

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Трибологія"
для студентів спеціальності 133 – Галузеве машинобудування
освітньої програми «Металорізальні
верстати та системи» усіх форм навчання

Запоріжжя
2024

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Трибологія" для студентів напряму підготовки 133 – Галузеве машинобудування спеціальності «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання /Розр.: В. В. Циганов, В.І. Чорний - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. - 30с.

Розробник: В. В. Циганов, професор
В.І. Чорний, асистент

Рецензент: В.В.Солоха, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри
«Металорізальні верстати та
інструменти»
Протокол № 8 від 04.03.2024

до видання методичною
факультету

Рекомендовано
комісією машинобудівного

Протокол № 7 від 05.03.2024

З М І С Т

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Визначення коефіцієнта тертя, сили тертя спокою та ковзання 4

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Вплив шорсткості поверхні на трибологічні характеристики
матеріалів.....10

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Визначення адгезійної активності фрикційної пари
«інструментальний та оброблюваний матеріали»... ..15

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Визначення величини зносу та інтенсивності зношування 23

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ, СИЛИ ТЕРТЯ СПОКОЮ ТА КОВЗАННЯ

Мета роботи - визначити коефіцієнт тертя деяких конструкційних матеріалів в різних змащувально-охолоджуючих рідинах. З'ясувати фізичну сутність понять: попередній зсув; неповна сила тертя, тертя спокою; сила тертя спокою та сила тертя ковзання. Визначити силу тертя різних матеріалів і залежність сили тертя від змащувально- охолоджуючих рідин. Визначити коефіцієнт тертя.

Обладнання і матеріали:

трибометр ТММ 32А, набір зразків із різних матеріалів, набір СОЖ.

Зміст роботи:

- ознайомиться з теоретичною частиною
- підготувати прибор ТММ 32А, плити , образці
- провести тарировку індуктивного датчика
 - провести експерименти з різними матеріалами та з використанням СОЖ
 - визначити коефіцієнти тертя з різним поєднанням матеріалів та с ви користанням СОЖ
- оформити звіт

Основні поняття та терміни:

Зовнішнє тертя - опір, що виникає при відносному переміщенні двох дотичних тіл в площині їх торкання. Це складне явище, залежить від багатьох процесів, що протікають на кромці розділу в зонах фактичного контакту і тонких поверхневих шарах цих тіл при відносному тангенціальному переміщенні.

Кількісною мірою зовнішнього тертя служить *сила зовнішнього тертя* - сила опору при відносному переміщенні одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили, тангенціально направленої до спільної границі між двома тілами. Сила тертя є рівнодійною елементарних сил тертя, що виникають в зоні контакту окремих

мікронерівностей. Розрізняють *силу тертя спокою* (F_n), *силу тертя руху* (F_d) і *неповну силу тертя спокою* (F_{HP}).

Сила тертя складається з механічної ($F_{об.д}$) і молекулярної ($F_{адг}$), які пов'язані відповідно з об'ємною деформацією матеріалу і подоланням адгезійних зв'язків в зоні контакту.

Передування руху мікрозсуву контактуючих тіл при зростанні сили тертя від нуля до деякого кінцевого значення називається *попереднім зсувом* (a_r). Попередній зсув дорівнює відстані, при якій сила тертя досягає номінального значення. Відповідно до ГОСТ 16429-70 *попередній зсув* - явище малого відносного переміщення двох тіл до переходу від спокою до ковзання при терті.

Сила тертя спокою (F_n) (найбільша сила тертя, по ГОСТ 16429-70) - сила тертя, відповідна початку відносного руху.

Сила опору руху при попередньому зсуві називається *неповною силою тертя спокою* (F_{HP}). Неповна сила зовнішнього тертя спокою реалізується у вузлах тертя, де під дією сил і діючих в зоні контакту не відбувається їх безперервне зміщення. Сила тертя при відносному переміщенні двох тіл, яка не залежить від величини переміщення, називається *силою тертя руху* (F_d).

Сила тертя не залежить від площі контактуючих поверхонь, проте змінюється пропорційно навантаженню.

Відношення сили тертя до нормальної складової зовнішніх сил, що діють на поверхні тіл, називається *коефіцієнтом тертя* (f)

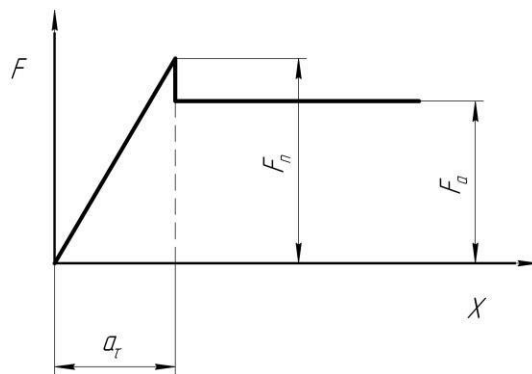


Рисунок 1.1 – Залежність сили тертя від переміщення

Матеріали з малою величиною коефіцієнта тертя (до 0,2%) називають *антифрикційними*.

Матеріали, що мають підвищену величину коефіцієнта тертя (понад 0,2%) називають *фрикційними*.

У антифрикційних вузлах тертя, за нормальних умов роботи, необхідна присутність рідкого або консистентного мастила, яке надійно захищає поверхні від утворення металевих зв'язків.

У вузлах тертя, де вживання мастил неефективне або неможливе як правило, використовуються металокерамічні антифрикційні самозмащувальні матеріали або композиції. У фрикційних вузлах тертя присутність мастила неприпустимо.

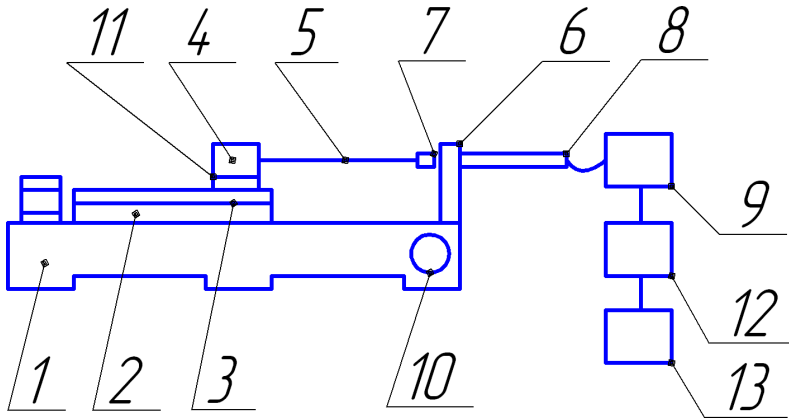
Вибір матеріалів для антифрикційних вузлів тертя здійснюється по величині коефіцієнта тертя за допомогою приладу ТММ 32А .

Пристрій і робота трибометра

Визначення коефіцієнта тертя ковзання пар матеріалів засноване на силі тертя спокою і сил тертя руху, що виникають при переміщенні змінної плити, встановленої на візку, відносно вантажу, що притискує змінні зразки з нормальним зусиллям до плити.

Конструкція приладу (рис. 1.2) складається з основи 1, візка 2, стійки вимірювального пристрою 6, змінної плити 3, вантажу 4, що притискує змінні зразки 11 до плити 3, тяга 5 з'єднує вантаж з пружиною вимірювального пристрою.

Візок, встановлений на направляючих основи, переміщається зворотно поступально за допомогою механізму електроприводу. У приводі використовується асинхронний електродвигун, який задає постійну швидкість переміщення візка. Хід візка обмежується з двох сторін кінцевими вимикачами. На площадку візка встановлюються змінні плити, виконані з різних матеріалів. На плиту 3 встановлюється вантаж 4, який притискує змінний зразок 11. Вантаж з'єднується з пружиною вимірювального пристрою за допомогою тяги з додатковою пружиною або через тягу без останньої.



1 - основа; 2 - візок; 3 - змінна плита; 4 - вантаж; 5 - тяга; 6 - стійкавимірювальна; 7- пружина; 8 - індуктивний датчик; 9 - підсилювач сигналу; 10 - вимикач; 11- зразок; 12- пристрій АЦП; 13 – комп'ютер

Рисунок 1.2 - Схема трибометра ТММ 32 А

Пружина 7 вимірювального пристрою 6 закріплена в стійці, в якій розміщується індуктивний датчик, дотичний своїм штоком з пружиною вимірювального пристрою. Запуск візка і зміна напрямлення її руху здійснюється вимикачем 10.

При переміщенні візка вантаж, що притискує зразок до плити, прагне зрушитися разом з візком і створює зусилля, яке через тягу передається на пружину вимірювального пристрою. Пружина згинається, розвиваючи зусилля що утримує вантаж з зразком на місці. Цим забезпечується ковзання зразка відносно плити. Таким чином, сила тертя, що виникає між зразком та плитою, без всяких втрат сприймається пружиною вимірювального пристрою. Деформація пружини через індуктивний датчик 8 передається електричним сигналом на підсилювач 9. Далі сигнал через аналого-цифровий пристрій 12 записується в програмі комп'ютера, що дозволяє фіксувати зміну сили тертя в часі під час руху.

За допомогою приладу можливо вимірювати сили тертя руху і сили тертя спокою. Для сили тертя застосовується тяга без проміжної пружини. Для сили зрушення використовується тяга з проміжною пружиною. Оскільки жорсткість проміжної пружини невелика, те наростання сили, прикладеної до вантажу, відбувається плавно.

Вантаж спочатку пересувається разом з візком. Рух же вантажу зі зразком відносно плити почне відбуватися тоді, коли проміжна пружина розвине зусилля, рівне зусиллю тертя зрушення. Момент зрушення вантажу фіксується індикатором, по якому визначається сила тертя спокою.

Порядок проведення роботи

1. Перед початком роботи провести тарування вимірювального пристрою приладу. Прилад встановити на столі в горизонтальному положенні по рівню. На основі приладу встановити кронштейн з роликом. До пружини вимірювального пристрою закріпити тягу 5 без проміжної пружини, яка перекидається через ролик кронштейна. Індикатор на стійці вимірювального пристрою встановити так, щоб шток торкався пружини вимірювального пристрою.

До тяги, перекинутої через блок, підвести тарувальний вантаж 0,5 кг і зафіксувати показання індикатору. Потім до тяги підвести тарувальний вантаж 1,5 кг і повторно зняти показання індикатора.

Тарувальний масштаб по індикатору визначається за формулою:

$$m_{ind} = \frac{G_2 - G_1}{P_2 - P_1},$$

де G_2 та G_1 - ваги тарувальних вантажів, кг,

P_1 та P_2 - показання індуктивного датчика при вазі вантажу 0,5 і 1,5 кг, відповідно.

Після закінчення тарування кронштейн з роликом зняти з основи приладу.

2. Поверхні змінних плит і зразків, що труться, протерти бензином і дати їм висохнути.

3. У відповідності з указаними викладачем поєднанням матеріалів тертьових тіл, встановити на візок плиту і закріпити під вантажем зразок.

Включенням приводу перемістити візок у бік вимірювального пристрою до зупинки візка кінцевим вимикачем. Встановити вантаж із зразком на плиту та з'єднати його з тягою (без проміжної пружини) з пружиною вимірювального пристрою.

4. Для визначення сили тертя руху $F_{тр}$ візок з плитою перемістити в сторону вимірювального пристрою і включити запис сигналу через АЦП на комп'ютері.

Сила тертя руху за показаннями датчика знаходиться з виразу:

$$F_{тр} = m_{інд} \cdot P_{ср},$$

де $m_{інд}$ - тарувальний масштаб індуктивного датчика, кг/мм,

$P_{ср}$ - середнє значення показання сили тертя під час переміщення візка, в міліметрах діаграми руху.

5. Розрахунок коефіцієнтів тертя для кожної пари матеріалів визначити по формулі:

$$f = \frac{F_{тр}}{Q},$$

де $F_{тр}$ - сила тертя, кг,

Q - вага вантажу зі зразком, кг.

Форма звіту

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- найменування і мету роботи;
- перелік використаного устаткування і матеріалів;
- основні положення про методику визначення коефіцієнта тертя;
- результати вимірів і розрахунків.

Контрольні питання

1. Як визначити коефіцієнт тертя ковзання?
2. Які вимоги пред'являються до антифрикційних і фрикційних матеріалів?

3. Види антифрикційних матеріалів (природні, полімерні, металокерамічні, що самозмащуювальні композиції).
4. Що таке сила зовнішнього тертя, сила тертя спокою, неповна силатертя спокою, сила тертя ковзання?
5. Що називають попереднім зміщенням?
6. Як пояснює процеси тертя молекулярно-механічна теорія тертя?
7. Назвіть види тертя.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ВПЛИВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ НА ТРИБОЛОГІЧНІХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи - визначити вплив початкової шорсткості на коефіцієнт тертя.

План роботи:

- визначити шорсткість поверхні R_a на зразках оброблених різними методами, на профілографі-профілометрі
- визначити силу тертя на трибометрі;
- розрахувати коефіцієнт тертя;
- побудувати графік залежності коефіцієнта тертя від шорсткості;
 - визначити розсіювання (дисперсію) експериментальних даних при знаходженні сили тертя;
- дати висновок про вплив шорсткості на коефіцієнт тертя;
- оформити звіт.

Устаткування: профілограф-профілометр моделі 170311, трибометр ТММ32А та зразки.

В процесі тертя розрізняють *початкову* (нерівноважну) і *сталу* (рівноважну) шорсткості поверхонь. Під початковою (нерівноважною) розуміють шорсткість поверхні твердого тіла, отриманого в процесі обробки. Стала (рівноважна) шорсткість створюється на поверхні контактуючих тіл в процесі тертя і залежить від умов роботи трибовузла. Початкова шорсткість поверхонь деталей машин

визначається експлуатаційними вимогами до них і технологією їх обробки(див. табл. 2.1).

Шорсткість (висота, форма нерівностей і їх напрям) впливає на зносостійкість деталей (див. табл.2.2)

Результати досліджень показали, що 70-80% всій варіації показників зносостійкості пов'язані з параметрами шорсткості. У перший період роботи контакт відбувається по вершинах мікронерівностей, фактична площа контакту мала, а питомі навантаження великі, такі, що часто перевищують межу текучості. Як наслідок відбувається руйнування мікронерівності за рахунок їх пластичної деформації або зрізування, між дотичними поверхнями з'являється зазор. Висота нерівностей в цей період зменшується на 65-75%, що повинно привести до збільшення фактичної площі контакту, а отже, до зниження питомого тиску. Проте поява зазорів викликає збільшення динамічної складової навантаження, що затягує період припрацювання, а в особливо важких умовах контактного навантаження може привести до катастрофічного зношування, минувши фазу сталого зносу.

Таблиця 2.1 - Середня економічна точність обробки плоских поверхонь

Найменування операції		Ra, мкм	Клас шорсткості	Точність (квалітет)
Стругання:				
попереднє		50-6,3	1-4	12-15
чистове		12,5-0,8	3-7	11-13
тонке		0,8-0,4	7-8	8-9
Фрезерування:				
циліндрове попереднє		25-3,2	2-5	12 и гр.
чистове		3,2-0,8	5-7	8
тонке		1,6-0,4	6-8	6
торцеве попереднє		25-3,2	2-5	12 и гр.
чистове		3,2-0,8	5-7	7-8
тонке		1,6-0,4	7-8	6
Точіння:				
попереднє		25-3,2	2-5	12 и гр.
чистове		12,5-0,8	3-7	10 и гр.

тонке	0,8-0,2	7-8	5-6
Шліфування			
попереднє	1,6-0,8	6-7	7
чистове	0,4-0,2	8-9	5-6
Притирання			
грубе	0,4-0,2	8-9	5 та точн.
середнє	0,2-0,1	9-10	5 та точн.
тонке	0,1-0,012	10-13	5 та точн.
Полірування	0,8-0,025	7-12	а точн.

Таблиця 2.2 – Взаємозв'язок зносостійкості деталей машин з параметрами шорсткості

Умови роботи деталей машин	Геометричні характеристики					
	Параметр шорсткості					
	Ra	Rz	Rmax	S _m	tp	напрям нерівностей
Тертя без змащувального матеріалу	(+)	)	(+)	(+)	+	+
Тертя із змащувальним матеріалом	+	)	(+)	+	+	+
Вибірковий перенесення	(+)	)	(+)	(+)	(+)	+
Примітка: + - надає основний вплив (+) - робить обмежений вплив						

При роботі в легких і середніх умовах в період припрацювання шорсткість набуває оптимальної висоти та , майже не залежить від первинної геометрії. Тому важливо в процесі механічної обробки створювати поверхні, шорсткість яких по можливості відповідатиме рівноважній шорсткості, отриманій для конкретних умов зношування.

Зношування в залежності від висоти нерівностей має характер з вираженим оптимумом (рис. 2.1). Зростання зносу зі збільшенням висоти нерівностей обумовлене механічним зачепленням, зрізом і їх зминанням, а при зменшенні висоти нерівностей в порівнянні з

оптимальною знос збільшується за рахунок виникнення молекулярного зчеплення і заїдання щільно дотичних поверхонь.

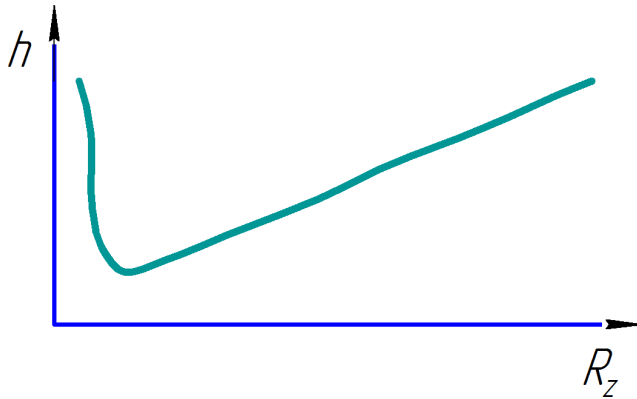


Рисунок 2.1 – Принципова залежність зносу від висоти мікронерівностей поверхні

Направлення мікронерівностей і їх форма також впливають на характеристики тертя і зношування деталей. Так, наприклад, найбільший коефіцієнт тертя спостерігається при однаковому направленні до їх руху. При малій висоті і паралельному направленні нерівностей спостерігається схоплювання і підвищене зношування. Зміна величини зносу визначається і формою мікронерівностей, зокрема, радіусом їх виступів. Ступінь впливу приведенного радіусу виступів мікронерівностей на величину зносу контактуючих поверхонь складає $\sim 32\%$.

Істотно впливає на зносостійкість напрям нерівностей поверхонь. Порівняльні випробування на зношування роликів (азотована сталь 38Х2МЮА), вигладжених алмазом з $R_{cf}=1,5$ мм і силою $P_y=150$ Н, показали, що найбільшу зносостійкість мають поверхні з канавками, які є дотичними або пересічними і опорною площею рівною 30-40%. Зносостійкість таких поверхонь в 1,5 разу вище в порівнянні зі зносостійкістю шліфованої поверхні. Напрямок деформації при вигладжуванні також позначається на зносостійкості деталі. Встановлено, що в зразках, що мають при вигладжуванні напрям деформації, протилежний напрям деформації при різанні,

зношування значно нижче, ніж в зразках, в яких при обробці напрями збігалися.

У даній роботі визначається вплив середньоарифметичного відхилення нерівностей профілю R_a (початкової шорсткості) на опір переміщенню третюх тіл при терті ковзання.

Величина R_a визначається за профілограмами (див. рис. 2.2), знятими за допомогою профілометра-профілографа мод. 170311 з використанням залежності:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l y_x dx \approx \frac{1}{n} \sum y_i,$$

де l - базова довжина,

y_i , - середньоквадратичне відхилення профілю, N – кількість відхилень на базовій довжині.

Опір переміщенню тіл (сила тертя F_{TP}), що труться , визначається на трибометре (див. Лр №1). За значенням сили тертя (F_{TP}) та силам нормального тиску (Q) знаходиться коефіцієнт тертя (f_{TP}) і будується графік залежності коефіцієнта тертя від початкової шорсткості.

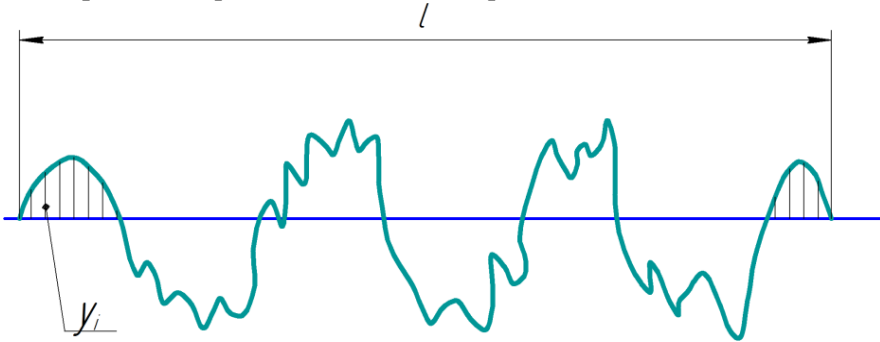


Рисунок 2.2 – Профілограмма шорсткості поверхні

Оцінка стабільності процесу тертя при розглядуванні шорсткості проводиться по розсіюванню значень сили тертя, отриманих

експериментально. Оцінювальними параметрами є дисперсія D та середнє квадратичне відхилення σ , які знаходяться за залежностями:

$$D = \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}}$$

де x_i - поточне значення досліджуваного параметра,
 n - кількість розглядуваних x_i .

Форма звіту

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- найменування і мета роботи;
- перелік використаного устаткування і матеріалів;
- графіки залежності коефіцієнта тертя від величини шорсткості;
- графіки залежності дисперсії від шорсткості;
- висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що ви розумієте під початковою (нерівноважною) і рівноважною шорсткістю?
2. Який характер має знос матеріалів залежно від висоти нерівностей?
3. Як оцінити стабільність процесу тертя при визначенні сили тертя?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ВИЗНАЧЕННЯ АДГЕЗІОННОЇ АКТИВНОСТІ ФРИКЦІЙНОЇ ПАРИ «ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ТА ОБРОБЛЮВАНИЙ МАТЕРІАЛИ»

Мета роботи ознайомиться з методом визначення адгезійної складової коефіцієнт тертя фрикційних пар.

Устаткування:

трибометр, інструментальний мікроскоп, зразки з інструментальних та оброблюваних матеріалів.

План роботи:

- записати криву зростання навантаження $F_{екс}$ при обертанні індентора еталонної інструментальної сталі;
- записати криві зростання навантаження досліджуваних сталей;
- виміряти приріст сили $\Delta F_{екс}$;
- виміряти діаметри сферичних поверхонь D_1 та d_2 , D_2 , величини лунок d_1 та d_2 ;
- розрахувати коефіцієнт відносної адгезійної активності $K_{адг}$;
- оформити звіт.

При дослідженні зовнішнього тертя вважається, що сила тертя, а отже, і коефіцієнт тертя складається з двох складових: деформаційної та адгезійної. В цьому випадку коефіцієнт тертя (f) визначається:

$$f = f_{def} + f_{адг},$$

де f_{def} - деформаційна складова коефіцієнта тертя,

$f_{адг}$ - адгезионная складова коефіцієнта тертя.

Деформаційна складова коефіцієнта тертя може бути розрахована на підставі механіки суцільної середи, адгезійна дорівнює:

$$f_{адг} = \frac{\tau_n}{p_r}$$

де τ_n - міцність на зріз з'єднань на поверхні розділу,

p_r - реальний тиск в контактї.

Оскільки величину τ_n в даний час обчислити теоретично неможливо, то її визначають експериментальним шляхом.

При терті зріз з'єднань відбувається під навантаженням тому міцність на зріз залежатиме від величини нормального напруження:

$$\tau = \tau_0 + \beta_r \sigma,$$

де τ_0 - міцність на зріз адгезійного зв'язку за відсутності нормальної напруги,

β_r - коефіцієнт зміцнення зв'язку від нормальної напруги.

За методикою, ГОСТ адгезійна активність фрикційного контакту визначається по рівнях приросту поверхні фактичного зсуву ΔS при його переміщенні:

$$\Delta S = \frac{\Delta F_{екс}}{S \cdot \tau_{сд}},$$

де $\Delta F_{екс}$ - приріст сили тертя при постійній для всіх випадків величині кута повороту сферичного індентора: (визначається експериментально),

$\tau_{сд}$ - опір оброблюваного матеріалу зрушенню, залежне від навантаження та температури.

$$\tau_{сд} = \frac{F^{np}_{екс}}{S_{об}},$$

де F^{np} - гранична сила тертя (визначається експериментально),

$S_{об}$ - поверхня тертя (спільна поверхня сферичних відбитків на зразках) фрикційного контакту (визначається експериментально):

$$S_{об} = S_1 + S_2,$$

де S_1 та S_2 - поверхні тертя індентора з нижнім і верхнім зразком (див. рис. 3.1).

$$S_i = \frac{\pi D_i \left(D - \sqrt{D_i^2 - d_i^2} \right)}{2},$$

де D - діаметр сферичної поверхні індентора, мм, d - діаметр відбитку, мм, $i=1$,

2 - верхня або нижня поверхня тертя.

Для оцінювання коефіцієнта відносної адгезійної активності даного інструментального матеріалу до оброблюваного, в порівнянні з адгезійною активністю еталонного матеріалу, наприклад, сталі Р6М5, експеримент необхідно проводити двічі, (рис. 3.2) перший раз записують криву зростання навантаження F_{ec} при обертанні індентора з еталонної інструментальної сталі, а другий раз з досліджуваної. Вимірюючи приріст сили $\Delta F_{екс}$ на однаковому куті повороту індентора ΔY , а також D_1 та D_2 - діаметри сферичних поверхонь та величини лунок d_1 та d_2 , розраховують коефіцієнт відносної адгезійної активності $K_{адг}$ по формулі:

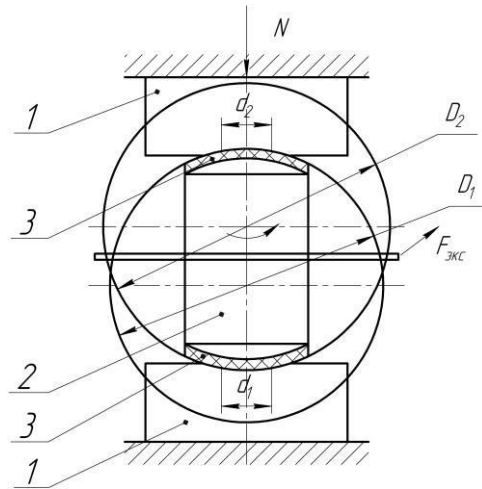
$$K_{адг} = \frac{\Delta S_i \Delta F_{екс}^i \cdot \tau_{cd}^{em} \cdot S_{em}}{\Delta S_{em} \Delta F_{екс}^{em} \cdot \tau_o \cdot S_i} \cdot \frac{d_i}{d_i},$$

де ΔS_i - адгезійна активність індентора з досліджуваної сталі до оброблюваного матеріалу,

ΔS_m - адгезійна активність еталонної інструментальної сталі до оброблюваного матеріалу.

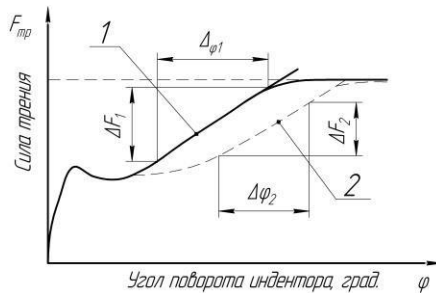
Аналогічно проводять експеримент за визначенням відносної адгезійної активності при дослідженні різних складів зносостійких плівок. Обов'язковою умовою випробувань має бути збереження постійними для обох випадків нормального навантаження N , температури випробувань $-T \text{ } ^\circ\text{C}$, та шорсткості фрикційного контакту R_a .

Змінюючи нормальне навантаження N та температуру в контакті можна прослідити вплив зміцнення або де зміцнення оброблюваного матеріалу на адгезійну активність контактуючих матеріалів.



1 - зразки оброблюваного матеріалу; 2 – зразок інструментального матеріалу (індентор); 3 – зносостійке покриття

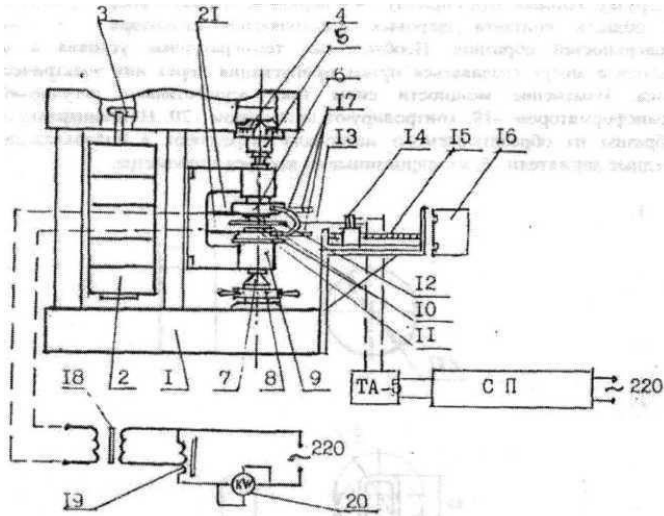
Рисунок 3.1 – Вузол тертя



1 - залежність сили тертя від кута повороту на еталонному зразку, 2 - залежність сили тертя від кута повороту на вимірюваному зразку

Рисунок 3.2 - Криві експериментальних значень сили тертя

Для реалізації пропонованої методики визначення адгезійної активності фрикційного контакту створено трибометр, основні вузли якого приведені на рис. 3.3.



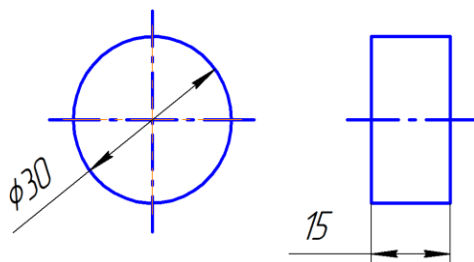
1 - корпус трибометра; 2 - вантажі; 3 - важіль; 4 - призма; 5 - верхня сферична опора; 6 - охолоджуваний тримач зразка; 7 - нижня сферична опора; 8 - гайка вибору вільного ходу; 9 - напрямна; 10 - зразки з оброблюваного матеріалу; 11 - зразок з інструментальної сталі; 12 - поворотний диск; 13 - трос; 14 - повзун тензобалковий; 15 - ходовий винт; 16 - електродвигун; 17- штуцера для охолодження тримач зразка; 18 - знижувальний трансформатор; 19 - ЛАТР; 20 - ватметр; 21 - клема; ТА-5 - підсилювач; СП - самописний потенціометр

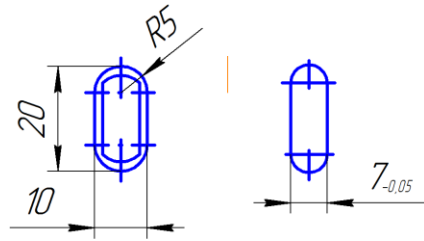
Рисунок 3.3 - Схема трибометра

Зразок-індентор з сферичними поверхнями – 11 з інструментального матеріалу (на який може наноситься і вакуумно-плазмова плівка) закріплюється в поворотному диску - 12 і встановлюється строго вертикально по осі дії навантаження між плоскими зразками - 10 з оброблюваного матеріалу. Вибір зазорів і підтиск здійснюють гайкою - 8 через нижню сферичну опору - 7. Потім за допомогою вантажів - 2 та важеля - 3, що має співвідношення плечей 1:18, створюють необхідне навантаження, яке через призму - 4 і верхню сферичну опору - 5 передається в область контакту

сферичних поверхонь індентора та плоских поверхонь зразків. Необхідні температурні умови в зонах контакту можуть створюватися шляхом пропускання через них електричного струму. Зміну потужності сили струму здійснюють регулюючим трансформатором - 19, контролюють ватметром - 20. Плоско паралельні зразки з оброблюваного матеріалу закріплюють у водоохолоджуючі мідні тримачі - 6, ізольовані від корпусу трибометра.

Поворот закріпленого в диску індентора здійснюють за допомогою механізму, що складається з електродвигуна - 16, що обертає ходовий гвинт - 15, по якому переміщається повзун із закріпленим на ньому пружній балочці з тензодатчиками - 14. На балочці закріплений трос - 13, обвиваючий поворотний диск - 12. Тарування балочки здійснюється статичним навантаженням. Сигнал від тензодатчиків через підсилювач поступає на двокоординатний самописучий потенціометр, який записує навантаження $F_{екс}$ необхідне для повороту індентора. Контактні поверхні зразків полірують за методикою приготування шліфів металографії. Перед експериментом поверхні зразків ретельно знежирюють чотирихлористим вуглецем і протирають пудрою з активованого вугілля. Розміри і форма зразків приведені на рис. 3.4.





1 - зразок з оброблюваного матеріалу; 2 - зразок з інструментального матеріалу

Рисунок 3.4 - Зразки для визначення відносної адгезійної активності інструментальних та оброблюваних матеріалів

Виконання роботи:

- ознайомитися з пристроєм і принципом роботи трибометра;
- ознайомитися з методом визначення адгезійної складової коефіцієнта тертя;
- встановити досліджувані зразки в захват трибометра;
- записати криву зростання навантаження $F_{екс}$ при обертанні індентора з еталонної інструментальної сталі;
- записати криву зростання навантаження $F_{екс}$ при обертанні індентора з досліджуваної сталі;
- розрахувати коефіцієнт адгезійної активності $K_{адг}$;
- оформити звіт.

Форма звіту

1. Схема вузла тертя.
2. Криві експериментальних значень сили тертя.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунків

$\tau_{cd}^{вт}$	τ_{cdi}	$S_{вт}$	S_i	$\frac{\Delta F^I}{вкс}$	$\frac{\Delta F^{вт}}{вкс}$	$K_{адг}$

Контрольні питання

1. В чому полягає суть адгезійної активності матеріалів?
2. Що Ви розумієте під деформаційною складовою коефіцієнта тертя? В чому полягає принцип роботи трибометра?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ЗНОСУ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОШУВАННЯ

Мета роботи: ознайомитися з методами і засобами визначення зносу при контактній взаємодії твердих тіл.

Устаткування:

профілометр-профільлограф мод.170311, інструментальний мікроскоп, телевимірвальний комплекс, зношені зразки.

Зміст роботи:

- визначити плями контакту,
- записати профільлограму зношеної поверхні,
- визначити об'єм зношеного матеріалу,
- провести розрахунок інтенсивності зношування,
- оформити звіт.

Зношування - процес поступової зміни розмірів тіла при терті, що проявляється у відділенні з поверхні тертя матеріалу і (або) залишкової деформації тіла.

Розрізняють:

- *коррозійно-механічне зношування*, яке відбувається за умоводночасної дії механічних навантажень і агресивної середовища;
- *зношування при заїданні*, що відбувається в результаті схоплювання, глибокого виривання матеріалу, перенесення

матеріалу з однієї поверхні тертя на іншу і дії виниклих нерівностей насполучену поверхню;

- *зношування при фретинзі*, тобто механічне зношування тіл при коливальному відносному мікророзсуві. Відбувається в основному у відсутності окислювального середовища на контакті елементів пари тертя. Переміщення є наслідком вібрації, періодичного вигину або скручування деталей трибоз'єднання;

- *зношування при фретинг-корозії*, -коррозійно-механічне зношування дотичних тіл при малих дотичних відносних переміщеннях. Процес тертя при малих амплітудах зворотньо- поступального переміщення супроводжується хімічною взаємодією матеріалів з середовищем. Необхідною умовою фретинг-корозії є відносно прослизання, яке супроводжується окисленням.

Знос - результат процесу зношування, визначається у встановлених одиницях. Відповідно до діючих стандартів, що діють, існують наступні види зношування: механічне, коррозійно-механічне, абразивне, газоабразивне, втомне, кавітаційне, окислювальне, при фретинг-корозії, електроерозійне. По характеру деформації зношування протікає при пружному, пластичному контакті, в умовах мікрорізання.

Кількісними відносними характеристиками зносу є інтенсивність лінійного зносу і вагового зносу.

Лінійний знос - висота зношеного шару матеріалу тертя.

Ваговий знос - маса зношеної речовини ΔQ , з одиниці номінального .

Інтенсивність зношування - відношення зносу до обумовленого

шляху, на якому сталося зношування, або до виконаної роботи.

Розрізняють:

- *лінійну інтенсивність зношування*

$$I_L = \frac{\text{товщина знятого шару}}{\text{шлях ковзання}} = \frac{h}{L},$$

- *об'ємну інтенсивність зношування*

$$I_V = \frac{\text{об'єм знятого шару}}{\text{шлях ковзання}} = \frac{\Delta V}{L},$$

- *енергетичну інтенсивність зношування*

$$I_v = \frac{\text{об'єм знятого шару}}{\text{робота тертя}} = \frac{\Delta V}{L},$$

- *вагову інтенсивність зношування*

$$I_w = \frac{\text{вага знятого шару}}{\text{шлях ковзання}} = \frac{\Delta W}{L}.$$

Методи зносу

Вимір зносу здійснюють при проведенні лабораторних, стендових та експлуатаційних випробувань. Для найбільш відповідальних машин знос визначається безпосередньо під час експлуатації для того, щоб встановити граничний стан деталей, що труться. Залежно від призначення вимір зносу здійснюється одним з наступних методів:

- *мікрометруванням*. Метод заснований на визначенні лінійного зносу за допомогою вимірювання розмірів деталі та зразків вимірювальними інструментами. При відносній простоті такий вимір не забезпечує необхідної точності при невеликих значеннях зносу;

- *зважуванням*. Визначається сумарний знос по втраті маси з поверхонь тертя. При такому методі неможливо визначити значення зносу на різних ділянках поверхонь;

- *профілографуванням*. При цьому методі з однієї і тієї ж ділянки досліджуваної поверхні знімаються профілограми до початку випробувань і після. На профілограмах контури одних і тих же западин залишаються постійними, а виступи, унаслідок зносу, втрачають свою висоту. Визначаючи спільне зменшення виступів від лінії западин отримують величину зносу. У випадку, якщо вона перевищує висоту нерівностей, за постійну базу, від якої проводиться вимірювання, вибирається неробоча ділянка досліджуваної поверхні;

- *визначенням продуктів зносу в маслі*. Для цієї мети в різних агрегатах періодично відбирають проби масла і по кількості і складу часток судять про ступінь зносу;

- *визначенням зносу деталей за допомогою радіоактивних індикаторів.* Радіоактивний ізотоп, заздалегідь введений в матеріал, що зношується, видаляється разом з частками зносу. При цьому вимірювана радіоактивність вказує величину зносу;

- *вбудованих датчиків.* Визначають знос деталей за допомогою фіксації зміни лінійних розмірів. При цьому використовуються тензодатчики, вихідні сигнали яких реєструються відповідними регістраторами, що мають підсилювальний пристрій і записуючу апаратуру;

- *штучних баз.* Цим методом встановлюють значення зносу за зміною розмірів штучно нанесених поглиблень, виконаних на зношуваній поверхні. Поглиблення виконують свердлінням конічних отворів, відбитками у вигляді конуса або піраміди, вирізуванням лунок. Знос плоскої поверхні методом вирізаних лунок (рис. 4.1) визначають за формулою:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{l_1^2 - l_2^2}{8r},$$

де h_1 , та h_2 - глибина відбитку до і після зношування,

l_1 та l_2 - довжина лунки до і після зношування,

r - радіус, що описується вершиною різця.

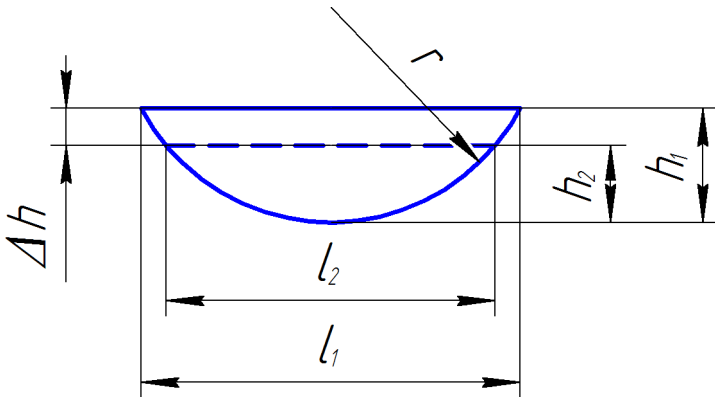


Рисунок 4.1 – Схема зносу методом вирізаних лунок

Метод використовується для дослідження зношування деяких деталей металорізальних верстатів (наприклад, напрямних верстатів).

Визначення об'єму зношеного матеріалу

Величину об'єму зношеного матеріалу можна визначити за допомогою профілограм, записаних на профілометрі-профілографі мод. 170311 використовуючи залежність:

$$V = V_L + V_{адг},$$

де V_L - лінійна складова об'єму зношеного матеріалу, мм^3 ,
 $V_{адг}$ - адгезійна складова об'єму зношеного матеріалу, мм^3 .

$$V_L = h_L \cdot F_u,$$

де h_L - величина лінійного зносу, мм (див. рис. 4.2),
 F_u - площа зношеної поверхні, мм^2 (див. рис 4.3)

$$h_L = \frac{h'_L}{M_{\epsilon y}},$$

де h'_L - величина лінійного зносу без врахування масштабу, мм
 (визначається з профілограми),

$M_{\epsilon y}$ - вертикальне збільшення профілографа



Рисунок 4.2 – Схема до визначення об'єму зношеного матеріалу

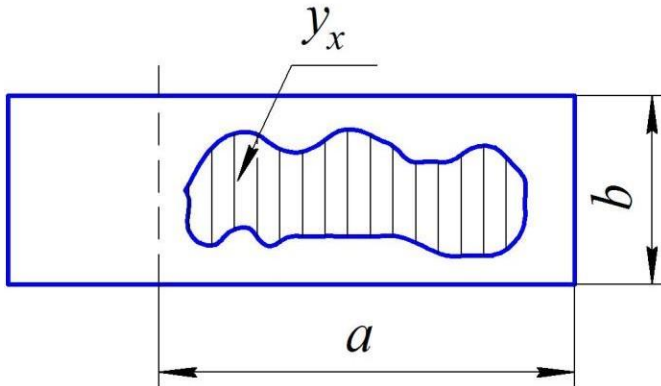


Рисунок 4.3 – Схема до визначення номінальної та зношеної поверхні

Зношена поверхня визначається (рис. 4.3):

$$F_u = \int_0^b y_x \cdot dx,$$

Номінальна площа визначається:

$$F_u = a \cdot b,$$

де a та b - довжина та ширина робочої частини зразка.

Величина адгезійної складової об'єму зношеного матеріалу знаходиться з виразу:

$$V_{адг} = R_a \cdot F_u \cdot K,$$

де R_a - середня глибина пошкоджень зношеної поверхні, мм (див. рис. 4.1),

$K = (0,25-0,50)$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність пошкоджень за площею контакту.

Об'ємна інтенсивність зношування знаходиться із залежності:

$$I_v = \frac{V}{L} \rightarrow$$

де L - шлях ковзання, м.

Виконання роботи:

- ознайомитися з методами визначення зносу;
- ознайомитися з пристроєм профілометра-профілограф моделі 170311 та телевимірювального комплексу;
- записати профілограму зношеної поверхні;
- визначити по профілограмі величини h_d , R ;
- визначити за допомогою телевимірювального комплексу номінальну площу та площу плями контакту;
- розрахувати об'єм зношеного матеріалу;
- розрахувати об'ємну інтенсивність зношування;
- оформити звіт.

Форма звіту

Звіт повинен містити:

- схему до визначення об'єму зношеного матеріалу;
- таблицю результатів (див. табл. 4.1);
- висновки.

Таблиця 4.1- Результати вимірів та розрахунків

h_L , мм	R , мм	F_H , мм ²	F_u , мм ²	V_L , мм ³	$V_{ad\sigma}$, мм ³	V , мм ³	L , мм	I_V , мм/мм

Контрольні питання

1. Назвіть методи вимірювання зносу.
2. Що таке інтенсивність зношування і як вона може бути розрахована?
3. Як визначити об'єм зношеного матеріалу за допомогою профілограм?

Таблиця 4.2 – Інтенсивність зношування матеріалів при різних видах зношування

Характер навантаження або вид зношування	Матеріал зношеної деталі	Матеріал протилежної деталі	Інтенсивність зношування
Реверсивне тертя з мастилом	Хромове покриття	Чавун	$2,5 \cdot 10^{-12}$
Однонаправлене тертя ковзання (циліндрові поверхні)	Сталь	Підшипниковий сплав	$1,16 \cdot 10^{-11}$ - $1,8 \cdot 10^{-12}$
Обкатування з прослизанням	Сталь 40X	Сталь 40X	$1,5 \cdot 10^{-11}$
Тертя ковзання (плоскі поверхні)	Чавун	Чавун	$2 \cdot 10^{-6}$ - $4 \cdot 10^{-10}$
Тертя ковзання	Лекційний матеріал	Чавун	$2 \cdot 10^{-6}$ - 10^{-7}
Фретинг-корозія	Сталь	Сталь	$8 \cdot 10^{-6}$ - 10^{-8}
Знос інструменту при обробці різанням	T15K6	Сталь 40X=150-230 м/мин	$(1,5-6) \cdot 10^{-8}$
Абразивне зношування	Сталь 45	"-"-"-"	10^{-3} - 10^{-4}