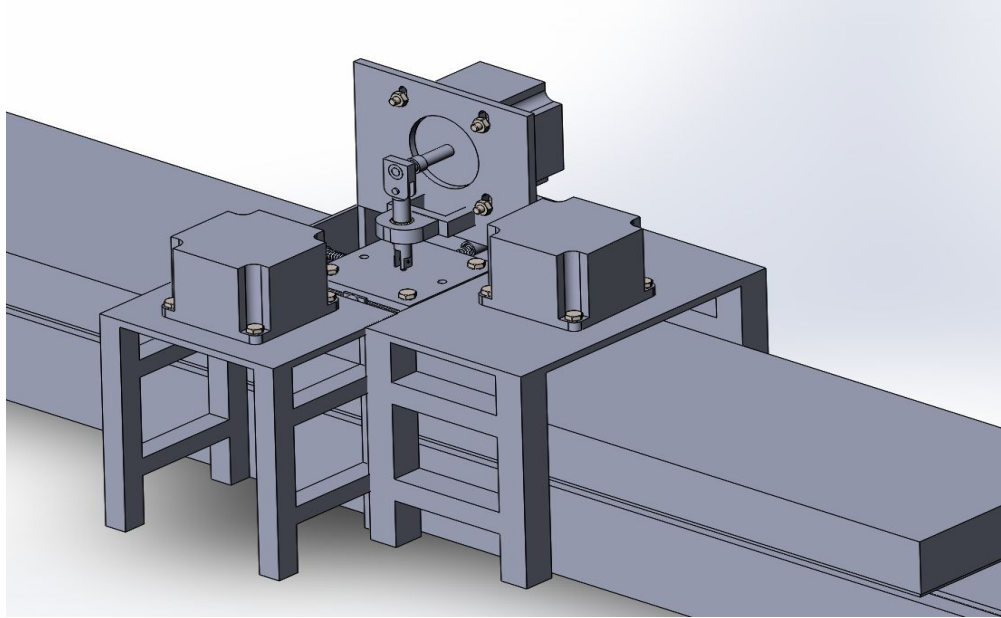


Рисунок 3.1в- Принципова схема установки

Установка складається з трьох вузлів задання коливань в повздовжньому 1, поперечному 2 и вертикальному напрямках; вузла кріплення зразків 4 і пружин 5 та 6.

На рис. 3.2 представлена 3D модель експериментальної установки в зборі.



Рисунку 3.2- 3D модель експериментальної установки в зборі.

Вузли задання коливань в повздовжньому та поперечному напрямках мають ідентичну конструкцію і складаються з приводного двигуна 7 вал якого гнучкою муфтою 8 з'єднаний з ексцентриком 9. Ексцентрик встановлений в підшипник 10. Підшипник 10 встановлений в отвір вилки 11 та фіксується в осьовому напрямку фторопластовими втулками 12. Вилка 11 шарнірно з'єднана із штовхачем 13, що встановлений в підшипник ковзання 14 розташованого у провушині 15.

Штовхач з'єднаний з вузлом кріплення зразків 4 за допомогою штифтів 16, що розташовані у пазах вузла кріплення зразків.

Розташування штифтів штовхачів у пазах вузла кріплення зразків забезпечує вільне коливання вузла кріплення зразків при створенні вібрації у будь-якому напрямку. При цьому забезпечується надійна фіксація вузла

кріплення зразків на столі трибометра від зсувів і небажаних переміщень в процесі руху контрзразка.

З боків протележних розташуванню штовхачів вузол кріплення зразків підтиснутий спіральними пружинами стиснення 5, що розташовані в стаканах 17.

Вузол задання вертикальних коливань має конструкцію аналогічну вузлам задання коливань у горизонтальній площині. Але у штовхачі 3 передбачений ударник 18, що закріплюється у штовхачі штифтом 19. Для компенсації різниці максимально можливого ходу штовхача, що обмежується контактом з площиною вузла кріплення зразків та величиною ексцентриситету ексцентрика 20. Ударник має можливість вільного ходу в осьовому напрямку. Повернення його у вихідне положення забезпечую пружина 21.

У якості приводних двигунів використовуються серводвигуни Yaskawa SGMPH-01A1E4C з потужністю 100 Вт та номінальною частотою обертання 3000 об/хв (рис. 3.3).



Рисунок 3.3- Електродвигун

Висновки:

1 Сформовані умови проведення випробувань, у відповідності з якими розробляється принципова схема та конструкція експериментальної установки.

2 Для розробленої фізичної моделі складного динамічного навантаження плоско-паралельних трибоз'єднань металообробного обладнання розроблена принципова схема та конструкція експериментальної установки, що у повній мірі відповідає заданій схемі навантаження

3.3 Принцип роботи експериментальної установки

У вузол кріплення зразків встановлюється одночасно 4 зразка і закріплюються до корпусу вузла кріплення зразків гвинтами 22.

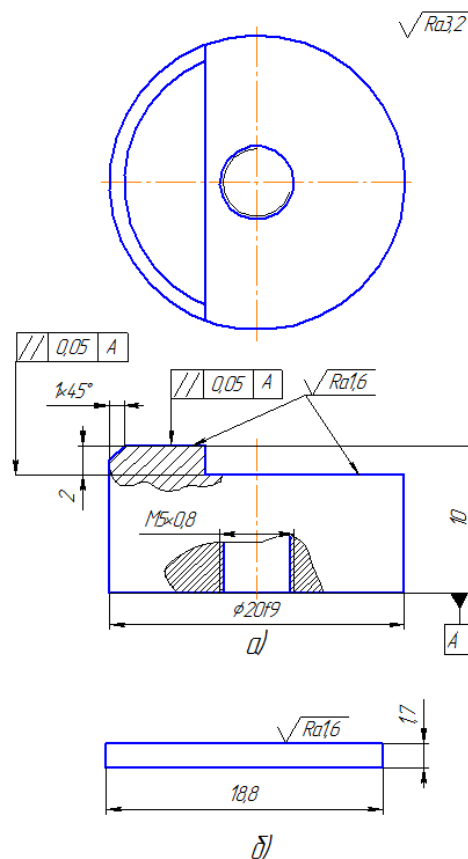
Створення коливань зразків у горизонтальній площині досягається послідовним або одночасним вмиканням електродвигунів у різних комбінаціях, що визначені в умовах проведення експерименту. При цьому у підшипнику вилці починає обертатися ексцентрик, передаючи вилці коливальний рух. Поступальна його складова передається на штовхач завдяки шарнірному з'єднанню. Штовхач переміщується у підшипнику ковзання із заданою амплітудою і частотою, передаючи коливання на вузол кріплення зразків. Постійний контакт штовхача із вузлом кріплення зразків забезпечується пружинами, що встановлені навпроти штовхачів.

Регулювання частоти коливань досягається регулюванням частоти обертання вала електро двигуна. Регулювання амплітуди досягається змінами ексцентриками.

Регулювання питомого тиску між поверхнями зразка і котрзразка досягається за рахунок встановлення додаткової май на вузол кріплення зразків у вигляді сталевих пластин. Створення коливань зразків у вертикальній площині забезпечується за рахунок ударного навантаження, що створюєтьсяударником від штовхача. Регулювання частоти і аплітуди коливань здійснюється аналогічно регулюванням у горизонтальній площині.

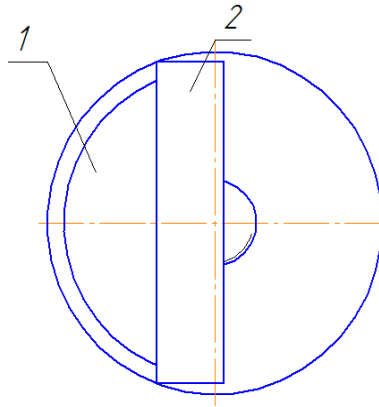
3.4 Розробка зразка для випробувань

Форма зразка являє собою циліндр з вифрезерованою площиною (рис. 3.5), на яку буде кріпитися змінна база за допомогою клею «Епоксілін». База використовується для оцінки стану випробуваної поверхні зразка після проведення експерименту. Поверхня бази буде піддаватися такій же обробці як площину зразка, яка буде піддаватися зносу. Форма контактної поверхні зразків в процесі випробувань дозволяє зберегти вихідну поверхню і порівняти її з отриманою поверхнею, що 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. 3.6.



а) зразок; б) база

Рисунок 3.5 – Креслення зразка для випробувань



1 - зразок; 2 – база

Рисунок 3.6 - Кріплення бази до зразка

3.5 Розрахунок основних параметрів та вузлів установки

Амплітуда коливань: зміна амплітуди коливань відбувається за рахунок змінних ексентриків.

Частота обертання двигуна:

$$n_{\min \text{ дв.}} = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ [хв}^{-1}\text{]} \quad (3.1)$$

$$n_{\max \text{ дв.}} = 60 \cdot 60 = 3600 \text{ [хв}^{-1}\text{]} \quad (3.2)$$

Сила тертя:

$$F_{\text{тр}} = F \cdot f = 50 \cdot 0.25 = 12.5 \text{ [Н]} \quad (3.3)$$

де, F - прикладене навантаження;

f - коефіцієнт тертя «сталь по сталі».

Крутний момент на валу двигуна:

$$M_{\text{кр}} = F \cdot h = 50 \cdot 0.001 = 0.05 \text{ [Н·м]} \quad (3.4)$$

де, F - прикладене навантаження;
 h - плече прикладення сили.

Потужність приводу:

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9550 \cdot \eta} = \frac{0.05 \cdot 3600}{9550 \cdot 0.89} = 0.02 \text{ кВт} \quad (3.5)$$

де, $M_{кр}$ - крутний момент на валу двигуна;
 n - частота обертання вала двигуна;
 η - ККД двигуна.

Розрахунок підшипників ковзання на довговічність:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n = \left(\frac{395}{50}\right)^{10/3} = 982 \text{ об} \quad (3.6)$$

де, C - динамічна вантажопідйомність підшипника;
 n - 10/3 для роликових підшипників;
 P - еквівалентне навантаження.

Питомий тиск на зразках:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{50}{2} = 25 \left[\frac{\text{Н}}{\text{см}^2} \right] \quad (3.7)$$

де, F - прикладене навантаження;
 S - площа зразків.

3.6 Методика проведення випробувань

1. Зразки з закріпленими до них змінними базами жорстко закріплюються у відповідних отворах вузла кріплення зразків гвинтами.
2. Вузол кріплення зразків встановлюється на стіл трибометра, з'єднується із пружинами та штовхачами.
3. Здійснюються необхідні регулювання частоти та амплітуди коливань, а також величина навантаження на контактуючих поверхнях зразків і котрзразків.
4. Здійснюється запуск установки із накладенням коливань у визначених планом експеримента комбінаціях за рахунок одночасного або послідовного включення відповідних електродвигунів.
5. Після відпрацювання запланованої кількості циклів котактуючих поверхонь, відпрацьовані зразки знімаються.
6. За допомогою профелометра-профілографа записується профілограма котактуючих поверхонь.
7. По профілограмам визначається об'єм зношеного матеріалу.
8. Для оцінки результатів випробувань використовуються методи математичної статистики. Експериментальні залежності оброблюються з використанням регресійного аналізу.

3.7 Методика визначення зносу і математична обробка результатів експерименту

Обробка результатів експерименту виконується по наступній методиці.

Інтенсивність зношування знаходиться із залежності :

$$J_v = \frac{V}{N} \quad (3.8)$$

де V – об'єм зношеного матеріалу, мм^3 ;

N - кількість циклів взаємного переміщення зразків, цикл.

Коефіцієнт інтенсивності зносу розраховується за формулою:

$$K_{jv} = \frac{J_v}{P_{уд} \cdot A_n} \quad (3.9)$$

де, J_v – інтенсивність зношування, мм/цикл;

$P_{уд}$ – удільний тиск в зоні контакту зразків, МПа;

A_n - амплітуда взаємного переміщення зразків, мм.

Обробка результатів експерименту зосереджена в знаходженні середніх даних певних характеристик зносу.

В ході статистичної обробки результатів експерименту проводиться також перевірка отриманих значень на достовірність (щоб виключити помилково отримані значення). При тому для значень, які найбільш відрізняються від середнього значення, проводиться відповідний розрахунок. Методика визначення випадкових і закономірних значень ґрунтується на відомих статистичних закономірностях. Вона складається у визначенні статистики Стьюдента $t_{i \text{ СтРасч}}$, для даного значення і порівнянні її з табличним значенням коефіцієнта Стьюдента. Якщо розрахункове значення виявляється більше табличного, то при отриманні даного значення мала місце похибка і його не можна вважати достовірним.

Розрахункова статистика Стьюдента для i -го значення:

$$t_{i \text{ СтРасч}} = \frac{|J_{vk} - \overline{J_{vi}}|}{S_i} \quad (3.10)$$

де, J_{vk} – i -оє значення, для котрого проводиться перевірка

$\overline{J_{vi}}$ – середнє значення для i – того значення, що перевіряється:

$$\overline{J_{vi}} = \frac{\sum_{k=1}^{i-1} J_{vk} + \sum_{k=j+1}^{i-1} J_{vk}}{n - 1} \quad (3.11)$$

де, n – кількість отриманих значень;

S_i – дисперсія для i -го значення:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{i-1} (J_{vk} - \overline{J_{vi}})^2 + \sum_{k=j+1}^{i-1} (J_{vk} - \overline{J_{vi}})^2}{n-1}} \quad (3.12)$$

При цьому повинна виконуватись умова:

$$t_{\text{СтРасч}} < t_{\text{Ст табл}} \quad (3.13)$$

Об'ємний знос і інтенсивність зношування визначається профілеграфуванням (профілограф моделі 201 і моделі 170311) із записом профілограм на персональному комп'ютері через аналогово - цифровий перетворювач Е14-140, сумарна площа зношених ділянок поверхні профілограми визначається середня (а також максимальна) глибина пошкодження поверхні. При цьому з досліджуваної поверхні знімаються профілограми містять ділянки зношеної і вихідної поверхонь. Визначаючи загальну відстань між зношеною і вихідною поверхнею отримуємо величину зносу (рис. 3.7).

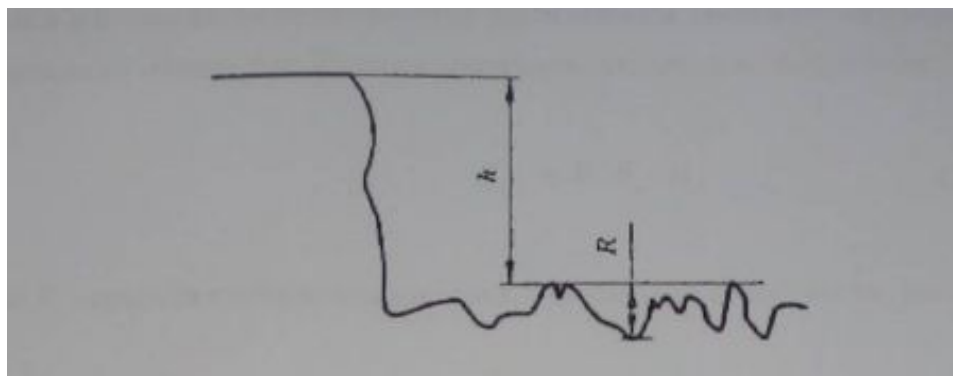


Рисунок 3.7- Визначення величини зносу

Площа зношеної поверхні визначається відповідно рис. 3.8

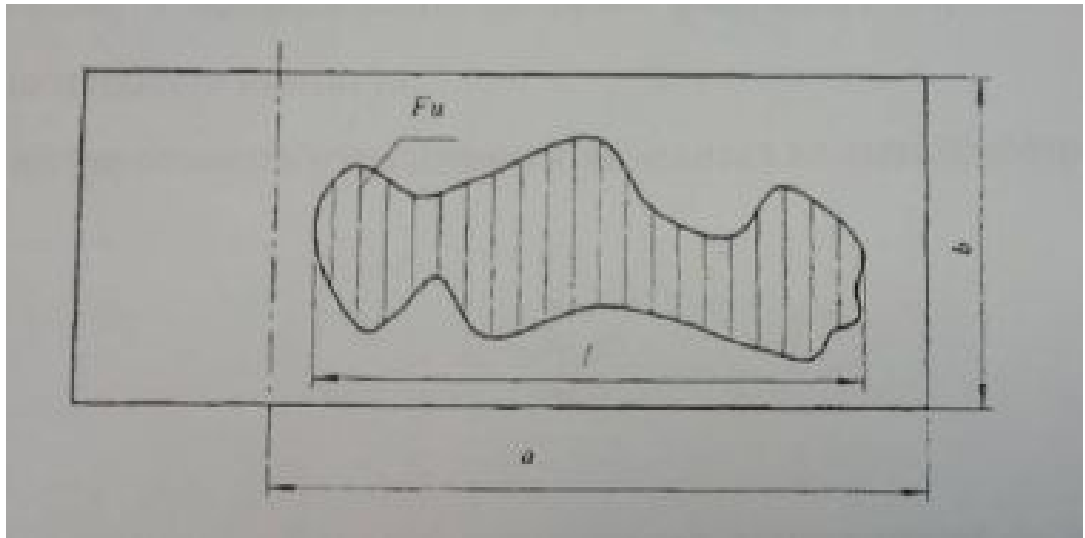


Рисунок 3.8- Визначення площі зношеної поверхні

$$F_u = \int_0^l y(x)dx \quad (3.14)$$

Номінальна площа розраховується:

$$F_u = a \cdot b \quad (3.15)$$

де a і b – довжина та ширина робочої частини зразка. Величина адгезійної складової об'єму зношеного матеріалу знаходиться із виразу:

$$V_{адг} = R \cdot F_u \cdot K \quad (3.16)$$

де, R – середня глибина пошкоджень зношеної поверхні, мм

$$R = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{B_{BY}} \quad (3.17)$$

Де $K = (0,25 - 0,50)$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність пошкоджень по площі контакту.

Об'ємна інтенсивність зносу знаходиться із залежності :

$$I_v = \frac{V}{L} \quad (3.18)$$

де L – шлях тертя, м. Дорівнює амплітуді, що помножена на частоту та тривалість циклу при прослизанні в одному напрямі.

При прослизанні в двох взаємно - перпендикулярних напрямках шлях тертя розраховується по наступній методиці.

Довжина траєкторії руху розраховується:

$$L = \int_0^l v(t) dt \quad (3.19)$$

Швидкість в нашому випадку має 2 складові:

Переходячи від векторної рівності до скалярної, отримаємо:

$$v(t) = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \quad (3.20)$$

Остаточно

$$L = \int_0^l \sqrt{\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2} dt \quad (3.21)$$

4 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ ЗМІН ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ В ЗОНІ КОНТАКТУ

Управління працездатністю трибоз'днань неможливе без застосування комплексу сучасних методів оцінки мікрогеометрії поверхні і стану поперхностного шару зразків після випробувань на зазначеній установці. Для оцінки зміни стану поверхневого шару в роботі використовується трибоспектральний метод (метод ідентифікації структурного стану поверхневого шару статистичними характеристиками при скануванні алмазним індентором) і метод аналізу електронної будови поверхневого шару металів на основі зміни роботи виходу вільних електронів. Вони дозволяють оцінити зміну формування в поверхневому шарі кристалітів з різними характеристиками міцності і деформаційними властивостями, структурний і енергетичний стан поверхні, ступінь пластичної деформації. З'являється можливість розглянути, як деформування металів при терті з різними схемами навантаження призводить до структурних перетворень на поверхні і відповідній зміні енергетичного рельєфу поверхні, що дозволить сформувати триботехнічний принцип мінімізації зносу і встановлення зносостійкої властивості матеріалів.

4.1 Оцінка стану поверхневого шару трибоспектральним методом

Визначення закономірностей поверхневого руйнування матеріалів, що підлягають аналізу при терті в умовах трьохмірного навантаження вимагає досліджень фізико - механічних властивостей поверхневого шару і топографії поверхні, зношених зразків. Оцінка поверхневого шару зразків трибоспектральним методом (методом ідентифікації структурного стану поверхневого шару статистичними характеристиками при скануванні алмазним індентором) проводиться на установці НАУ. Метод дозволяє оцінити зміну утворених в поверхневому шарі кристалітів з різними характеристиками міцності і деформаційними властивостями. структурний і енергетичний стан поверхні, ступінь пластичної деформації.

4.2 Визначення зміни фізико-механічних властивостей поверхневих шарів за допомогою приладу «Мікрон-гамма»

Зміна фізико - механічних властивостей поверхневих шарів зразків визначали в процесі безперервного вдавлювання і сканування індентором на приладі "Мікрон - Гамма" (рис. 4.1). Метод безперервного вдавлювання індентора, що реалізовується на приладі "Мікрон - гамма", заснований на автоматичній реєстрації глибини впровадження в залежності від прикладеного навантаження на індентор. Метод сканування базується на безперервній реєстрації опору руху індентора по поверхні в залежності від прикладеного навантаження. Визначення статистичних зв'язків між опором локальних мікрооб'ємів матеріалу контактному деформуванню дозволяє провести комплексну оцінку стану поверхневого шару на трасі сканування і, зокрема дозволяє оцінити відносну середню міцність на трасі сканування, оцінити розсіювання і неоднорідність властивостей міцності, моделювати елементарні акти процесів тертя і зносу за схемою.

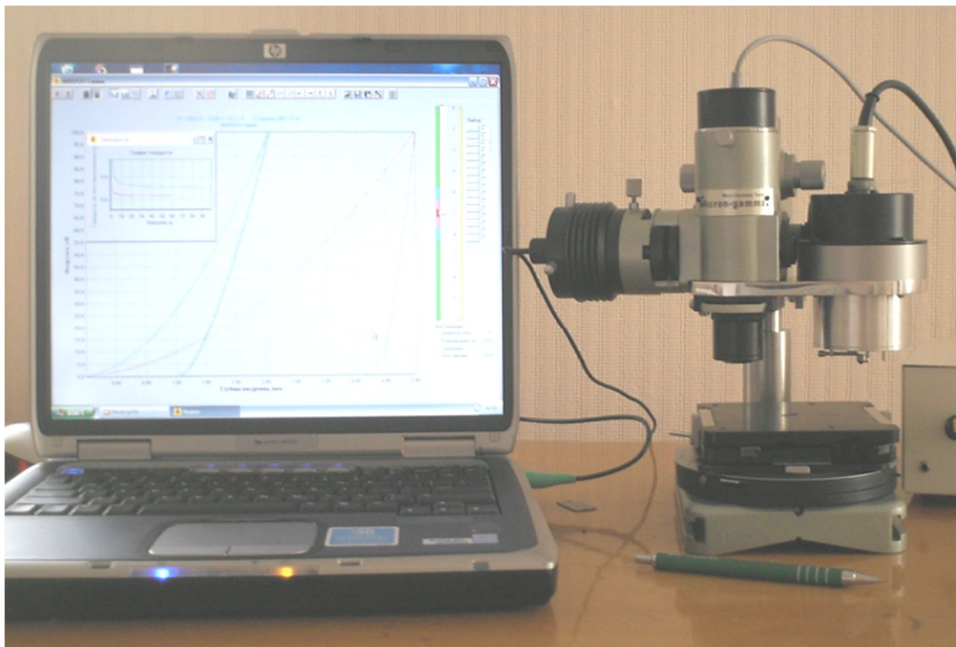


Рисунок 4.1- Прилад "Мікрон - гамма"

Якщо досліджувана поверхня вздовж траси сканування індентору складається з твердих (і дрібних L2) і м'яких (і великих L1) фрагментів, то обробивши трибограму (залежність опору локальних мікро - обсягів матеріалу контактному деформуванню від часу t) як випадковий процес і побудувавши графік спектральної щільності, можливо отримати портрет міцності поверхні. За спектральної щільності можливо судити про розміри, кількість і про міцність фрагментів на трасі сканування.

При цьому можливим є виконувати дослідження з діапазоном заданих навантажень 1-500 гс: вимірюваної глибини впровадження 0,01-200 мкм; швидкістю навантаження 0,01-100 гс/с; часом витримки під навантаженням 0 - 10 хв; діапазоном сканування 30х30 μ m, швидкістю сканування 10-100 мкм/с.

Оцінка стану поверхневого шару зразків на приладі "Мікрон - гамма" здійснюється в роботі з використанням програми для управління, збору і обробки інформації методом сканування за методикою, що представлена в роботі [6].

Проведення дослідів здійснюється наступним методом:

Встановлюємо випробовуваний зразок 2 на предметний стіл 1 таким чином, щоб поверхня зразка була по можливості паралельна поверхні столу. За допомогою рукояток грубої і точної настройки оптичного мікроскопа 8 плавно опускаємо індентор 7 з щупом 19 на поверхню зразка 2, причому в підвішеному стані індентор розташований нижче щупа на 50-100 мкм. Момент торкання поверхні індентором реєструється по індикатору на екрані. Повертаючи рукоятку щупа 19, висуваємо (опускаємо) щуп до торкання поверхні зразка, реєструючи при цьому момент торкання по індикатору на екрані. Застосування щупа дозволяє в десятки разів зменшити вплив жорсткості конструкції приладу на показання, так як вимірюється глибина впровадження індентора відносно щупа, а не прогини предметного столу і стійки приладу.

Після запуску програмного забезпечення і вибору необхідного навантаження, навантажуюмо індентор за допомогою електромагнітного навантажувача 5, цифро – аналогового перетворювача 16 і керованого генератору постійного струму 15. Одночасно, відбувався процес реєстрації

глибини впровадження індентора за допомогою індуктивного датчика малих переміщень 3, автогенератора 11, кільцевого детектора 12 і аналогового перетворювача 13.

Прилад «Мікрон - гамма - 09» (рис. 4.3) складається з: 1. Прецизійного двокоординатного предметного столу, 2 – зразок, 3 - котушки диференціального індуктивного датчика малих переміщень, 4 - котушка електромагнітного навантаження, 5 - навантажувач з магнітом, 6 - пружні пружини датчика, 7 - шток з індентором і пружними пружинами, 8 - цифрова відеокамера, 9 - оптичний мікроскоп, 10 - інтерфейс відеовходу, 11 - автогенератор, 12 - кільцевий детектор, 13 – аналогово - цифровий перетворювач, 14 - стабілізатор постійного струму, 15 - керований генератор постійного струму, 16 - цифро - аналоговий перетворювач, 17 - мікропроцесор, 18 – ЕВМ, 19 – щуп, що регулюється (рис 7.2).

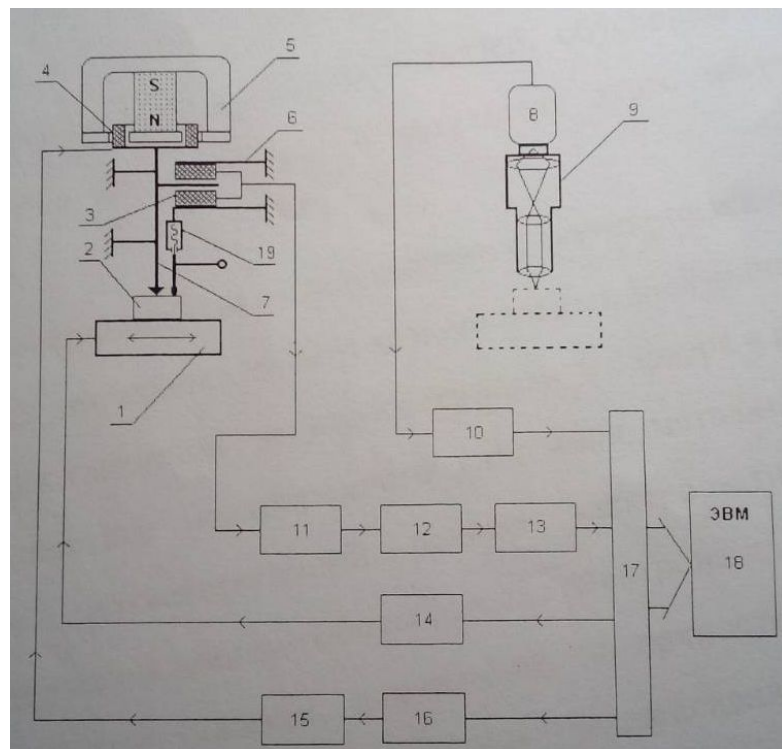


Рисунок 4.3 - Блок - схема приладу "Мікрон - гамма - 09".

4.3 Оцінка стану поверхневого шару за зміною роботи виходу електрона з поверхні зразків

Згідно з дослідженнями [7], процеси тертя і зношування залежать в значній мірі від електронної будови металів. Умовою інтенсивного схоплювання, а, отже, і інтенсивного зношування у процесі тертя є обмін електронами атомів металів пари тертя з утворенням стабільних в енергетичному відношенні електронних конфігурацій. Інтенсивність зношування мінімальна, якщо атоми металів пар тертя характеризується великою часткою не локалізованих (вільних) електронів. У цьому випадку міцність утворених під час тертя зв'язків невелика, вони легко руйнуються при взаємному переміщенні поверхонь. Таким чином, нелокалізовані електрони, котрі знаходяться у вільному стані, утворюють своєрідне електронне навантаження і можливо спостерігати кореляцію між антифрикційними характеристиками і особливостями електронної будови металів. Більш того, кількість лінійного зносу визначається інтенсивністю електронного обміну і міцністю фрикційних зв'язків, що зумовлені енергетичною стабільністю утворених у результаті цього обміну електронних конфігурацій.

Більш того, величина лінійного зносу визначається інтенсивністю електронного обміну і міцністю фрикційних зв'язків, що зумовлено енергетичною стабільністю утворених в результаті цього обміну електронних конфігурацій.

Стан реальної поверхні металів пов'язаний з формуванням на поверхні електричних дипольних моментів і локальних електричних зарядів, які визначають величину електростатичного бар'єру в роботі виходу електронів. Внаслідок неоднорідного стану металевої поверхні виникає відповідний рельєф електростатичного бар'єру, обумовлений розбіжністю роботи виходу електрона для різних ділянок поверхні. Таким чином, для даної поверхні металу характерний енергетичний рельєф, обумовлений розподілом роботи виходу електрона з поверхні. Порівнюючи вихідний енергетичний рельєф (до випробовувань на зносостійкість) з рельєфом після випробувань можна визначити ділянки поверхні, які зазнали різну ступінь пластичної деформації.

Одним з найбільш інформативних методів визначення зміни енергетичного стану поверхневого шару матеріалів, які взаємодіють в процесі

тертя, є аналіз розподілу величини роботи виходу електронів (PBE) по поверхні. Цей параметр необхідний при розрахунках поверхневої енергії твердих тіл. На зміну PBE засновано один з напрямків вивчення складних за своєю природою фізико - хімічних процесів, які протікають в зоні контакту пар тертя .

Величина PBE - одна з фундаментальних характеристик речовини в конденсованих металевому стані, фізико – хімічних і механічних властивостей металів. Цю характеристику використовують при вивченні явищ деформації і руйнування металевих тіл, а також явищ адсорбції і десорбції. Наявність відносно простих методів і засобів, які дозволяють проводити її визначення безконтактно і без будь-яких додаткових дій на вимірювану поверхню, робить її доволі цікавою в розумінні дослідження поверхні металів та сплавів, що деформовані, в тому числі і тертям.

Формула, що зв'язує величину роботи виходу електронів з поверхневої енергії металу має вигляд:

$$\sigma \cong 1,15 \cdot 10^3 \left(z \frac{D}{A} \right)^{\frac{5}{6}} \Phi \quad (4.1)$$

де σ – поверхнева енергія;

z – кількість валентних електронів на атом;

D – щільність;

A – атомна вага;

Φ – робота виходу.

Таким чином, вимірюючи величину PBE по поверхні металу і за допомогою формули можливо кількісно оцінити зміну його поверхневої енергії.

Робота виходу електрона визначається, як мінімальна робота, котру необхідно виконати, щоб видалити електрон з металу, через поверхню металу, що розглядається, в точку, що розташована доволі далеко від поверхні (більше товщини двійного електричного шару), але доволі близько у порівнянні з

розмірами граней кристала. При цьому поля поза кристала здійснюють над електроном роботу, якою можна знехтувати. При зіткненні металів, які мають різні роботи виходу електронів (Φ_1 і Φ_2) між межами їх зіткнення з вакуумом виникає різниця потенціалів, яка дорівнює різниці потенціалів, котра дорівнює різниці робіт виходу електронів двох металів і називається контактної різницею потенціалів (КРП):

$$U_{\text{КРП}} = \Phi_2 - \Phi_1 \quad (4.2)$$

З визначення КРП маємо, що, знаючи роботу виходу електронів для одного з металів, можна вирахувати РВЕ другого метала. Так як явище КРП визначається перерозподілом електронів між зразком і еталоном, (електрони не лишають зразок через вільну поверхню) то, робота виходу електронів, яка визначається методом контактної різниці потенціалів, представляє собою характеристику даної поверхні металу, яка є середньою по площі електрода порівняння (еталона).

В якості методу вимірювання роботи виходу електрона в роботі використовується метод динамічного конденсатора Кельвіна, в якому вимірювання проводиться по контактної різниці потенціалів, що виникає їх між вимірюваною поверхнею і поверхнею еталонного зразка. При цьому вимірюваний і еталонний зразки формують плоский конденсатор і не контактують між собою, але при цьому можливим є ефективний обмін електронами під дією різниці РВЕ використаних металів.

Вимірювання контактної різниці потенціалів в роботі виконуються при атмосферному тиску. Частота коливань електрода - еталона з золота становила 500 Гц, діаметр 1,4 мм. Розподіл роботи виходу електрона визначали скануванням з кроком 0,2 мм по одній лінії в центрі робочої поверхні зразків з точністю до 5 мВ. Зразки перед вимірами протирали спиртом і витримували одну добу до встановлення термодинамічного рівноважного стану поверхні.

Між поверхнею зразка і еталонним електродом за рахунок контактної різниці потенціалів формується змінне електричне поле. Вимірювання напруги

компенсації цього поля дозволяє визначити КРП між зразком і електродом порівняння. Невідому величину РВЗ визначали зі співвідношення

$$PBE_{\text{зразка}} = PBE_{\text{еталона}} - KPP_{\text{зразок-еталон}}, (\text{eV}) \quad (4.3)$$

Для РВЕ золота використовували середнє значення 4,300 еВ.

4.4 Оцінка мікрогеометрії поверхні за допомогою безконтактного 3D-профілографа "Мікрон - альфа"

Мікро - геометрія і топографія поверхні зразків визначається на безконтактному 3D профілографі "Мікрон - альфа" за методикою Національного авіаційного університету і на профілометрі – профілографі моделі 201.

Профілограф «Мікрон - альфа» призначений для відновлення мікро-топографії поверхонь методом обробки послідовності інтерференційних даних при частково когерентному освітленні (рис. 4.4). Прилад дозволяє отримувати значення шорсткості поверхні одночасно в шести різних перетинах розглянутої ділянки поверхні у взаємно перпендикулярних напрямках. Крім того, є можливість будувати 2D і 3D профілі поверхні, кількісно оцінити характеристики поверхні, спостерігати інтерференційні картини, проводити металографічні дослідження.

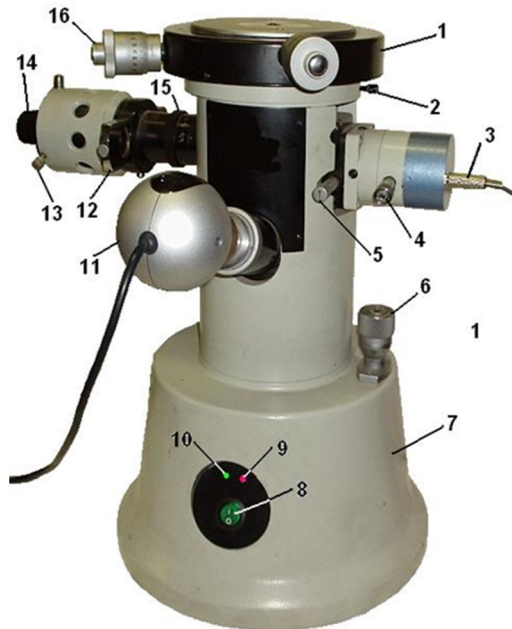


Рисунок 4.4- Прилад "Мікрон - альфа"

При цьому є можливість виробляти дослідження з полем сканування (X,Y) 150x110 мкм, роздільна здатність по горизонталі (X,Y) 0.25 мкм, максимальної вимірюваною висотою рельєфу (Z) 100 мкм, дозволом по вертикалі (Z) 10 нм, збільшенням при візуальному спостереженні 500 крат. Проведення досліджень здійснюється наступним способом.

Встановлювали випробуваний зразок вимірюваної поверхні на предметний стіл 1 таким чином, щоб поверхня зразка була по можливості паралельна поверхні столу.

За допомогою рукояток поздовжньої і поперечної настройки 16 виставили вимірювану ділянку зразка на об'єktiv приладу. Після запуску програмного забезпечення, виконали процес реєстрації стану вимірюваної поверхні. Отримані дані автоматично реєструвалися, оброблялися і зберігалися за допомогою програмного забезпечення.

Висновки:

1 Розроблено методику проведення експерименту, що включає: стенд для випробування зносостійкості жароміцних матеріалів, зразки, визначення величини інтенсивності зношування.

2 Запропоновано ефективні способи визначення зносостійкості деталей трибосполучень, які експлуатуються при багатокomпонентному динамічному навантаженні з наявністю вібрацій на основі оцінки структурної однорідності поверхневого шару трибо - спектральним методом і в результаті аналізу зміни величини або розподілу роботи виходу електрона з поверхні деталей.

5 РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПЛОСКО-ПАРАЛЕЛЬНИХ ТРИБОЗ'ЄДНАНЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Вибір методу підвищення зносостійкості напрямних ковзання металообробного обладнання залежить від багатьох факторів. При виготовленні нового обладнання завод-виробник може у повній мірі забезпечити задані показники зносостійкості. Але при відновленні напрямних ковзання під час ремонтів, вибір способу відновлення залежить від ступеня зносу і твердості, наявності в ремонтній базі спеціальних верстатів і пристосувань і т. п.

Відновлення напрямних металообробного обладнання має певну специфіку, зважаючи на яку до методів відновлення можна встановити ряд вимог:

1. Забезпечення високої зносостійкості в умовах забруднення, абразивного зносу та складної схеми динамічного навантаження
2. Забезпечення високої точності геометрії напрямних, що ремонтуються
3. Забезпечення можливості збереження заданих зазорів між рухомим та нерухомим елементами напрямної
4. Можливість відновлення на місці встановлення верстата без додаткового розбору вузлів
5. Мінімальний обсяг механічної обробки при відновленні
6. Мінімальна трудомісткість відновлювальних робіт
7. Прийнятна вартість відновлення.

Зважаючи на вказані вимоги можна зазначити, що одним з перспективних технологічних напрямків підвищення зносостійкості 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.

5.1 Огляд сучасних методів відновлення напрямних шляхом створення одношарових ремонтних покриттів

Полімерні матеріали складаються з епоксидної основи та елементів наповнювача. Епоксидна основа надає полімеру властивість точно відтворювати геометрію напрямних, а також слугує зв'язуючим для елементів наповнювача.

Наповнювач надає матеріалу основні його властивості: зносостійкість, корозійну стійкість, антифрикційні властивості, хімічну стійкість тощо.

Приклади сучасних полімерних матеріалів:

"Метал Слайд" - двокомпонентний тиксотропний металовмісний композиційний матеріал на епоксидній основі з додаванням графіту і волокнистих наповнювачів, що забезпечують йому антифрикційні властивості.

LOCTITE 3478 - стійкий до корозії, хімічного впливу і стирання. Діапазон робочих температур від -29°C до $+121^{\circ}\text{C}$. Пастоподібний LOCTITE 3478 застосовується для відновлення механічно зношених частин. Типові області застосування - відновлення зношених валів, шпонкових канавок, ремонт пошкоджених корпусів, заповнення роз'єдених корозією поверхонь в зношених машинах і відновлення корпусів підшипників.

Loctite Nordbak 7218 - пастоподібний двокомпонентний зносостійкий матеріал з керамічним наповнювачем для захисту, ремонту та відновлення сильно зношених поверхонь промислового обладнання. Робоча температура від -30 до 120°C . Площа покриття - $740\text{ см}^2 / \text{кг}$ при товщині шару 6 мм. Рекомендована товщина шару - мінімум 6 мм.

Зважаючи на те, що металообробне обладнання експлуатується на підприємствах, що мають різну специфіку виробництва, одношарові покриття не завжди можуть задовольнити вимоги, що висуваються до фізико-механічних властивостей поверхневих шарів контактуючих поверхонь напрямних.

Велика частина металообробного обладнання експлуатується в умовах роботи металургійних підприємств. Верстати, які використовуються механічних цехах металургійного виробництва працюють в умовах підвищеної

запиленості повітря. Абразивні частинки з повітря потрапляють на напрямні і збільшують їх зношування, порівняно з верстатами які працюють в цехах де передбачені нормальні умови для роботи обладнання. В таких умовах одношарові полімерні покриття не забезпечують якісну поверхню напрямної.

Деякі верстати працюють в умовах, не характерних їх звичним умовам роботи, наприклад на обробці графітових виробів, або тільки чавунних деталей. В таких випадках інтенсивність зносу робочих поверхонь напрямних суттєво зростає. Наприклад, за статистичними даними [8] при переході з обробки 100% сталевих деталей на обробку 85% сталевих та 15% чавунних деталей, знос напрямних зростає у 1.5 рази.

В таких умовах одношарові полімерні покриття можуть не забезпечити необхідні показники зносостійкості напрямних після відновлення. Епоксидна основа покриття засмічується стружкою та іншими інородними частинками, які руйнують цілісність поверхні покриття.

При цьому питання відновлення напрямних, що працюють у вищезгаданих умовах роботи є дуже важливим, оскільки знос напрямних відбувається значно швидше ніж знос інших вузлів верстата. Це приводить до того, що обладнання приходить виводити з експлуатації ще до визначеного номінального строку служби, скорочуючи термін його амортизації.

У важких верстатах відновлення напрямних є не менш актуальною проблемою, навіть при експлуатації за нормальних умов. Заміну такого обладнання здійснити набагато складніше у порівнянні із середніми та легкими верстатами. Зважаючи на великі площі зношених поверхонь, навіть при незначній глибині зношених ділянок, відновлення напрямних вимагає витрат значних об'ємів одношарового ремонтного покриття. Окрім цього немає впевненості, що одношарові покриття на епоксидній основі забезпечать вимоги міцності при роботі, зважаючи на значні статичні та динамічні навантаження, притаманні важким верстатам при обробці.

Окрім цього недоліком пастоподібних ремонтних покриттів є те, що вони погано проявляють свої властивості в процесі експлуатації при виникненні ефекту переривчастого (стрибкоподібного) переміщення.

Позбутися від зазначених недоліків можливо за рахунок створення багатошарових покриттів. При цьому відновлення форми і розмірів може здійснюватися за рахунок ремонтного шару, а підвищення зносостійкості за рахунок тонкого поверхневого шару, який наноситься на ремонтний шар.

5.2 Розробка рекомендацій щодо створення багатошарових захисних структур плоско-паралельних трибоз'єднань металообробного обладнання

При створенні багатошарового покриття необхідно забезпечити виконання ряду вимог:

1. Можливість нанесення на напрямну ремонтного матеріалу в ремонтних умовах, без застосування технологій і обладнання на базі спеціалізованих підприємств.

2. Забезпечення механічної адгезії між базовою поверхнею направляючої і ремонтним шаром, а також молекулярної адгезії між ремонтним і зносостійким шаром.

3. Матеріал ремонтного шару повинен забезпечувати можливість нанесення на нього зносостійкого шару без втрати фізико-механічних властивостей і зміни хімічних властивостей.

4. Ремонтний шар повинен бути технологічним в нанесенні і дозволяти відновлювати форму направляючої з великою точністю.

5. Матеріал зносостійкого шару повинен мати мінімальну товщину покриття, для забезпечення первинних зазорів в направляючих.

6. Зносостійкий шар повинен мати високу твердість, здатність протистояти складному динамічному навантаженню, характерному для умов роботи напрямних ковзання металорізальних верстатів.

Матеріал зносостійкого шару покриття безпосередньо сприймає трьохкомпонентне навантаження і повинен мати високу міцність, сприяти зменшенню контактних навантажень, підвищувати опір мікро- та макроруйнуванню.

Матеріали зносостійких покриттів, що працюють в умовах трьохкомпонентного динамічного навантаження повинні забезпечувати:

- опір ударним циклічним змінним навантаженням;
- високу мікротвердість за рахунок нанокристалічної фази;
- збалансоване поєднання високої твердості та в'язкості;
- низький коефіцієнт тертя;
- хімічну інертність до матеріала ремонтного шару;
- опір окисленню та корозії;
- підтримувати підвищену адгезію по відношенню до контактуючого з ним матеріалу.

5.2.1 Основні вимоги до створення ремонтного шару захисних структур

Ремонтний матеріал може бути виконаний у вигляді полімерного матеріалу на епоксидно-смолистої основі з мікродисперсними антифрикційними наповнювачами, твердіючими на повітрі.

Ремонтний шар повинен мати наступні основні властивості:

- стійкість до вібрації,
- можливість отримання точних поверхонь, що сполучаються,
- хороша адгезія при нанесенні на метал.

Прикладом такого матеріалу з існуючих може служити епоксидна мастика наповнена керамікою з гладкою антифрикційною поверхнею «Weicon WR2». Його механічні характеристики цілком задовольняють вимогам до ремонтного шару покриття і наведені в таблиці 5.1.

Оскільки ремонтний шар покриття служить лише для відновлення геометрії зношеної поверхні напрямної, можливий вибір або створення інших матеріалів, подібних до наведеного вище, але зі зниженими окремими характеристиками, такими як максимальна товщина шару, що наноситься за один раз, антифрикційні властивості, тощо. Також зменшення вартості можна досягти за рахунок використання простих і відносно дешевих матеріалів для

наповнювача. Це дозволить зменшити матеріальні витрати на ремонтний матеріал, при забезпеченні всіх необхідних вимог до нього.

Таблиця 5.1 - Фізичні та механічні характеристики ремонтного матеріала

Металополімер в рідкому стані		
Наповнювач		Мінерали
В'язкість після змішування компонентів		Пастоподібний
Пропорції змішування (за вагою, %) смола / затверджувач		100/25
Життєздатність суміші при + 200С (200 грам), хвилин		45
Щільність суміші, г / см ³ (200 грам)		1,67
В'язкість суміші, МПа-с		560.000
Максимальна товщина нанесення шару за раз в мм		10
Час затвердіння в годинах	Може піддаватися механічній обробці	16
	Остаточне затвердіння	24
Металополімер в затверділому стані		
Середня міцність при + 25С по DIN 53281-83 / ASTM D 1002	На стиснення в МПА	71
	На розрив в МПА	29
	На гнучкість в МПА	39
	Модуль Юнга в МПА	2.500-3.000
	Твердість по Шору	82
	Усадка в %	0,025
Теплостійкість форми в °С		+65
Колір після затвердіння		Темно-сірий
Температурний діапазон в °С		-35 до +120

5.2.2 Огляд способів створення зносостійкого шару захисних структур

Великий вибір матеріалів, що використовуються для створення покриттів, дозволяє підібрати той матеріал який безпосередньо забезпечить необхідні властивості поверхні (або комплекс властивостей) для будь-яких деталей сучасного машинобудування.

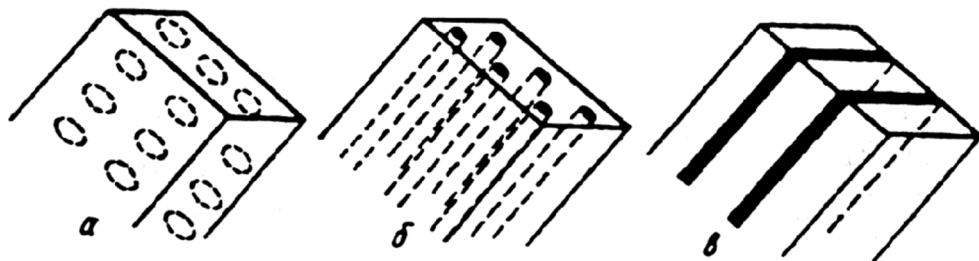
Перспективним на сьогоднішній день вважається використання композитних матеріалів для створення зносостійких покриттів.

Композиційним матеріалом (КМ) називають об'ємну гетерогенну систему, що складається з сильно розрізнених за властивостями, взаємно нерозчинних компонентів, будова якої дозволяє використовувати переваги кожного з них.

КМ складаються з порівняно пластичного матричного матеріалу-основи і більш твердих і міцних компонентів, які є наповнювачами. Властивості КМ залежать від властивостей основи, наповнювачів і міцності зв'язку між ними.

Матриця пов'язує композицію в моноліт, надає їй форму і служить для передачі зовнішніх навантажень арматурі з наповнювачів.

Провідну роль в зміцненні КМ грають наповнювачі. Вони мають високу міцність, твердість і модуль пружності. За типом зміцнюючих наповнювачів КМ поділяють на дисперснозміцнені, волокнисті і шаруваті (рис. 5.1).



а) дисперснозміцнені; б) волокнисті; в) шаруваті

Рис. 5.1 - Схеми будови композиційних матеріалів:

У дисперснозміцнені КМ штучно вводять дрібні, рівномірно розподілені тугоплавкі частинки карбідів, оксидів, нітридів та ін., що не взаємодіють з

матрицею і не розчиняються в ній. Чим дрібніше частинки наповнювача і менше відстань між ними, тим міцніше КМ.

На відміну від волокнистих, в дисперснозміцнених КМ основним несучим елементом є матриця.

Арматурою в волокнистих КМ можуть бути волокна різної форми: нитки, стрічки, сітки різного плетіння. Армування волокнистих КМ може здійснюватися різними схемами: за однією віссю, двома осями, трьома осями (рис. 5.2 а) .

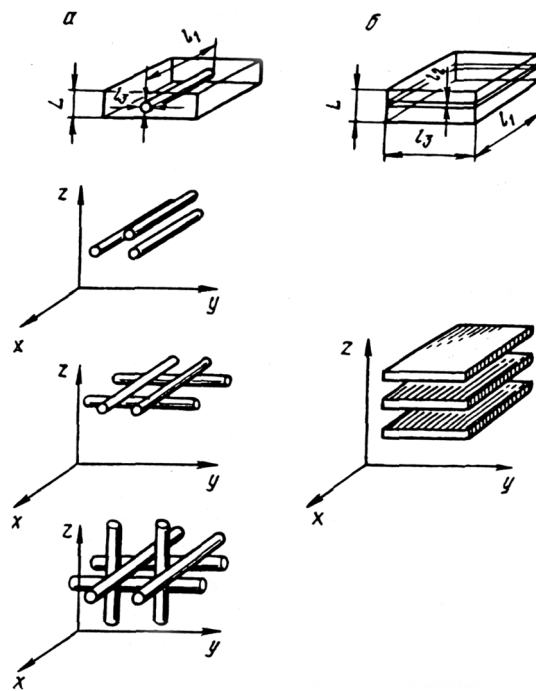


Рис. 5.2 - Схеми армування волокнистих (а) і шаруватих (б) композиційних матеріалів.

Шаруваті композиційні матеріали (рис.5.2 б) складаються із пластів наповнювача і матричного матеріалу. Шари наповнювача в таких КМ можуть мати різну орієнтацію. Можливо почергове використання шарів наповнювача з різних матеріалів з різними механічними властивостями. Для шаруватих композицій зазвичай використовують неметалеві матеріали.

Розглядаючи типи покриттів для створення зносостійкого покриття слід звернути увагу на те, що металообробне обладнання працює під дію складних динамічних навантажень. Складна схема навантажень, що прикладаються до

напрямних створює труднощі при виборі типу покриття.

Недоліком використання композиційних матеріалів для зносостійкого покриття є той фактор, що будова композиту однозначно не може забезпечити однакову міцність шару по всім трьом координатам при роботі в умовах динамічних навантажень. Так пошкодження одного шару композиту може спричинити послідовне руйнування пов'язаних з ним інших шарів, що призводить до збільшення швидкості зносу всього покриття.

Даний недолік відсутній у покриттів з однорідною структурою. Вони мають рівну міцність по всьому об'єму шару. Міцність є визначальним фактором при виборі матеріалу покриття.

Зносостійкі і антифрикційні покриття однорідної структури можуть бути двох видів: щільні і пористі. Щільні (або звичайні - тверді, зносостійкі) використовуються як для підвищення зносостійкості нововиготовлених деталей, так і для відновлення деталей, що були в експлуатації. Пористе покриття має більшу пластичність, ніж щільне, легше припрацьовується і легше сприймає місцеві перевантаження в процесі експлуатації; характеризується високою зносостійкістю і антифрикційними властивостями.

Поширеним способом отримання однорідних зносостійких структур є використання металевих порошоків.

Методи порошкової металургії можна умовно поділити на два види: методи отримання нанопорошків і методи компонування з них виробів. При цьому ряд методів використовується і для одержання нанопорошків, і для формування об'ємних виробів.

В даний час з інтенсивним розвитком виробництва і використання наноструктурних матеріалів з'явилися і роботи по розробці нанорозмірних тугоплавких порошкових матеріалів для високоенергетичних технологій нанесення покриттів [11]. Для нанесення зносостійких покриттів в основному використовуються самофлюсуючі сплави на нікелевій або кобальтовій основі і їх суміші з модифікаторами з тугоплавких і ультрадисперсних металів, карбідів, нітридів, оксидів і ін., які забезпечують утворення зміцнюючих фаз і покращують структуру покриття [12]. Фізико-механічні властивості

зміцнюючих фаз в структурі покриттів істотно впливають на експлуатаційні характеристики обробленої поверхні деталей і металевого контртіла вузла тертя машин і механізмів.

Наноструктурні матеріали для газотермічного напилення - це порошки, частки яких мають розмір кілька десятків мікрон і містять в своєму складі зерна розміром менше 100 нм.

Основні методи отримання наноматеріалів можна розділити на ряд технологічних груп (рис. 5.3): методи на основі порошкової металургії; методи, в основі яких лежить отримання аморфних прекурсорів; технології поверхневої обробки, що забезпечують створення покриттів і модифікованих шарів з наноструктурою; методи, засновані на використанні інтенсивної пластичної деформації; комплексні методи, які використовують послідовно або паралельно кілька різних технологій.

Можна виділити загальні підходи, які є характерними для всіх методів отримання нанопорошків і відрізняють їх від методів отримання звичайних порошків [11]: висока швидкість утворення центрів зародження частинок; мала швидкість росту частинок; найбільший розмір одержуваних часток не більше 100 нм; вузький діапазон розподілу часток за розмірами; стабільність отримання частинок заданого розмірного діапазону; відтворюваність хімічного і фазового складу частинок; підвищені вимоги до контролю і управління параметрами процесу.

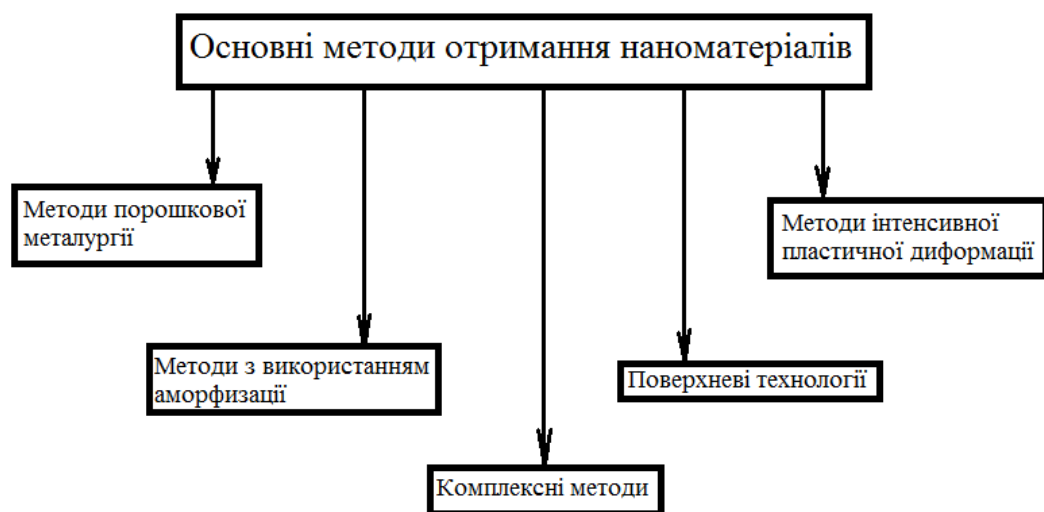


Рис. 5.3 – Основні методи отримання наноструктурних матеріалів

Але існують дослідження які вказують на те, що використання нанопорошків не завжди дає кращий ефект ніж звичайні мікроструктурні.

Важливими показниками якості порошків для напилювання є стабільність їх хімічного складу, а також їх теплофізичні властивості, які можуть бути конкретизовані виходячи з процесу напилення. До таких властивостей порошкових матеріалів відносяться щільність, теплоємність, теплопровідність, їх розмір та форма.

Для отримання міцних покриттів, необхідне сильне нагрівання порошкових частинок, але при цьому можлива зміна структури та складу напилюваного матеріалу.

Даний процес можна розглянути на прикладі карбидовольфрамових твердих сплавів.

У тих же карбидовольфрамових твердих сплавах деструкція і декомпозиція матеріалу пов'язані з взаємодією WC з розплавленим кобальтом. В результаті дифузії вуглецю і вольфраму в кобальт в покритті з'являється фаза W_2C , вільний вольфрам і аморфний кобальт, насичений вольфрамом і вуглецем. При високошвидкісному газополум'яному напилюванні твердосплавних матеріалів нанорозмірні зерна WC в частинках WC-Co мають більшу деструкцію, ніж мікронні зерна WC в традиційних матеріалах. Очевидно, це пов'язано з тим, що площа міжфазної поверхні WC-Co у нанозерен значно більша, ніж у мікронних зерен і це призводить до більш активної деструкції WC. При температурі напилювання вище 1950-2000°C зносостійкість наноструктурних покриттів знижується. Цей факт говорить про те, що наноструктурні порошкові матеріали більш чутливі до перегріву ніж мікроструктурні. Присутність аморфного кобальту в складі призводить до зниження твердості покриття, що в свою чергу провокує швидше зношування.

Також встановлено, що покриття з наноструктурних порошків мають стійкість проти абразивного зносу на рівні найкращих покриттів з мікроструктурних порошків того ж складу, тобто явної переваги у покриттів з наноструктурних порошків немає.

Таким чином, покриття з наноструктурних порошків мають навіть гірші трибологічні показники, ніж покриття з традиційних мікроструктурних порошків. До недоліків нанопорошків також можна віднести високу вартість і складність їх виробництва, що істотно впливає і на вартість ремонтних робіт з використанням цих матеріалів.

Отже, виходячи з розглянутого матеріалу, можна зробити висновок, що для забезпечення необхідних трибологічних показників зносостійкого шару досить використовувати традиційні мікроструктурні порошки.

5.2.3 Рекомендації щодо вибору складу зносостійкого шару

Як відомо, фізико-механічні властивості і структура зносостійкого покриттів визначають експлуатаційні характеристики обробленої поверхні деталей машин і механізмів (зносостійкість, жаростійкість, корозійну стійкість тощо).

Тому дослідження хімічного і фазового складу, розподілу неоднорідностей структури і мікротвердості покриттів дозволяє оцінити обсяг і властивості зміцнюючої фази, якими безпосередньо визначається зносостійкість матеріалу. Таким чином, дослідження взаємозв'язку складу, структури і властивостей зносостійких модифікованих покриттів є актуальною проблемою і дозволяє науково обґрунтувати технологію отримання покриттів із заданими фізико-механічними властивостями, а також прогнозувати їх експлуатаційні характеристики.

Наприклад, в зносостійких покриттях вміст вуглецю визначає схильність до утворення карбідів, тобто зміцнюючих фаз з високою твердістю. Високий вміст хрому сприяє підвищенню поверхневої твердості і зносостійкості, що обумовлено утворенням шару карбідів.

Для вибору матеріалу поверхонь деталей машин можливе використання підбору матеріалу по функціональному призначенню покриттів (табл. 5.2)

Табл. 5.2- Функціональні призначення покриттів

№	Матеріал покриття	Характеристика поверхневого шару, що покращується за допомогою покриття
1	Al ₂ O ₃ , Al-Ni, Cr-B-Ni-Si, Ni-Ti, Mo, Cr ₂ O ₃ , Cr ₃ C ₂ , WC, MgAl ₂ O ₃ , Ni	Зносостійкість
2	Al, Al ₂ O ₃ , Cr, Ti, Zn, Cr ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ -TiO ₂ , Ni, Cr ₃ C ₂	Корозійна стійкість
3	Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , Al-Ni, Mo, ZnB, MgAl ₂ O ₄	Термостійкість
4	Cr ₂ O ₃ , ZrO ₂ , WC-CO, TiC, Cr ₂ O ₃ , Cr-B-Ni, Ni	Ерозійна стійкість
5	WC, W, Mo, Cr-Ni, MoSi ₂ , MgAl ₂ O ₄	Жаростійкість
6	Al ₂ O ₃ , Al-Ni, Ti-Ni, ZrO ₂ , Cr ₃ C ₂ , Ni	Проти захоплювання рухомих частин
7	Al ₂ O ₃ , NiSi ₂ , Al-Ni, ZrO ₂	Теплоізоляція
8	Al ₂ O ₃ , BaTiO ₃ , SiO ₂ , MgO-Al ₂ O ₃	Електроізоляція
9	Al, Ni, Ti-Ni, Mo	Герметичне з'єднання

Висновки

1 Для зменшення інтенсивності зношування мікроконтактним захоплюванням краще використовувати покриття, що містять Ni, Cr, C, Si, які дозволяють збільшити їх твердість.

2 Для зменшення інтенсивності абразивного зношування краще використовувати покриття з високою твердістю, при цьому вони повинні бути чутливими до зміцнення робочої поверхні, що реалізується при введенні до складу покриттів хрому, марганцю. Зі збільшенням вмісту вуглецю відповідно зменшується вміст хрому.

5.2.4 Вибір прототипу матеріалу зносостійкого шару

Відповідно до необхідних властивостей зносостійкого шару до яких відносяться зносостійкість, корозійна стійкість та стійкість до захоплювання

було обрано матеріали, що будуть входити до складу цього шару та які забезпечують створення зазначених властивостей.

Проаналізувавши матеріали покриттів було визначено, що дані властивості забезпечуються такими матеріалами: Al_2O_3 , Cr_3C_2 , Ni .

Даний хімічний склад наведений у таблиці 5.3 відповідає матеріалу ПКХТН-30, відповідно до технічних умов ТУ 1793-004-002013-93.

Порошок карбіду хрому-титану ПКХТН-30 ($\text{Cr}_3\text{C}_2 + \text{TiC}$), плакований нікелем, представляє собою композиційний матеріал, в якому тверді частинки карбідів оточені щільною плівкою нікелю. У нанесеному з таких порошків покриття частки карбідів грають роль зносостійкого основи, а нікель виступає в якості пластичної оболонки, що забезпечує адгезію покриття до ремонтного шару.

Табл. 5.3- Хімічний склад порошку

Марка порошка	Масова доля компонентів, %	
	Нікель	Карбід хрому
ПКХТН-15	13-17	інше
ПКХТН-20	18-22	інше
ПКХТН-25	23-27	інше
ПКХТН-30	28-32	інше

5.2.5 Рекомендації щодо вибору структури матеріалу зносостійкого шару

При створенні зносостійкого покриття слід враховувати те, що тільки правильно створена структура може забезпечити необхідні властивості які висуваються для даного покриття. Для розуміння того, яка правильно створювати необхідну структуру покриття для забезпечення відповідних умов його експлуатації слід розглянути елементи структури.

Класифікація елементів структури функціонального покриття:

- межа між покриттям і підкладкою, яка визначає адгезію покриття;

-межа розділу між шарами, отриманими за один прохід пристрою для напилення;

- межі розділу між частинками в шарі;
- пори.

Міцність самого покриття залежить від властивостей меж розділення між шарами і частинками в зоні, де утворюються ділянки «схоплювання».

Розміри структурних елементів, меж і неоднорідностей:

- товщина границі між шарами - 1-10 мкм;
- товщина деформованих частинок - 2-20 мкм;
- товщина границі між частинками - до 1 мкм.

Пори, як елементи структури функціонального покриття, класифіковані за трьома діапазонами розмірів:

- великі і надвеликі пори, що мають середній діаметр від 1 до 100 мкм і більше;
- мікропори, які мають середній діаметр від 0,1 до 1 мкм;
- субмікропори і мезопори із середнім діаметром менше 0,1 мкм.

Значна кількість досліджень присвячено аналізу агрегатного стану і форми частинок, що утворюють покриття.

Дослідження дозволили провести класифікацію основних типів частинок, що формують покриття:

I тип - частинки вихідного порошку, що не нагрілися до розплавлення і тому їх форма і мікроструктура практично зберігаються;

II тип - частинки з формою тіл обертання (кулі, еліпсоїди) і обсягом, рівним обсягом початкових частинок в разі напилення порошків. Частинки II типу проходять стадію плавлення і тверднуть до зіткнення з підкладкою;

III тип - диски неправильної форми з об'ємом, близьким до обсягу початкових частинок. Вони формуються на підкладці при деформації рідких напилюються частинок, товщина їх - від 1 до 15 мкм.

IV тип - частинки з формою тіл обертання (кулі, еліпсоїди) і об'ємом в кілька разів меншим обсягу початкових частинок. Вони утворюються в результаті розбризкування частинок III типу [12].

Для застосовуваних при напиленні оптимальною вважається фракція порошків від 50 до 100 мкм.

При розмірі порошку понад 100 мкм нагрів його недостатній і формування покриття ускладнено. Коефіцієнт використання порошку при цьому низький.

При розмірі порошку менше ніж 50 мкм при високій температурі він згоряє, тобто окислюється і не утворює покриття. Особливо це характерно для порошків з титану, молібдену і вольфраму.

Висновки:

1 Вибір розміру порошка залежить від обраної технології нанесення зносостійкого шару.

2. Форма частинок, що утворюють зносостійкий шар залежить від технологічних умов які були створенні при нанесенні шару.

3. Структура функціонального покриття повина забезпечувати необхідні властивості які висуваються до зносостійкого шару, протягом всього часу його експлуатації.

5.3 Технологічні аспекти нанесення багат шарових покриттів на відновлювані поверхні

5.3.1 Технологічні рекомендації щодо нанесення ремонтного шару зносостійкого покриття

Перед нанесенням ремонтного шару, поверхню слід ретельно знежирити. Знежирення поверхонь металевих виробів від мінеральних мастил (технологічного вазеліну, солідолу і ін.), а також від інших забруднень, зазвичай здійснюють промиванням з використанням органічних горючих розчинювачах- гас або бензин і в негорючих речовин - діхлоретан, трихлоретилен.

Поверхні металевих виробів після обробки органічними розчинниками додатково знежирюють в гасі або бензині послідовно в декількох ваннах, причому в останній з них повинен знаходитися чистий розчинник (бензин, трихлоретилен або ін.).

Після закінчення знежирення поверхню притирають тканиною або тирсою несмолистих порід.

Основною технологічною операцією перед нанесенням захисного покриття є підготовка поверхні, тобто створення шорсткості на поверхні. При створенні шорсткості поверхню також очищається від масел і бруду. Величина шорсткості і її форма значно впливають на характеристики міцності, наприклад такі як адгезія покриття.

Найбільш просто використовувати абразивоструйну підготовку, при якій абразивному матеріалу надається певна швидкість і при зустрічі з поверхнею він залишає на ній нерівності. Як абразивний матеріал в даний час використовується електрокорунд марки Е14 ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) або карбід кремнію (SiC), які при очищенні не утворюють пил. Проведені дослідження по оптимізації технологічного процесу пневмоочищення деталі дозволили виявити залежності шорсткості поверхні від крупності абразиву (рис. 5.4).

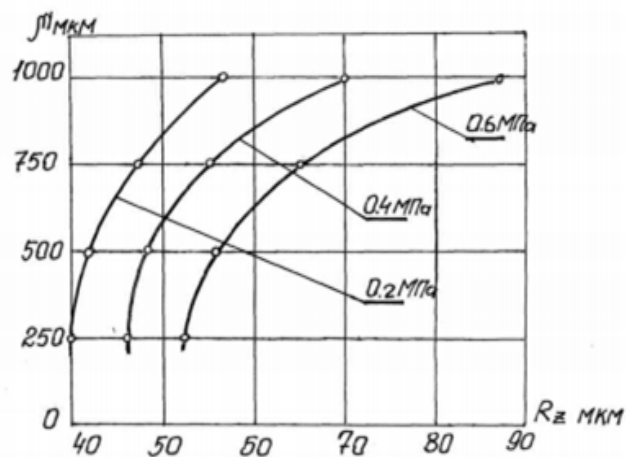


Рис. 5.4 – Вплив розміру абразивних частинок (μ) і тиску стиснутого повітря на шорсткість оброблюваної поверхні. Дистанція обробки 100 мм

При малому куті зустрічі абразивних частинок з оброблюваною поверхнею (особливо для пластичних матеріалів) спостерігається переміщення матеріалу без утворення помітної шорсткості (R_z не перевищує 40 мкм). Збільшення кута α призводить до інтенсифікації пневмообробки і збільшення шорсткості. Кут зустрічі абразивних частинок з поверхнею деталі рівний 75° є найкращім для створення шорсткості. Оптимальною дистанцією для пневмообробки є дистанція яка дорівнює 90-100 мм. Збільшення або зменшення дистанції (рис. 3) призводить до погіршення якості поверхні: великі нерівності зменшують загальну площу контакту шару, що напилюється, з поверхнею, а малі нерівності зменшують ефект механічного зчеплення.

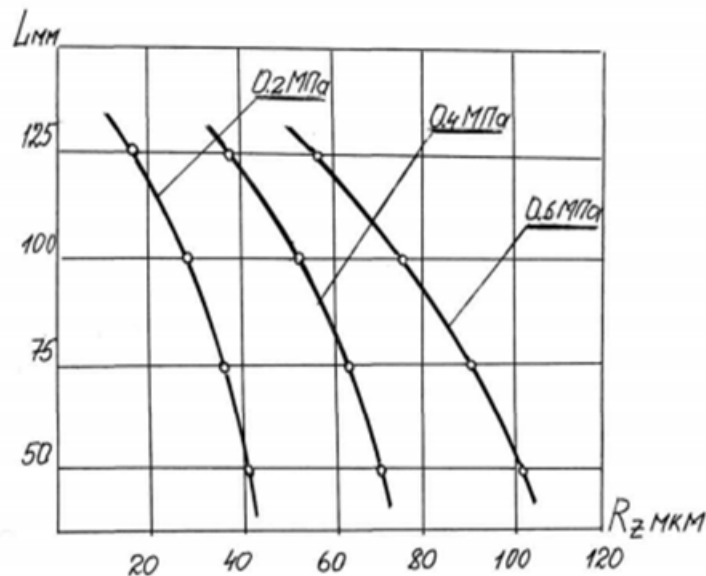


Рис. 5.5 – Вплив дистанції напилення (L) і тиску стиснутого повітря на кінцеву шорсткість оброблюваної поверхні (R_z); абразивний матеріал-електрокорунд з розміром частинок 750 мкм

Розмір абразивних частинок істотно впливає на шорсткість. Занадто дрібні абразивні частки добре очищають поверхню від оксидів, але не створюють достатню шорсткість поверхні. Абразивні частки великих розмірів створюють технологічні труднощі при транспортуванні і грубу поверхню, що не дозволяє отримувати таке покриття на деталі. Оптимальною розміром абразивних частинок є 750-800 мк.

5.3.2 Технологічні рекомендації щодо нанесення зносостійкого шару покриття

При виборі методу нанесення зносостійкого шару на поверхню ремонтного шару існують деякі труднощі. Більшість способів нанесення так званими «гарячими методами» передбачають нагрів матеріалів до високих температур, що є неприпустимим. При контакті з ремонтним шаром розігрітий до пластичного стану металевий порошок може зруйнувати його геометрію, змінити фізико-механічні властивості, привести до «спливання» ремонтного шару, або навіть, до його випалювання. Також існують обмеження при виборі температури нагрівання порошку. При високих температурах частинки порошку можуть вигорати або змінювати свої властивості, що може привести до зниження якості ремонтних робіт.

У зв'язку з цим були розглянуті методи нанесення зносостійкого покриття, що задовольняють вимогам та відповідають умовам до матеріалів двошарового зносостійкого покриття, зазначеним вище.

До таких методів відносяться:

- електролітичні методи нанесення композиційних покриттів;
- гальванічні методи нанесення композиційних покриттів;
- електроіскрове зміцнення;
- газополум'яне напилення;
- детонаційне напилення;
- електродугова металізація;
- плазмове напилення;
- електроімпульсне напилення;
- лазерне напилювання;
- катодне розпорошення;
- магнетронне розпорошення

Нанесення матеріалу електролітичними, гальванічними методами та магнетронним розпорошенням передбачає наявність спеціального обладнання, застосування якого для габаритних станин верстатів є недоцільним, або

неможливим. Окрім цього останні методи виключають можливість відновлення напрямних на місці встановлення верстата.

Газополум'яне напилення та електродугова металізація передбачають розігрівання поверхонь, на які наноситься покриття, до температур, неприпустимих для матеріалу ремонтного шару. Плазмове та лазерне напилення, а також катодне розпорошення мають низьку продуктивність, що обмежує їх використання при значних площах нанесення покриттів.

Зважаючи на це, одним з перспективних методів нанесення порошкових покриттів в означених умовах є газодинамічний метод «ДИМЕТ». Даний метод на практиці успішно використовується на підприємстві КБ «Прогрес».

Технологія нанесення металів на поверхню деталей використовує газодинамічний метод нанесення покриттів, який полягає в тому, що тверді частинки металу, що рухаються з надзвуковою швидкістю, міцно закріплюються на поверхні при зіткненні з нею. Надзвукові швидкості надаються частинкам за допомогою стиснутого повітря при використанні спеціального обладнання «ДИМЕТ». Технологія є новою, і раніше в промисловості не використовувалося.

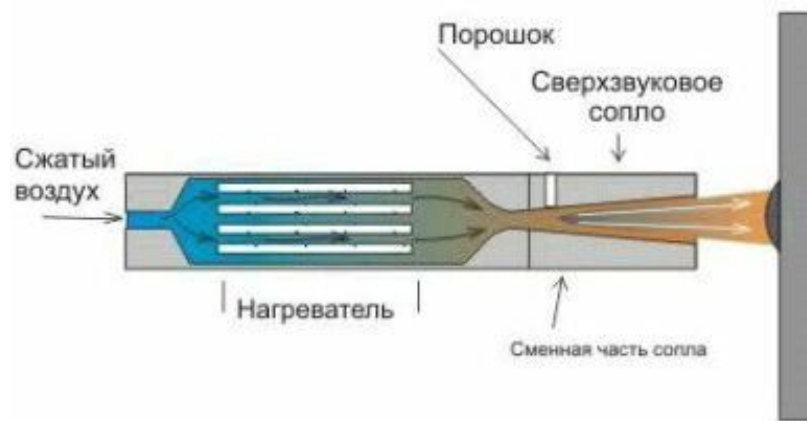


Рис. 5.6 - Основні елементи технології

Технологія «ДИМЕТ» включає в себе нагрів стисненого газу (повітря), подачу його в надзвукове сопло і формування в цьому соплі надзвукового повітряного потоку, подачу в цей потік порошкового матеріалу, прискорення цього матеріалу в соплі надзвуковим потоком повітря і спрямування його на поверхню виробу.

Як основний матеріал використовуються порошки металів, сплавів або їх механічні суміші з керамічними порошками. При цьому шляхом зміни режимів роботи обладнання можна або проводити ерозійну (струменево-абразивну) обробку поверхні виробу, або наносити металеві покриття необхідного складу.

У найбільш поширених газотермічних методах нанесення покриттів для формування покриття необхідно, щоб частинки, що потрапляють на ремонтний шар, мали високу температуру, зазвичай вище температури плавлення матеріалу.

У технології «ДИМЕТ» з ремонтним шаром взаємодіють тверді частинки, що знаходяться в нерозплавленому стані, але що володіють дуже високою швидкістю. Прискорення частинок до потрібних швидкостей здійснюється надзвуковим повітряним потоком за допомогою розроблених в ОЦПН оригінальних установок серії «ДИМЕТ», які не мають аналогів у традиційних методах нанесення покриттів.

Привабливість технології нанесення металу на поверхню деталей і виробів газодинамічним методом полягає в тому, що обладнання і створювані з його допомогою покриття не мають більшості недоліків, які властиві іншим методам нанесення металевих покриттів, і мають ряд технологічних, економічних і екологічних переваг.



Рис. 5.7- Установа для напилення

Основні властивості покриттів отриманих методом «ДИМЕТ»:

- висока адгезія (30-100 МПа);

- висока когезія (30-100 МПа);
- однорідність покриттів;
- низька пористість (1-3%);
- щільне з'єднання покриття з ремонтним шаром без зазорів і порожнин;
- шорсткість поверхні покриттів складає $R_z = 20-40$
- товщина може бути будь-якою і забезпечується технологічним режимом нанесення;
- покриття можуть оброблятися всіма відомими способами мехобробки;
- при спеціальній термообробці деякі покриття можуть набувати додаткові або нові властивості;
- покриття можуть наноситися на поверхні виробів з будь-яких металів, а також кераміки і скла.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек

- Шум спричиняє шкідливу дію не тільки на орган слуху, але й на весь організм. При тривалому впливі шуму знижується гострота слуху (розвиток глуховатості і глухоти), погіршується стан нервової системи (неврози), серцево-судинної (гіпертонічна хвороба) і травної (гастрити, виразкова хвороба) систем;

- ступінь впливу ЕМП на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії, характеру випромінювання (неперервне чи модульоване), режиму опромінення, розміру опромінюваної поверхні тіла, індивідуальних особливостей організму

- функціональні ефекти виявляються у передчасній втомлюваності, частих болях голови, погіршенні сну, порушеннях центральної нервової (ЦНС) та серцево-судинної систем. При систематичному опроміненні ЕМП спостерігаються зміни кров'яного тиску, сповільнення пульсу, нервово-психічні захворювання, деякі трофічні явища (випадання волосся, ламкість нігтів та ін.).

- погане освітлення робочих місць є однією з причин низької продуктивності праці. При недостатньому освітленні очі працюючого напружені, при цьому складно відрізнити оброблювані предмети, знижується темп роботи, погіршується загальний стан організму людини;

- основними причинами недостатньої або нераціональної освітленості робочих місць є несправність або нераціональний вибір освітлювальних приладів;

- знижена контрастність із-за неправильного регулювання екрану призводить до зниження працездатності та швидкого стомлювання організму;

- незадовільні ергономічні характеристики робочого місця внаслідок нераціонального планування робочого місця, що може призвести до механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м'язового апарату;

- параметри мікроклімату справляють безпосередній вплив на самопочуття людини та його працездатність.

- наявні в приміщенні матеріали, що можуть виділяти шкідливі хімічні речовини можуть підвищити ГДК цих речовин в повітрі, що приводить до можливих уражень нервової системи людини;
- небезпека загоряння у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що може призвести до пожежі;
- несвоєчасне проведення інструктажу з правил пожежної безпеки, відсутність ефективного управління персоналом під час надзвичайних ситуацій може привести до небезпеки травмування.

6.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки

З метою зменшення негативного впливу ПК на організм людини враховані вимоги при організації роботи за ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [31].

Приміщення з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) оснащено аптечкою першої медичної допомоги.

Згідно ПУЕ (Правила улаштування електроустановок) , щодо небезпеки ураження людей електричним струмом, наше приміщення є: приміщенням без підвищеної небезпеки (сухе, добре опалювальне, з струмонепровідною підлогою, з температурою всередині приміщення 18-30°C, з вологістю 40-50%).

Щоб уникнути ураження електричним струмом все електрообладнання на робочому місці заземлюється за ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Захисне заземлення, занулення» [32].

Захисне заземлення, опір якого складає 4 Ом, забезпечує захист людей від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Захисне заземлення виконано навмисним електричним з'єднанням металевих частин електроустановок з «землею» або її еквівалентом.

Захисному заземленню підлягають металеві частини електрообладнання, доступні для дотику людини і не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку [32].

Захисне заземлення електроустановок слід виконувати при:

- при номінальній напрузі 380 В і вище змінного струму та номінальній напрузі 440 В і вище постійного струму - у всіх випадках;
- при номінальній напрузі від 42 В до 380 В змінного струму та від 110 В до 440 В постійного струму при роботах в умовах з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних.

Заземлюючі пристрої, що використовуються для заземлення електроустановок відповідають всім вимогам, що пред'являються до заземлення цих електроустановок.

Матеріал, конструкція і розміри заземлювачів забезпечують стійкість до механічних, хімічних і термічних дій на весь період експлуатації.

Для вирівнювання потенціалів металеві будівельні та виробничі конструкції приєднані до мережі заземлення.

Згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила и норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» площа на одне робоче місце має бути не менше ніж 6,0 м², а обсяг - ніж 20,0 м³, відповідно на три місця - не менше ніж 18,0 м², а обсяг – ніж 60,0 м³. Неприпустимо розташування приміщень, призначених для роботи з ВДТ в підвалах і цокольних поверхах [31]. Також забороняється розміщення, згідно НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок по вибухопожежної та пожежної безпеки» [36], вибухонебезпечних приміщень категорії А і Б та виробництв з мокрими технологічними процесами поряд з приміщенням, де розташовуються ЕОМ, а також над такими приміщеннями, або під ними. Крім того, приміщення для роботи з ВДТ не повинні межувати з приміщеннями, в яких рівень шуму і вібрації перевищує допустимі значення, відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [40].

Робоча поверхня встановлена з урахуванням характеру виконуваної роботи і має прямокутну форму. Висота сидіння і підставки для ніг (при нерегульованій висоті робочої поверхні). В цьому випадку висоту робочої поверхні встановлюють по номограмі залежності висоти робочої поверхні для різних видів робіт, простору для ніг і висоти робочого сидіння від росту людини (рис. 2) для робочого зі зростом 1800 мм.

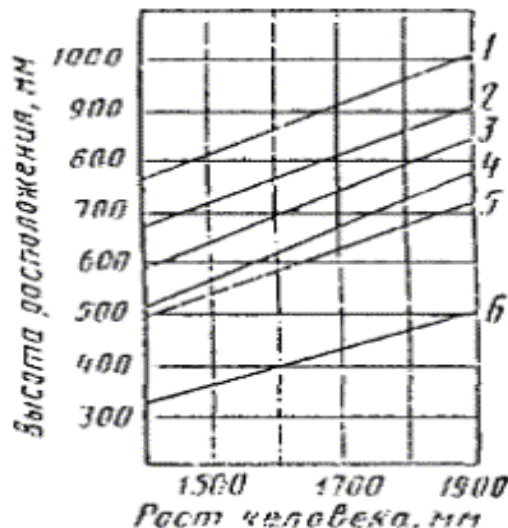


Рисунок 6.1 - Номограма

Таблиця 6.1 - Висота робочої поверхні, мм, при організації робочого місця

Назва роботи	Висота робочої поверхні, мм,		
	жінок	чоловіків	жінок і чоловіків
Організація роботи системи прийняття рішень при виникненні пожежної небезпеки	630	680	655

Оптимальна робоча поза для робітників більш низького зросту досягається за рахунок збільшення висоти робочого сидіння і підставки для ніг на величину, рівну різниці між висотою робочої поверхні для робітника зі зростом 1800 мм і висотою робочої поверхні, оптимальної для зросту даного робітника.

6.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Випромінювання електромагнітного поля (ЕМП) може негативно вплинути на організм людини, таке як: втома, нудота, головний біль, дратівливість. Джерелами є мобільні телефони, ЕОМ з ВТД, радіоприлади. Час перебування людини в магнітному полі і напруженість більше 1,4 кА/м регламентується відповідно до ДСанПіН 3.3.6-096-2002 «Державні санітарні норми і правила [38]. Санітарні норми виробничого полів» показаний у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Час перебування людини в магнітному полі і напруженість

Час перебування персоналу, годин	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля, кА / м	6,0	4,9	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,4
Магнітна індукція, мТл	7,5	6,13	5,0	4,0	3,13	2,5	2,0	1,75

Для вимірювань в діапазоні частот 300 МГц–300 ГГц використовуються прилади, призначені для визначення середніх значень щільності потоку енергії, з похибкою 40% в діапазоні частот 300 МГц - 2 ГГц і 30% в діапазоні частот понад 2 ГГц.

Відповідно до ГОСТ 12.1.006-84 «Електромагнітні поля радіочастот» [49], допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю» вимірювання напруженості та щільності потоку енергії ЕМП проводяться не рідше одного разу на рік, а також в наступних випадках:

- при введенні в дію нових установок;
- при внесенні змін у конструкцію, розміщення і режим роботи діючих установок;
- під час і після проведення ремонтних робіт, які супроводжуються зміною випромінюваної потужності;
- при внесенні змін до засобу захисту від ЕМП;

- при організації нових робочих місць.

Вимірювання напруженості або щільності потоку енергії ЕМП допускається не проводити у випадках, якщо: установка не працює в режимі випромінювання на відкритий хвилевід, антену або інший елемент, призначений для випромінювання ЕМП в навколишнє середовище, і її номінальна потужність згідно з паспортними даними не перевищує:

- 2,5 Вт - в діапазоні частот від 60 кГц до 3 МГц;
- 400 мВт - в діапазоні частот понад 3 МГц до 30 МГц;
- 100 мВт - в діапазоні частот понад 30 МГц до 300 ГГц.

Приміщення для роботи з ВДТ мають природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [39].

Природне освітлення здійснюється через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ / північний схід і забезпечують коефіцієнт природного освітлення (КПО) вище 1,5%.

Штучне освітлення здійснюється системою загального рівномірного освітлення з додатковим використанням світильників місцевого освітлення.

Як джерела світла для штучного освітлення використовуються переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ і світильники типу ЛПО. У світильниках місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання.

Віконні прольоти приміщень для роботи з ВДТ обладнані регульованими жалюзі і фіранками [39].

В таблиці 6.3 приведені норми освітленості робочих місць

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [40] рівень звуку на робочих місцях перевищує 80 дБА.

Приміщення обладнане системою опалення та кондиціонування повітря відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [41].

Підлогове покриття матове з коефіцієнтом відображення 0,3-0,5. Поверхня підлоги рівна, не слизька, з антистатичними властивостями.

Таблиця 6.3 – Норми освітленості робочих місць відповідають вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»

Характеристика зорових робіт	Найменші розміри об'єкта відмінностей	Розряд зорових робіт	Підрозряд зорової роботи	Освітленість, ЛК		
				комбіноване		Загальна
				всього	В т.ч. загального	
Малої точності	Більше 1,0 до 5	V	а	400	200	300
			б	-	-	200
			в	-	-	200

У приміщеннях з ВДТ потрібно щодня проводити вологе прибирання.

Режим праці і відпочинку при роботі на ЕОМ з ВТД відповідає ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила и норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [31], для операторів ЕОМ за характером роботи, становить при 8 годинній робочій зміні– 15 хвилинні перерви для відпочинку кожні 2 години, при 12 годинній робочій зміні – протягом останніх 4 годин, кожен годину перерви протягом 15 хвилин. Задля уникнення надмірної втоми виконується активний відпочинок – виконання гімнастичних вправ, що сприяють м'язовому розслабленню і зняття нервової напруги.

6.4 Порівняльний аналіз потенційних небезпек на обладнанні-прототипі та на розробленій установці

При розробці установки було розглянуто машини в яких є можливість відтворення проскопараллельного тертя.

Такі машини зазвичай мають відкриту робочу зону, що є небезпечним фактором. Так як при проведенні експерименту відбувається

відтворення процесу тертя в нормальних і граничних умовах, існує небезпека руйнування зразків. При відкритій робочій зоні частинки зруйнованих зразків можуть привести до механічних ушкоджень.

Дані машини в своїй більшості мають багато рухомих механічних елементів. Під час роботи перевищують допустимі норми рівня шуму.

На деяких машинах для зняття показників випробування використовують механічні прилади, що передбачає втручання оператора в робочу зону або безпосередню участь оператора при проведенні експерименту. Це може привести до травмування рук рухомими вузлами машини.

Розроблена установка передбачає автоматизоване проведення експерименту. Оператор надійно закріплює зразки в спеціальну обойму і ставить на стіл трибометра, за допомогою якого будуть зніматися показання. Це виключає втручання оператора в робочу зону під час проведення експерименту.

Використання електродвигунів і невелика кількість рухомих елементів забезпечує допустимий рівень шуму при роботі установки. Рівень шуму відповідає ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Робоча зона установки з усіх сторін закрита спеціально розробленою конструкцією каркаса установи. Установка разом з трибометром жорстко кріпиться на столі, що виключає випадкові переміщення установки.

6.5 Заходи пожежної безпеки

Згідно НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежно небезпеки» [36] та ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [42] клас приміщення, в якому розташовані ВДТ, «А», а клас можливої пожежі в даному приміщенні -« Д ».

Заходи з пожежної безпеки виконані відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 - «Правила пожежної безпеки України». ГОСТ 12.2.037-78 (2001) ССБТ «Техніка пожежна. Вимоги безпеки».

Пожежна техніка повинна відповідати вимогам ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань» [50], ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) «Пожежна техніка. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги», ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги».

Згідно «Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників» [46] приміщення оснащене вуглекислотним вогнегасником, ємністю 25 літрів.

Оператор ЕОМ проінструктований щодо використання вогнегасників відповідно до НАПБ Б.01.008-2004 «Правила експлуатації вогнегасників».

Проектування, виготовлення, монтаж, наладку і експлуатацію АУП слід проводити відповідно до вимог даного стандарту, нормативно-технічної документації та технічних умов на АУП конкретного типу.

Проходи і евакуаційні виходи передбачені відповідно до вимог ДБН В.1.1.7-2002 - «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [42].

Системи оповіщення повинні бути розташовані відповідно до НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах» [47] та персонал повинен бути проінструктований відповідно до цього положення.

6.6 Методи захисту від впливу електромагнітного імпульсу на елементи виробництва

Залежно від характеру впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) можуть бути рекомендовані наступні напрямки захисту:

- застосування двопровідних симетричних ліній, добре ізольованих одна від одної і від землі;
- екранування підземних кабелів мідної, алюмінієвої, свинцевою оболонкою;
- електромагнітне екранування блоків і вузлів апаратури;

- використання різного роду захисних входних пристроїв і грозозахисних засобів.

Найефективнішим захистом від впливу ЕМІ є повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевим екраном.

Практично забезпечити такий захист у ряді випадків неможливо бо для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричний зв'язок із зовнішніми пристроями. Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки або плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для повітрязбірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, що розміщуються по периметру дверей та люків.

Більш складною технічною проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Ефективним вирішенням цієї проблеми є перехід від електричних мереж зв'язку до волоконно-оптичних, що практично не схильні до дії ЕМІ.

На сьогоднішній день в якості засобів захисту кабельних входів найбільш широко використовуються фільтри, в тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металооксидні варистори і високошвидкісні зенерівські діоди.

Всі ці засоби мають як переваги, так і недоліки. Так, ємнісно-індуктивні фільтри достатньо ефективні для захисту від ЕМІ малої інтенсивності, а волоконні фільтри захищають у відносно вузькому діапазоні надвисоких частот. Іскрові розрядники мають значну інерційність і в основному використовуються для захисту від перевантажень

Металооксидні варистори, представляють собою напівпровідникові прилади, що різко підвищують свою провідність при високій напрузі.

Однак, при застосуванні цих приладів в якості засобів захисту від ЕМІ слід враховувати їх недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при неодноразовому дії навантажень. Ці недоліки відсутні в високошвидкісних зенерівських діодах, дія яких заснована на різкій зміні опору від відносно високого значення практично до нуля, при перевищенні певної порогової

величини прикладеної до них напруги. Крім того, на відміну від варисторів характеристики зенерівських діодів після багаторазових впливів високих напруг і перемикаць режимів не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту кабельних вводів від ЕМІ є створення таких роз'ємів, в конструкції яких передбачені спеціальні заходи, що забезпечують формування елементів фільтрів і установку вбудованих зенерівських діодів. Подібне рішення сприяє отриманню дуже малих значень ємності й індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, які мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову.

ВИСНОВКИ:

На основі аналізу умов роботи плоско-паралельних трибовузлів металорізальних верстатів, виявлені динамічні фактори, що негативно впливають на їх зносостійкість. Встановлено, що у найбільшій мірі на знос трибо вузлів впливають трьхкомпонентні лінійні коливання, що діють у трьох взаємоперпендикулярних площинах. Найбільш небезпечними є коливання у діапазоні частот 30-100Гц.

Розроблена фізична модель для визначення закономірностей зношування.

Розроблено конструкція експериментальної установки для реалізації фізичної моделі на базі трибометра. Конструкція установки дозволяє прикладати до випробовуваних зразків коливання по просторовій схемі у будь-яких комбінаціях. За результатами випробувань можливо визначати коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування зразків.

Розроблена методика проведення досліджень на експериментальній установці та обробки результатів цих досліджень.

Розроблені методи дослідження якісних змін поверхневого шару в зоні контакту, що дозволяють оцінити ступінь структурної однорідності поверхневого шару

Запропоновано і обґрунтовано спосіб підвищення зносостійкості трибовузлів в умовах складних динамічних навантажень шляхом створення багат шарових покриттів. Покриття складається з ремонтного шару на основі епоксидних полімерних матеріалів та захисного зносостійкого шару з металізованого матеріалу. За прототип захисного покриття прийнятий матеріал ПКХТН-30.

Запропоновано спосіб та технологічні рекомендації щодо несення багат шарових захисних покриттів. Розроблено рекомендації щодо підготовки відновлюваних поверхонь та обрано спосіб нанесення захисного зносостійкого металізованого шару покриття. У якості базового методу нанесення обрано метод – «ДИМЕТ».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кедров С. С. Колебания металлорежущих станков. М., «Машиностроение», 1978. 199 с.
2. Санников А.А. Надежность машин. Трибология и триботехника в оборудовании: Учебное пособие/А.А. Санников, Н.В. Куцубина, А.М. Витвинин. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. -145 с.
3. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. - 576 с.
4. Кудинов В.А. Динамика станков. -М.: Машиностроение, 1967.- 359с.- 201
5. Орликов М.Л. Динамика станков. Киев: Высш. школа, 1989.- 286 с.
6. Игнатович С.Р. Оценка поврежденности поверхностного слоя материалов при циклических нагружениях методами наноиндентирования и наноспектрии / С.Р. Игатович, И.М. Закиев, Д.И. Борисов //Проблемы прочности.- 2006. N4.- С.132-139.
7. Касандрова О.Н. Обработка результатов измерений /О.Н. Касандрова, В.В. Лебедев.- М.: 1970.-275с.
8. Крагельский И.В. Узлы трения машин: справочник/ И.В. Крагельский, Н.М. Михин - М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
9. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев: ТехНІКА, 1970. - 395 с.- 200
10. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.
11. Алымов М.И., Зеленский В.А. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов. - М.: МИФИ, 2005. – 52 с.
12. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Уч. пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 117 с.
13. Душко О. В. Метод математической обработки микроструктуры поверхностей трущихся тел.

14. Металлорежущие станки: Учебник: Под ред. В. Э. Пуша/ В. Э. Пуш, В. Г. Беляев, А. А. Гаврюшин и др. М.: Машиностроение, 1986. 576 с.
15. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977.–328 с.
16. Хрущов М.М., Беркевич Е.С. Определение износа деталей машин методом искусственных баз. М., Изд-во АН СССР, 1959
17. Рыжов, Э.В. Контактное трение твердых тел при статических и динамических нагрузках [Текст]/ Э.В.Рыжов. М.: Машиностроение, 1988. – 250 с.
18. Костецкий, Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин [Текст] /Б.И. Костецкий. – М.: Машгиз, 1959. – 478с.
19. Гонский, Г. В. О влиянии пульсирующего нагружения на величину силы трения [Текст]/ Г.В. Гонский, Н.А.Луник // Самолетостроение и техника воздушного флота. – 1972. – Вып. 29. – С. 105 – 108.
20. Gaylord, E, W. Coefficient of static friction under static and dynamic applied loads [Text]/ E. W. Gaylord., H. Shu // Wear. – 1961. – N5. – P. 401 – 412.
21. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов. 2-е изд. переработ, и доп. / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 2001. - 664 с,
22. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. – М.: Либроком. – 280 с.
23. Браун Э. Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э. Д.Браун, Ю. А. Евдокимов, А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с.
24. Двухкоординатный вибростенд (Патент RU 2116639), Авторы патента: Андреев Ю.Д. Никифоров И.С. Никифоров А.И. Остроменская В.А. Остроменский П.И.Владельцы патента:Новосибирский электротехнический институт связи им. Псурцева.
25. Многонаправленный испытательный вибростенд (Патент RU 2327131): Авторы патента:Бетковский Юрий Яковлевич , Чупин Игорь

Поликарпович, Лазарчук Эдуард Андреевич. Владельцы патента: открытое акционерное общество "Государственное машиностроительное конструкторское бюро "РАДУГА" им. А. Я. Березняка".

26. Вибростенд (Патент RU 2118806): Авторы патента: Бабенко Г.В., Бабешко В.А., Мухин А.С. Владельцы патента: Кубанский государственный университет.

27. Снитковский М.М., Юрьев В.И. К механизму переноса заряда в граничных слоях // Избирательный перенос в узлах трения. Учебник.— М.: МДНТП, 1972.— С. 197-199.

28. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство МСХА, 2001. - 616 с.: ил. 280.

29. Ивченко Л. Й., Глушко А. В., Шарапо Ю. В. Моделирование процесса контактного взаимодействия элементов плоскопараллельных трибосопряжений в условиях динамики нагружения // Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Теоретические и прикладные проблемы создания авиационных двигателей и энергетических установок". - Запорожье: АО "Мотор Сич", 2014. - 4 с.

30. Ивченко Л.Й., Глушко А.В., Журба М.О., Исследование процессов контактного взаимодействия плоско-параллельных трибосопряжений на физических моделях // Международные молодежные научно-технические чтения им. А.Ф. Можайского. Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Запорожье, АО «Мотор Січ». – 2016.

31. ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

32. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Захисне заземлення, занулення».

33. Катренко Л. А. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум [Текст] : навчальний посібник / Л. А. Катренко, Ю. В. Кіт, І. П. Піскун – 2-ге вид., стер. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007.

34. НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок»

35. НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями»
36. НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок по вибухопожежної та пожежної безпеки».
37. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги».
38. ДСанПіН 3.3.6-096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів
39. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».
40. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»
41. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»
42. ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
43. ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) «Пожежна техніка. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги».
44. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги».
45. «Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників», затверджені наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстровані в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677»
46. НАПБ Б.01.008-2004 «Правила експлуатації вогнегасників».
47. НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах».
48. Шоботов В. М. Цивільна оборона [Текст]: Навчальний посібник / В. М. Шоботов. - Вид. 2-ге, перероб. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.
49. Відповідно до ГОСТ 12.1.006-84 «Електромагнітні поля радіочастот»
50. ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань»