Харківський науково-дослідний та проектно-конструкторський
інститут промислових гідроприводів та гідроавтоматики

На правах рукопису

СУХАНОВ МІХАЙЛО ІГОРОВИЧ

ВИБІР СУМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ ТРИВОСТРЯЖЕНЬ ГІДРОМАШИН З ВРАХУВАННЯМ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ

Спеціальність 05.04.13
"Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати"

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 1996

Дисертацією є рук

Робота виконана в Харківському інституті льотчиків ЗС України

Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент В.А.Войтов

Науковий консультант - доктор технічних наук Є.С.Венцель

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор Подригало Михайло Аббович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Аврутін Григорій Аврамович

Провідна організація Харківський БТ, Гідропривод

Захист відбудеться 17 липня 1996 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 02.39.01 у Харківському НДІ Гідропривод

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці інституту

Адреса 310886 Харків, вул. Шатилова дача 4

Автореферат розісланий 16 червня 1996 р.

Вчений секретар Спеціалізованої вченої ради к.т.н. СКРИЦЬКИЙ В.Я.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Вибір матеріалів трибовузлів - важка задача, не дивлячись на те що практика машинобудівництва має великий досвід в цьому напрямі. Вибір залежить від конструкції та призначення вузла, технології виробництва, умов експлуатації, від вимог до загальної міцності деталей, строку їх служби і надійності при врахуванні вартості матеріалів та їх дефіцитності, витрат на виготовлення деталей з вибраного матеріалу і експлуатаційних витрат.

Стійка робота пари тертя спостерігається тільки в режимі гідродинамічного змащування, коли поверхні, що труться, розділені шаром мастила. В режимі змішаного тертя, коли на окремих ділянках спостерігається межове тертя, а тим більш якщо виникає безпосереднє контактування поверхонь, що труться, робота трибосистеми буде залежати від сумісності матеріалів пари тертя.

Процес сумісності поверхонь, що труться визначається реакцією на більш жорстке тертя, яке виникає в результаті змінних умов роботи. Сприятлива реакція на більш жорстке тертя повинна супроводжуватись утворенням на ділянках контактування тонких, легкорухомих плівок, або твердих важкосхоплюючих плівок, що визначається захистними властивостями штучно створених твердих поверхневих шарів (тверді покриття, термічна обробка, тощо).

В процесі межового тертя також проходить інтенсивне формування поверхневих шарів. Відома роль поверхнево-активних речовин змащування яка проявляється в пластифікуванні поверхонь, що труться, внаслідок адсорбційного зниження їх міцності за рахунок ефекту Ребіндера. У зв'язку з цим поверхневі шари мають різну будову по глибині наклепаного шару, яка (в залежності від умов тертя) може мати або монотонну, або ступенево змінну структуру.

На основі останніх робіт, які присвячені сумісності матеріалів, можна зробити висновок, що дані шари будуть мати різні триботехнічні характеристики.

В запропонованій роботі розглянуті різні аспекти сумісності поверхонь, що труться при роботі вузла тертя в режимі межового змащування з позицій зміни реологічних властивостей поверхневих шарів. Зміна реологічних властивостей, таких як, внутрішнє тертя, релаксація напружень, повзучість буде залежати від різних факторів, які будуть включені в об'єкт дослідження. Як параметр, що визначає внутрішнє тертя, в даній роботі було обрано коефіцієнт загасання ультразвукових коливань.

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ. Метою роботи є вивчення закономірностей зміни внутрішнього тертя матеріалів нерухомого зразка трибосистеми і на основі цих закономірностей розробка рекомендацій по вибору сумісних матеріалів для трибосистеми.

У відповідності з поставленою метою розв'язувались такі основні задачі:

1. Визначення коефіцієнта загасання ультразвукових коливань в початковій структурі широкого класу матеріалів, які використовуються в насособудівництві.
2. Визначення закономірностей зміни внутрішнього тертя в процесі роботи в залежності від різних факторів.
3. Експериментальне дослідження сумісності матеріалів у вузлі тертя в залежності від внутрішнього тертя початкової структури матеріалів і різних кінематичних схем контакту.
4. Експериментальне дослідження сумісності вибраних матеріалів і змащувального середовища.
5. Розробка рекомендацій щодо визначення сумісних матеріалів у вузлі тертя гидромашин на етапі їх проектування.

На основі розробленого методичного підходу до вивчення закономірностей зміни внутрішнього тертя трибосистеми в процесі припрацьовування і наступної роботи вузла тертя одержані результати, які виражають наукове і практичне значення роботи.

НАУКОВЕ ЗНАЧЕННЯ 1. Вперше визначена в процесі роботи закономірність зміни внутрішнього тертя матеріалів з яких виготовлений вузол тертя. Встановлено, що збільшення внутрішнього тертя матеріалів трибоелементів пов'язане, в основному, з утворенням зміцненого поверхневого шару.

2. Вказано, що існують матеріали, які можуть значно збільшувати внутрішнє тертя на етапі припрацьовування. Це, в біль-

шості, гетерогенні та одночасово пластичні матеріали. При цьому існує клас гетерогенних матеріалів, які не можуть значно збільшувати внутрішнє тертя на етапі припрацьовування, хоча спочатку мають високе внутрішнє тертя. 3.Вивчені закономірності впливу мастильного середовища на зміну внутрішнього тертя матеріалів на етапі припрацьовування. Встановлено, що наявність поверхнево- і хімічно-активних речовин в змащувальном середовищі збільшує внутрішнє тертя матеріалів з яких виготовлений вузол тертя. Вказано що чим кращі мастильні властивості змащувального середовища тим більше збільшується внутрішнє тертя використаних матеріалів.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ І РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ. Отримані регресійні залежності сумарної інтенсивності зношування, навантаження задиру і часу припрацьовування від величини внутрішнього тертя початкової структури матеріалів рухомого і нерухомого елементів та кінематичної схеми трибоспряження. Це дозволило встановити , що при виборі матеріалів у вузлі тертя допускається мати в якості рухомого елемента пари матеріал з мінімальним внутрішнім тертям. Особливу увагу необхідно приділяти вибору структури матеріалу нерухомого елемента. Експериментально встановлено, що внутрішнє тертя початкової структури матеріалів повинно бути високим і мати велику можливість до його збільшення в процесі припрацьовування. Параметром сумісних матеріалів в трибосистемі може виступати діапазон зміни внутрішнього тертя обох матеріалів в процесі припрацьовування. Вказано що змащувальне середовище або розширює цей діапазон, або зменшує його. Дані рекомендації впроваджені в "НДІ Гідропривод" м.Харків і використовувалися при розробці, виготовленні та випробуванні головних зразків регульованих аксіально-поршневих насосів великої потужності серії АН-П-500/35. Насоси створені для використання в гідравлічних приводах нафтопромислового, гірничо-видобувного та металургійного обладнання.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ. Основні результати дисертаційної роботи були доведені та схвалені на таких конференціях і семінарах: Республіканській науково-технічній конференції "Сучасні матеріали ,обладнання і технології зміцнення і відновлення деталей машин" (м.Новополоцьк, квітень 1993 р.), Міжнародному симпозіумі з трибобатики (м.Гомель, вересень 1993 р.),

Міжнародному симпозіумі з проблемі "Перспективні комплекси сільськогосподарських машин. Склад, стан зв'язок з розробкою і виробництвом" (м.Харків, вересень 1994 р.), Спільному семінарі кафедр Харківської Державної Академії Залізничного транспорту (м.Харків, листопад 1994 р.)

ПУБЛІКАЦІЇ. По результатам виконаних досліджень опубліковано 7 друкованих робіт.

СТРУКТУРА І ОБСЯГ РОБОТИ. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, основних результатів і висновків по роботі, додатків. Викладена на 120 сторінках і містить 24 малюнка, та 7 таблиць. Список літератури містить 133 найменування.

ЗМІСТ РОБОТИ.

У вступі обгрунтувалась актуальність вибраної теми, приводиться анотація роботи, де вказані основні положення, що визначають науково-практичне значення роботи.

В першому розділі наведено огляд опублікованих робіт присвячених сучасним уявленням про механізми забезбечення стану зносостійкості і сумісності при терті в умовах межового змащування. Розглянуті механізми структурної пристосовуваності і сумісності при межовому терті, виділена роль процесів, які відбуваються в підповерневих і поверхневих шарах.

Відмічено, що в трибології значний інтерес являють дослідження, пов'язані з вивченням взаємозв'язку фізико-механічних властивостей і структури матеріалів з їх триботехнічними характеристиками , фундаментальним дослідженням цих проблем присвячені роботи В.С.Авдуєвського, М.М.Алексійова, А.Я.Аляб'єва, Л.І.Бершадського, М.А.Буше, С.В.Венцеля, І.І.Гарбара, Д.Н.Гаркунова, Б.В.Дерягіна, М.Б.Демкина, Ю.А.Євдокімова, В.В.Запорожця, І.І.Карасика, Б.І.Костецького, І.В.Крагельского, Р.М.Матвієвського, П.В.Назаренко, І.Г.Носовського, П.А.Ребі дера, М.М.Хрущова, А.В.Чичинадзе, В.В.Шевелі, та інших вчених. Розглянуті релаксаційні властивості поверхневих та підповерхневих шарів та їх вплив на зносостійкість і сумісність матеріалів. Поставлена мета і сформульовані задачи дослідження.

На основі робіт В.В.Шевелі, В.В.Запорожця, П.В.Назаренко та інших дослідників сформульовані загальні вимоги, якими необхідно керуватись при вивченні релаксаційних характеристик трибоелементів.

В роботах М.М.Алексійова, Ф.П.Боудена, М.А.Буше, Б.І.Костецького, І.В.Крагельского, Р.М.Матвієвського, М.М.Хрущова, сформульовані загальні положення сумісності поверхонь, які в умовах межового тертя, визначаються фізичними процесами, що проходять на поверхні. Відмічено, що основною вимогою, яку необхідно забезпечити при конструктуванні трибоспряження є забезпечення сумісності матеріалів, що труться, один з одним і з робочим середовищем.

В результаті проведеного аналізу визначена мета і задачі дослідження.

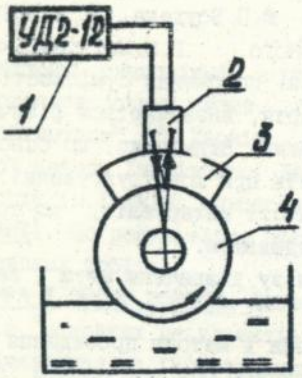
У другому розділі викладені засоби і методи проведення експериментальних досліджень. Методичною основою роботи стала розробка методики вивчення закономірностей зміни релаксаційних характеристик матеріалів вузла тертя в процесі припрацьовування і роботи.

Дослідження проводились на універсальній машині тертя 2070 СМТ-1 (пари тертя "кільце-кільце", "диск-колодка","диск-диск", з різними коефіцієнтами взаємного перекриття), обладнаній спеціальною системою змащування. Як мастильні середовища використовували: масла гідравлічні ВНИИ НП-403, АМГ-10, авіаційний гас ТС-1. При проведенні досліджень вимірювали лінійний знос методом штучних баз. Дослідження релаксаційних властивостей матеріалів проводились з використанням ультразвуку на метрологічно забезпеченому, промисловому ультразвуковому дефектоскопі УД 2-12 з пьєзоелектричним перетворювачем типу ПТС-19 з використанням частоти 5МГц . При цьому реєстрували коефіцієнт загасання ультразвукових імпульсів в нерухомому елементі пари тертя, який дозволяє перейти до чисельного значення внутрішнього тертя:

$$Q^{-1} = \delta/\pi,$$

де Q^{-1} -внутрішнє тертя , δ - коефіцієнт загасання ультразвукових імпульсів.

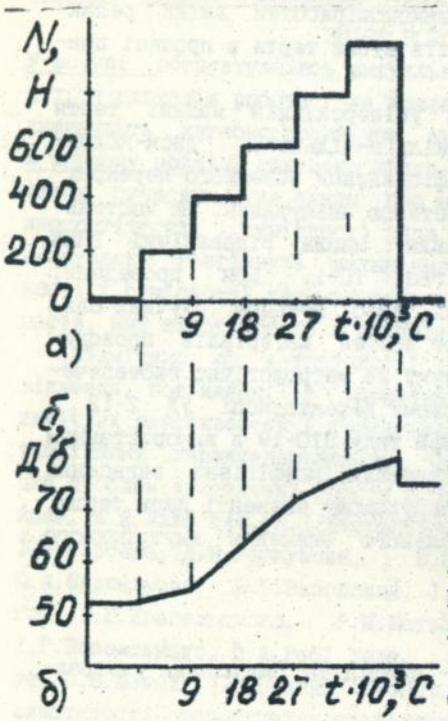
Для проведення досліджень був розроблений спеціальний пристрій, який дає змогу з'єднати пьєзоелемент дефектоскопу з нерухомим зразком пари тертя. Схема досліджуваного вузла показана на малюнку 1. Обробка експериментальних даних прово-



Мал.1. Схема вимірювання коефіцієнтів загасання ультразвукових імпульсів матеріалів при роботі вузла тертя: 1 - ультразвуковий дефектоскоп УД 2-12: пьєзоелемент; 3 - нерухомий зразок; 4 - рухомий зразок

дилась прикладною програмою, яка дозволяє отримати коефіцієнти регресії досліджуваних процесів при 95 % довірчий ймовірності.

В третьому розділі приведений аналіз зв'язку релаксаційних характеристик матеріалу (внутрішнього тертя) і зносостійкості що було підтверджено проведеним експериментом і зроблен висновок, що чим більше внутрішнє тертя початкової структури матеріалу, тим вище його зносостійкість при роботі в умовах межового змащування (табл.1). Але в процесі припрацьовування трибоспряження проходить інтенсивне формування поверхневих структур, а отже і зміна релаксаційних властивостей. Проведені дослідження дозволили зробити висновок, що інтенсивна зміна релаксаційних властивостей починає відбуватись при досягненні певного навантаження і може досягати 46 % ,що вказано на мал.2. При послідовному ступеневому збільшенні наванта-



Мал.2. Залежність зміни коефіцієнта загасання δ (б) від зміни навантаження N (а) з часом

ження на 200 Н і витримці 1,5 години проводився замір коефіцієнта затухання в кінці кожної ступені. Результати показали що при роботі без навантаження перші хвилини коефіцієнт затухання матеріалу колодки відповідає коефіцієнту загасання початкової структури матеріалу колодки. При ступеневому збільшенні навантаження спостерігалося

Таблиця 1

Значення коеффіцієнтів загасання початковой структури матеріалів і їх інтенсивности зношування у парі со сталлю 40 Х

Параметри	Матеріал						
	СЧ15 (загартов.)	СЧ15 (перліт)	БрАЖ9-4 (90 НВ)	СЧ15 (ферит)	ШХ15 (62HRC)	ст.40Х (52HRC)	АЛ 25 (80 НВ)
δ, Дб	68,1	59,7	58	57,2	48,6	47,6	43,5
$I\Sigma\times10^{-10}\frac{м}{м}$	161	178,2	252,9	324,5	503,7	696,45	705

збільшення коефіцієнта загасання, при чому до навантаження 400 Н це збільшення незначне , а потім спостерігалось різке збільшення коефіцієнта загасання. Інтенсивне збільшення внутрішнього тертя в трибосистемі в межах навантаження від 400 до 1000 Н пов'язано з інтенсивною перебудовою структури в поверхневому шарі. Крім цього одночасно йде процес формування вторинних структур. Процеси що проходять в поверхневих шарах вносять основний внесок в збільшення внутрішнього тертя матеріалів трибосистеми. Крім цього доведено що температура яка генерується в режимі межового тертя на зміну релаксаційних властивостей трибоелементів практично впливу не здійснює, що відображено у табл.2. В процесі вивчення впливу структури матеріалу на зміну релаксаційних характеристик, було встановлено що початкова структура матеріалу значно

впливає на зміну релаксаційних властивостей, при цьому виявлено що існують структури здатні різко збільшувати внутрішнє тертя в процесі припрацьовування. До таких матеріалів відносяться, наприклад бронза (мал.3,4). В процесі припрацьовування відбувається плавне збільшення коефіцієнту загасання. Величина на яку збільшується внутрішнє тертя досягає на бронзовому зразку 46%. За рахунок утворення наклепаного поверхневого шару і 7,5% за рахунок утворення вторинних структур . На зразку з чавуна збільшення досягало 17 % і 1 % відповідно.

Таблиця 2

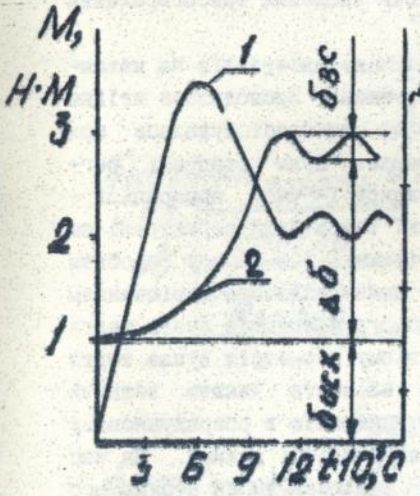
Значення коефіцієнта загасання δ матеріалів в залежності від зміни температури

Матеріали	Температура, °С									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
	Коефіцієнт загасання, δ , Дб									
СЧ15 (загарт.)	68	68	68,5	68,5	69	69	69	70	70,5	70,5
Бр.АЖ 9-4	58	58,5	59	60	60	60	61	62	62	63
сталь 40Х	47	47	47	47,5	48	48	48,5	48,5	49	49

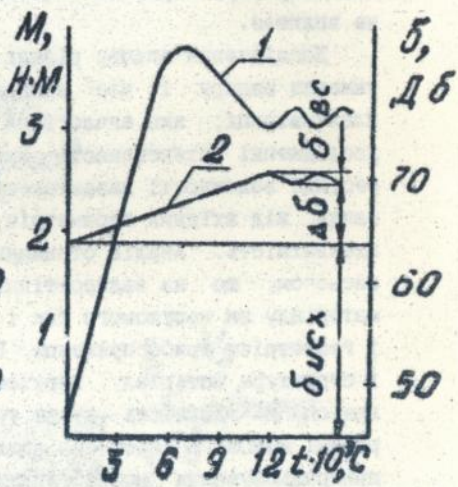
При вивченні впливу змащувального середовища на зміну релаксаційних характеристик трибосистем був отриманий результат, який показує, що змащувальне середовище сильно впливає на зміну величини внутрішнього тертя. В середовищі мінерального гідравлічного масла ВНИИ НП-403 на зразку виготовленому з бронзи Бр.АЖ 9-4 виявлено збільшення внутрішнього тертя в процесі припрацьовування на 50%. Випробування в середовищі робочої рідини АМГ-10 і в середовищі авіаційного гасу ТС-1 на аналогічному зразку показали що збільшення внутрішнього тертя в процесі припрацьовування досягало 10% і

4 % відповідно. Отже змащувальне середовище здатне впливати на зміну реологічних властивостей трибоелементів за рахунок дії ПАР і ХАР, що містяться в її складі.

В четвертому розділі описані методика і результати дослідження взаємозв'язку між внутрішнім тертям початкової



Мал. 3. Залежність зміни моменту тертя М та коефіцієнту загасання б з часом пари тертя "сталь 40Х-Бр.АЖ 9-4" у середовищі ВНИИ НП-403: 1 - момент тертя; 2 - коефіцієнт загасання



Мал. 4. Залежність зміни моменту тертя М та коефіцієнту загасання б з часом пари тертя "сталь 40Х-Чавун Спец." у середовищі ВНИИ НП-403: 1 - момент тертя; 2 - коефіцієнт загасання

структури матеріалів трибосистеми з інтенсивністю зношування, навантаженням задиру і часом припрацьовування.

Дослідження впливу різних сполучень матеріалів в трибосистемі на інтенсивність зношування проводилось шляхом планування і проведення багатофакторного експерименту, в якому в якості вхідних параметрів були вибрані коефіцієнти загасання початкової структури матеріалів рухомого і нерухомого елементів пари тертя і конструктивне виконання вузла тертя. Результати проведеного експерименту дозволили отримати регресивну залежність інтенсивності зношування від вхідних параметрів, перевірену на адекватність по критерію Фішера.

Аналіз залежності дозволяє зробити висновок, що на сумарну інтенсивність зношування в більшій мірі впливає коефіцієнт загасання нерухомого елементу, чим рухомого, а також геометрія вузла тертя. Коефіцієнт загасання матеріалу рухомого елементу пари тертя на інтенсивність зношення трибоспряження не впливає.

Дослідження впливу різних сполучень матеріалів на навантаження задиру і час припрацьовування проводилось згідно план-матриці, яка аналогічна тій що використовувалась при дослідженні інтенсивності зношування. Були отримані регресійні залежності навантаження задиру і часу припрацьовування від вхідних параметрів, які також були перевірені на адекватність. Аналіз отриманих рівнянь дає змогу зробити висновок, що на задиростійкість можна впливати варіюванням матеріалу як нерухомого так і рухомого елементів вузла тертя і геометрією трибоспряження. При цьому геометрія вузла тертя і структура матеріалу нерухомого елемента чинять великий внесок в здатність вузла тертя працювати в розрахунковому режимі межового тертя без виходу на аварійні режими. На час припрацьовування можна впливати варіюванням як нерухомого так і рухомого елементів вузла тертя і геометрією трибоспряження. На забезпечення швидкого припрацьовування вузла тертя головним чином впливає кінематична схема вузла тертя та матеріал нерухомого елементу.

За допомогою отриманих результатів була складена схема вибору матеріалів у вузол тертя, вона подана на мал.5.

Трибоспряження показано у вигляді двох відрізків, нижній з яких відповідає рухомому елементові пари тертя, верхній нерухомому. На лівому кінці відрізка позначена величина коефіцієнта загасання початкової структури матеріалу $\delta_{нач}$, а на правому - максимально можлива, яка формується в процесі припрацьовування $\delta_{пр(max)}$. Ширина відрізку визначає можливість структури збільшувати внутрішнє тертя за рахунок формування поверхневих структур $\Delta\delta+\delta_{вс}$, де $\Delta\delta$ - величина зміни коефіцієнту загасання ультразвукових імпульсів початкової структури в процесі припрацьовування, $\delta_{вс}$ -величина зміни коефіцієнту ультразвукових імпульсів за рахунок формування вторинних структур. Схема відображає три сполучення матеріалів що широко використовуються в насособудівництві:

сталь+сталь, сталь+чавун, сталь+бронза.

Як показали результати експериментальних досліджень, добру сумісність забезпечує широкий діапазон зміни внутрішнього тертя структури обох матеріалів, тобто діапазон структурної пристосовуваності, який згідно схеми дорівнює

$$\delta_{вт}=\delta_{пр(max)}-\delta_{исх(min)}.$$

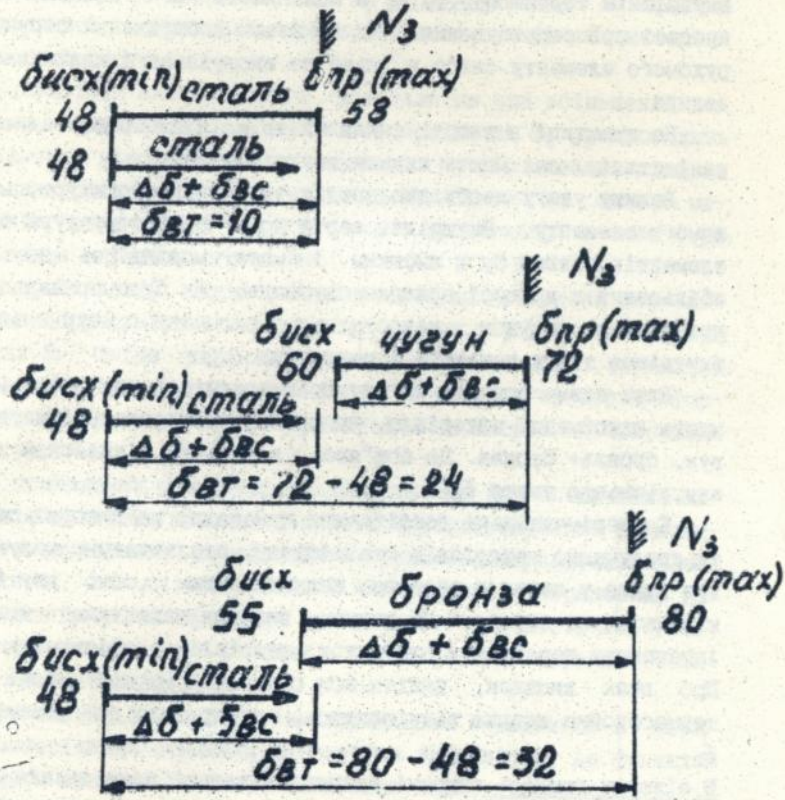


Рис. 5. Схема вибору сумісних матеріалів у вузол тер. залежно від зміни коефіцієнту загасання б

Чім більше $\delta_{вт}$, тим менша інтенсивність зношування і вище навантаження задиру $N_з$. Якщо під дією більш жорсткого режиму роботи пари вичерпується тобто вичерпується механізм релаксації енергії, що підводиться, настає схоплення, як особлива форма структурної релаксації. Згідно данної схеми для доброї сумісності матеріалів в трибовузлі допускається мати як рухомий елемент пари матеріал з мінімальним внутрішнім тертям $\delta_{вт(min)}$ з можливостю його збільшення в процесі припрацьовування. Як показали дослідження структура рухомого елементу слабо впливає на зношування і навантаження задира.

На практиці в якості таких матеріалів вибирають загартовані сталі, які мають низьке внутрішнє тертя.

Велику увагу необхідно приділяти вибору структури нерухомого елементу. Внутрішнє тертя початкової структури таких елементів повинно бути високим і мати можливість до його збільшення в процесі припрацьовування. Як було показано, на прикладі з чавуном, недостатньо спочатку мати високе внутрішнє тертя початкової структури.

Дана схема пояснює погану працездатність пар тертя, що мають однойменні матеріали, наприклад: сталь+сталь, чавун+чавун, бронза+ бронза. Це пов'язано з вузьким діапазоном зміни внутрішнього тертя $\delta_{вт}$.

Експериментальні дослідження показали, що використовувати сполучення матеріалів сталь+сталь, сталь+чавун, чавун+чавун краще у парах з високим навантаженням тобто на вищих кінематичних парах . За рахунок високих навантажень можлива інтенсивна перебудова структури матеріалів і збільшення $\delta_{вт}$. Про всяк випадок, навіть при однакових марках сталей, їх термообробка повинна відрізнятись, ще приведе до розширення $\delta_{вт}$.

В п'ятому розділі описані експериментальні дослідження впливу мастильного середовища (наявність в ній поверхнево активних і хімічно-активних речовин) на діапазон зміни внутрішнього тертя $\delta_{вт}$ матеріалів трибосистеми і на основі цього розроблені рекомендації по призначенню змащувального середовища для вибраних матеріалів.

Проведені дослідження мастил і ранжування їх за критерієм

питомної роботи руйнування $A_{y\ cp}$, що дорівнює відношенню роботи затраченої на вилучення об'єму тестового матеріалу (ШХ15), до цього об'єму у досліджуваному мастильному середовищі. Величина $A_{y\ cp}$ може служити критерієм оцінки змащувального середовища при врахуванні сумісності матеріалів в трибосистемі. Що далі крітерій $A_{y\ cp}$ використали як фактор змащувального середовища при врахуванні сумісності матеріалів в трибосистемі.

Результати експериментів показали що при збільшенні показника змащувальних властивостей середовища $A_{y\ cp}$ проходить збільшення мікротвердості поверхні H_m і зменшення глибини наклепаного шару h_m. Ці процеси приводять до зміни механізмів релаксації енергії яка підводиться, а отже і до збільшення внутрішнього тертя.

З врахуванням даних результатів була проведена корекція схеми вибору сумісних матеріалів з вузол тертя, яка подана на мал.5. Зміни характеризуються розширенням і звуженням діапазону зміни внутрішнього тертя за рахунок процесів формування поверхневих шарів і утворення зносостійких вторинних структур.

З приведених результатів виходить, що при сполученні матеріалів що мають широкий діапазон $\delta_{вт}$ допускається використання змащувального середовища з гіршими змащувальними властивостями, але на матеріалах з невеликим $\delta_{вт}$ середовище повинно мати добрі змащувальні властивості. Наявність поверхнево і хімічно-активних речовин у мастилах буде сприяти розширенню діапазона $\delta_{вт}$.

Для оцінкі сумісності змащувального середовища з обраними матеріалами отримана регресійна залежність, де функцією відгуку є сумарна інтенсивність зношування трибоспряження, а вхідними факторами: критерій оцінки змащувальних властивостей середовища $A_{y\ cp}$ і коефіцієнт загасання ультразвукових імпульсів початкової структури матеріалів нерухомого елементу трибосистеми $\delta_н$

$$I\Sigma = -17 \cdot 10^{-10}\ \delta_н - 30 \cdot 10^{25}\ A_{y\ cp} + 1{,}22 \cdot \ ^{-7}$$

Результати перевірки оптимального регресійного рівняння на адекватність, стійкість, інформативність показали можливість його використання в інженерних розрахунках.

Основні результати і висновки

1. В процесі експериментальних досліджень підтверджено, що внутрішнє тертя (коефициент загасання ультразвукових імпульсів початкової структури материалу) в умовах межового змащування є функція інтенсівності зношування цих матеріалів. Чим вище внутрішнє тертя матеріалів, які використовують у трибоспряженні, тім меньше інтенсивність зношування вузла тертя. Показано що в процессі збільшення навантаження на парі тертя під час її роботи відбувається значне збільшення внутрішнього тертя матеріалів трибосістеми, у порівнянні з початковим станом. Встановлено, що збільшення внутрішнього тертя пов'язано з формуванням поверхневих шарів, де реалізується механізм релаксації енергії яка підводиться.
2. Показано, що величина зміни внутрішнього тертя в процесі роботи трібосистеми в умовах межового змащування залежить від початкової структури материалів. Причому існують матеріалі які можуть значно збільшувати внутрішнє тертя. Це як правило гетерогенні і одночасно пластичні матеріали. При цьому існує клас гетерогенних матеріалів, які не можуть збільшувати внутрішнє тертя в процесі роботи, хоча спочатку мають високе внутрішнє тертя. Такі матеріали мають дуже низькі тріботехнічні характеристики.
3. Визначено внесок поверхневих шарів у збільшення внутрішнього тертя матеріалів трибосистеми в процесі роботи. Встановлено, що формування поверхнево наклепаного шару збільшує внутрішнє тертя матеріалів більше, чим утворення вторинних структур на поверхні тертя. Експериментально встановлено що наявність ПАР у змащувальному середовищі впливає на збільшення внутрішнього тертя матеріалів трибосистеми. Чим кращі змащувальні властивості змащувального середовища, що визначається за критерієм $A_{y\ ср}$ тим набагато сильніше збільшується внутрішнє тертя матеріалів трибосистеми, а отже і здатність до поглинання енергії, яка підводиться.
4. Отримані регресійні залежності сумарної інтенсивності зно-

шування, навантаження задиру і часу припрацьовування від факторів внутрішнього тертя початкової структури матеріалів рухомого і нерухомого елементів та кінематичної схеми трибоспряження. Це дозволило встановити, що на досліджувану функцію відгуку сильно впливають два фактори - внутрішнє тертя початкової структури матеріалу нерухомого елемента і кінематична схема спряження. Внутрішнє тертя початкової структури матеріалу рухомого елементу трібоспряження впливає на досліджувані параметри значно менше.

5. Встановлено, що добра сумісність матеріалів в трибосистемі є функцією широкого діапазона зміни внутрішнього тертя структури обох матеріалів $\delta_{вт}$, який дорівнює різниці між максимально можливим внутрішним тертям нерухомого елемента трибоспряження, сформованого в процесі припрацьовування і мінімальною величиною внутрішнього тертя початкової структури матеріалу рухомого елемента трібоспряження.

6. Показано що при виборі матеріалів у вузол тертя допускається мати в якості рухомого елемента пари матеріал з мінімаліним внутрішнім тертям. Експериментально встановлено, що матеріал рухомого елементу в меньшій мірі впливає на триботехнічні характеристики вузла тертя. Особливу увагу необхідно приділити вибору структури нерухомого елемента. Експериментально встановлено, що внутрішнє тертя початкової структури таких елементів повинно бути високим і мати можливість до його збільшення в процесі припрацьовування. Показано, що високого внутрішнього тертя початкової структури недостатньо для забезпечення сумісності матеріалів в парі тертя.

7. Визначена роль змащувального середовища при виборі сумісних матеріалів в трибосистемі. Встановлено, що середовище з високим критерієм $A_{y\ ср}$ значно розширює діапазон зміни внутрішнього тертя матеріалів трибосистеми, тим самим покращуючи триботехнічні характеристики і навпаки. Показано, що при сполученні матеріалів в парі тертя, які мають широкий діапазон зміни внутрішнього тертя при терті в умовах межового змащування змазки, допускається використання змащувального середовища з гіршими мастильними властивостями. а при сполученні матеріалів з невеликим діапазоном зміни внутрішнього тертя середовище повинне мати

добрі змащувальні властивості, тобто високі значення Ау ср. Отримана регресійна залежність впливу змащувального середовища на сумісність матеріалів, використання якої спільно з розробленими табличними даними по матеріалам дозволить на етапі проектування оцінити ресурс трибосистеми. Запропоновані рекомендації дозволять розширити діапазон структурної пристосовуваності трибосистеми.

Основний зміст дисертації опубліковано в таких роботах:

1. Войтов В.А. Жерняк А.І. Суханов М.І. Масштабний фактор пари тертя і його врахування на етапі проектування машин і механізмів.-Трение и износ 1994 т15, N1. с.109-116. рос.мовою.
2. Войтов В.А. Суханов М.І. Ісаков Д.І. Давидовський В.І. Врахування маштабного фактору при випробуваннях на тертя і знос. Добірка наукових праць Харківського ВВАІУ - Харків 1994 с.25-30. рос.мовою.
3. Войтов В.А. Суханов М.І. Ісаков Д.І. Методика фізичного моделювання межового тертя в трибосистемах. Добірка наукових праць Харківського ВВАІУ Харків 1994 с.31-36. рос.мовою.
4. Войтов В.А. Суханов М.І. Ісаков Д.І. Давидовський В.І. Зносостійкість прямих і зворотних пар тертя і конструктивні способи підвищення зносостійкості. Добірка наукових праць Харківського ВВАІУ 1994 с.37-42. рос.мовою.
5. Войтов В.,А. Суханов М.І. Ісаков Д.І. Про взаємозв'язок зносостійкості з реологічними параметрами трибоситеми. Добірка наукових праць Харківського ВВАІУ 1994 с.43-48. рос.мовою.
6. Войтов В.А. Суханов М.І. Ісаков Д.І. Шляхи оптимального проектування вузлів тертя машин.-Тези доповідей науково-технічної конференції "Сучасні матеріали обладнання і технології зміцнення та відновлення деталей" Новополоцьк 1993 с 18.рос.мовою.
7. Войтов В.А. Суханов М.І. Ісаков Д.І. До питання оптимального проектування вузлів тертя машин.- Тези доповідей міжнародного симпозіуму з трибобатики "Тертя, зношення, втомленість" Гомель 1993 с.24. рос.мовою.

Suhanov M.I. Selection combinetions materials of friction unit hidraulic machin and calculation regular of internal friction.

The thesis for reciving of Candidate's of engeneering by speciality 05.04.13 - Hydraulic machin and hydraupneumatic units, NIIgidroprivod, Kharkov, 1996.

General dependens of an alteration of internal friction under running-in conditions of a friction unit are set before. Considerable increase of internal friction for materials of a friction unit under running-in conditions are shown. This increas is connected with building-up of superficial and subterranean layers. On base of dependens of an alteration of internal friction, the scheme of selection for materials of a friction unit is proposed.

Суханов М.И. Выбор совместимых материалов трибосопряжений гидромашин с учетом закономерностей внутреннего трения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.13 - Гидравлические машины и гидропневмоагрегати, НИИгидропривод, Харьков, 1996.

Приведены результаты изучения изменения реологических свойств (в частности внутреннего трения) материалов трибосопряжения в процессе приработки трибосистемы. Показано, что в процессе приработки происходит значительное увеличение внутреннего трения материалов из которых изготовлен узел трения. Установлено, что увеличение внутреннего трения связано с формированием подповерхностных и поверхностных слоев. Определена роль смазочной среды в процессе изменения внутреннего трения на этапе приработки.

На основе закономерности изменения внутреннего трения предложена схема выбора материалов в узел трения.

Ключові слова: внутрішнє тертя, трибосистема, п'єзоелемент, сумісність, структура, середовище.