

Кузьменко А.Г.Хмельницкий национальный университет,
г. Хмельницкий, Украина**ПУТЬ ТРЕНИЯ КАК БАЗОВОЕ ПОНЯТИЕ
И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИ
ПРОСКАЛЬЗЫВАНИИ
КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

УДК 621.891

Дано определение пути трения для случая трибосистемы двух контактирующих поверхностей для случая, когда одна из поверхностей подвижна, другая неподвижна. Процедура определения и сущность величин пути трения показаны на примере дискретного контакта микровыступов и на примере контакта континуальных поверхностей. Приведены примеры практического определения путем трения для разных пар трения. Показано, что эффекты разного износа пар трения в разных коэффициентами взаимного перекрытия можно объяснить разными путями трения для контактирующих поверхностей. Показано, что эффект влияния прямой либо обратной пары на износ также объясняется разной величиной пути трения в одном и другом случаях.

Ключевые слова: путь трения, дискретный контакт, износ, пара трения, коэффициент перекрытия.

Введение

1⁰. При рассмотрении процессов трения и изнашивания поверхностей различают следующие основные факторы или характеристики в контакте: I. Силовые характеристики: 1) контактное давление σ или сила, приходящаяся на единицу площади; 2) касательное напряжение τ или сила трения на единицу площади контакта. II. Кинетические или геометрические характеристики сопряжения: 1) размеры площадки контакта; 2) глубина вдавливания; 3) предварительное смещение; 4) проскальзывание или взаимное смещение контактирующих точек; 5) суммарная величина взаимного проскальзывания носит название путь трения (s) контактирующих точек.

2⁰. Особо важную роль играет путь трения в моделях изнашивания сопряжений.

Так простейшая модель изнашивания в дифференциальной форме имеет вид:

$$\frac{du_w}{ds} = k_w \sigma^m, \quad (1)$$

где u_w – износ;

s – путь трения;

k_w, m – параметры модели;

σ – контактное давление;

$\frac{du_w}{ds}$ – безразмерная величина интенсивность изнашивания.

В интегральной форме модель изнашивания имеет вид:

$$u_w = k_w \sigma^m s. \quad (2)$$

Таким образом, очевидно, что в простейшей модели главными факторами являются давление σ и путь трения s . В связи с этим точность определения величины износа зависит от определения давления и пути трения.

3⁰. Для определения контактного давления в механике твердого деформируемого тела создан специальный раздел – контактная механика. В пределах этого раздела, начиная от работ Г.Герца созданы десятки методов решения контактных задач по определению параметров в контакте: давления, размеров площадки и т.д.

В частности нами разработаны следующие методы решения контактных задач: 1) метод алгебраических уравнений [4]; 2) метод подобия или приведенного радиуса [5]; 3) вариационно-экспериментальный метод решения задач пластичности [6]; 4) метод решения квазигерцевских задач [5] и др.

В тоже время методам определения пути трения в теории и практике уделяется явно недостаточное внимание.

На устранение этого недостатка и направлена данная работа.

1. Кинематика сдвига и трения в дискретном контакте**1.1. Уровни, схема и этапы формирования**

1.1.1. *Уровни контакта.* Традиционно различают по масштабу и размерам площадок контакта следующие уровни:

1) номинальный контакт и номинальная площадь контакта A_a – площадь проекции контактной (опорной) части тела на плоскость направления скольжения;

2) контурная площадь контакта A_c – площадь контакта образованная вследствие волнистости поверхности; контурная площадь располагается на номинальной так, что $A_c < A_a$;

3) фактическая площадь контакта A_r – площадь образованная при взаимодействии на поверхностях микронеровностей или шероховатостей;

4) физическая или нано площадь (или нано область) контакта A_H – площадь контакта в зоне взаимодействия атомов контактирующих тел.

1.1.2. Этапы формирования развития и разрушения контакта

1) формирование площадей контакта под действием нормальной нагрузки N на весь контакт и нормальных давлений на единицах площади контакта это нормальный контакт;

2) при разовом приложении касательной силы T площади контакта на всех уровнях изменяются (увеличивается) для упругого контакта на 3%, для пластического на 11-85%;

3) при длительном приложении силы T происходит сдвиг или взаимное проскальзывание поверхностей: (3.1) при упругом контакте сдвиг сопровождается утрясанием волн перед подвижной поверхностью; (3.2) при пластическом контакте возможен пластический сдвиг или микрорезание; (3.3) при глубоком пластическом деформировании возможно схватывание и вырывы пластической поверхности;

4) при многократном приложении касательной силы T (4.1) при упругом контакте происходит изнашивание по усталостному механизму с образованием трещины; (4.2) при пластическом деформировании изнашивание по механизму микропластического удаления частиц поверхности.

1.2. Взаимное проскальзывание микровыступов при сдвиге тел 1 и 2

1.2.1. Единичный выступ на системе выступов

1) схема взаимодействия и обозначения (рис. 1.1);

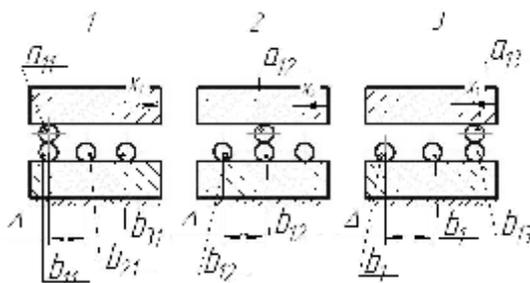


Рис. 1.1 – Схема сдвига в контакте дискретных микронеровностей

2) обозначения: 1 – подвижное тело 1; 2 – неподвижное тело 2; $a_{11}...a_{1n}$ положения неровностей подвижного тела 1; $a_{21}...a_{2n}$ положения неровностей неподвижного тела 2; Δ расстояние площадки контакта для выступа a_{11} ;

3) при сдвиге тела 1 на шаг неровностей Δ : путь трения для выступа $a_{11} - s_1 = \Delta$; путь трения для выступа второго тела $a_{21} - s_2 = 2a_{11}$;

4) при сдвиге тела 2 на $x = 2\Delta$ $s_1 = 2\Delta$; $s_2 = 2a_{11}$;

5) при сдвиге тела 2 на $x = n\Delta$ $s_1 = n\Delta$; $s_2 = 2a_{11}$.

1.2.2. Проскальзывание континуальных поверхностей 1.2 при подвижном теле 1 с малой площади

1) схема сдвига (рис. 1.2);

2) обозначения: 1 подвижное тело с ограниченным участком с размером в направлении движения $2a$; x_2 – перемещение тела 1 в положение II; x_3 – перемещение тела 1 в положение III; a_{11} , a_{21} положение точек a_1 и a_2 при $x = 0$; a_{12} , a_{22} тоже при $x = x_2$; a_{13} , a_{23} – при $x = x_3$;

3) путь трения контактных точек для тела 1: $s(a_{12}) = s(a_{22}) = x_2$;

4) путь трения для контактных точек тела 2:

$$s(a_{11}) = 0, \quad s(a_{21}) = 0; \quad s(a_{12}) = 2a; \quad s(a_{22}) = 0; \quad s(a_{13}) = 2a; \quad s(a_{23}) = 0.$$

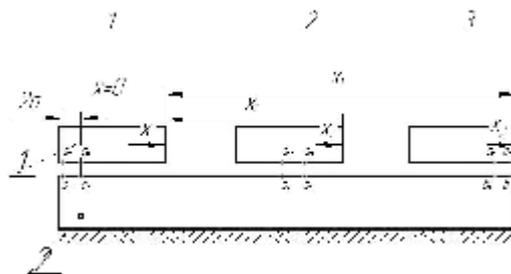


Рис. 1.2 – Схема сдвига разных по площади дискретно континуальных поверхностей при теле 1 подвижном

1.2.3. Проскальзывание континуальных поверхностей 1.2 при подвижном теле 2 с большей площадью

1) схема (рис. 1.3);

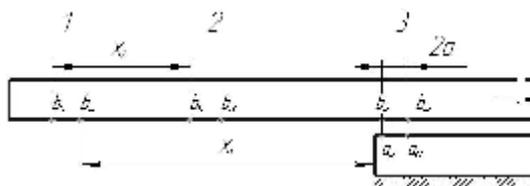


Рис. 1.3 – Схема сдвига тела большей площади

2) пути трения: $s(v_{13}, v_{23}) = s(v_{12}, v_{22}) = s(v_{11}, v_{21}) = 2a$; $s(a_{12}, a_{22}) = x_2$; $s(a_{13}, a_{23}) = x_3$.

2. Определение (дефиниция) понятия путь трения

2.1. Схема контакта

1⁰. Рассмотрим кинематическое взаимодействие плоскости двух тел рис. 1: 1) подвижное, тело 2 неподвижное; при этом тело 1 меньше площадки контакта;

2) при этом площадь возможной контактной поверхности подвижного тела 1, A_1 меньше возможной площади поверхности контакта тела 2, $A_2, A_1 < A_2$ (рис. 1.4).

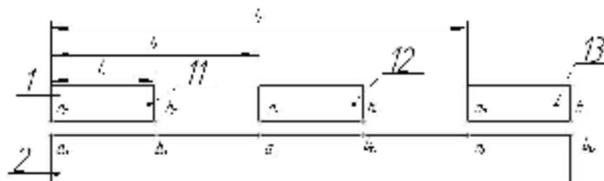


Рис. 1.4 – Схема для объяснения понятия путь трения

2⁰. Прежде чем давать определение понятия путь трения заметим, что путь трения для контактных точек поверхности в значительной степени зависит:

1) от подвижности или неподвижности тела;

2) от соотношения площадей контакта A_1 / A_2 , а точнее от размеров площадей контакта в направлении сдвига контактирующих тел;

3) очевидно, что путь трения зависит от размера площадки контакта, которую можно определить, только пользуясь методами контактной механики;

4) на износ влияет не только путь трения, s например по (1.2), но и скорость скольжения v , которую можно определить зная путь трения $v = \frac{ds}{dt}$;

5) температура трения также определяется через путь трения и работу трения.

2.2. Определения (дефиниции)

Определение 1. Путь трения для точек контактной поверхности тела 1 равен пути, который проходят контактные точки поверхности тела 2 по контактным точкам поверхности тела 1.

Пример 1: 1) при смещении тела 1 на расстояние l_2 путь трения для точки a_{11} $s(a_{11})_2 = l_2$ (рис. 1.4);

2) для точки ϑ_{11} при этом $s(\vartheta_{11}) = l_2 - l_1$;

3) при смещении тела 1 в положение 1.3 путь трения для точки a_{11} до положения 1.3 будет равен $s(a_{11} \rightarrow a_{13}) = l_3$, а для точки ϑ_{11} $s(\vartheta_{11} \rightarrow \vartheta_{13}) = l_3 + l_1$.

Определение 2. Путь трения для контактных точек тела 2 равен пути, который проходят контактные точки тела 1 по контактным точкам тела 2.

Пример 2. 1) при перемещении тела 1 в положение 1.2 путь трения для точки ϑ_1 $s(\vartheta_1) = 0$; а для точки ϑ_2 $s(\vartheta_2) = l_1$; 2) при перемещении тела 1 в положение 1.3 путь трения для точек a_{22} и ϑ_{22} $s(a_{22}, \vartheta_{22}) = l_1$, т.е. ширине тела 1.

Замечание: в определениях тело 1 подвижное тело 2 неподвижное при этом $A_1 > A_2$. Если наоборот тело 1 подвижное 2 неподвижное, то в определениях необходимо заменить номера тел и обращать внимание на размеры площадей.

Сущность понятий лучше усваивается на примерах сопряжений, к рассмотрению которых мы переходим в следующем подразделе.

2.3. Примеры практического определения величины пути трения

2.3.1. Систематизация пар трения по геометрии и кинематике

2.3.2. Примеры: 1) SP – шар плоскость, поступательное движение шара 2 площадках, контакта $2a$: 1) путь трения s_1 для контактных точек шара $s_1 = x$; 2) путь трения s_2 для контактных точек плоскости $s_2 = 2a$.

2. $\frac{SP}{F_2}$: шар-плоскость, вращательное движение шара на угол φ или $2\pi nt$, где n об/мин, t мин., $s_1 = 2\pi Rnt$, $s_2 = 2a$;

3. $\frac{R_2}{F_1}$: цилиндр-плоскость поступательного x движение плоскости, площадка контакта $2a$, путь трения $s_1 = x$, $s_2 = 2a$.

3. Коэффициент взаимного перекрытия $K_{\text{вз}}$ и путь трения s .

3.1. Определение понятия $K_{\text{вз}}$

1) пусть поверхность тела 1 с площадью трения A_{a1} скользит по поверхности тела 2, образуя для тела 2 площадь поверхности износа A_{a2} (рис. 3.1);

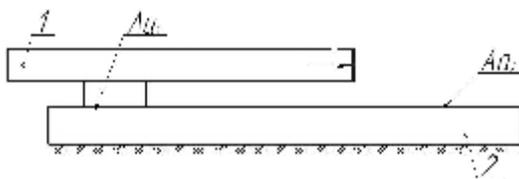


Рис. 3.1 – Схема к объяснению понятия $K_{\text{вз}}$

2) по Крагельскому И.В. [1] коэффициент взаимного перекрытия представляет собой отношение площадей трения контактирующей пары трения то есть;

$$K_{\text{вз}} = \frac{A_{a1}}{A_{a2}},$$

при этом: 1) как правило, меньшая площадь делится на большую; 2) в определении [1] также не указывается какая поверхность движения, а какая неподвижна;

3) понятие $K_{\text{вз}}$ было впервые введено Чичинадзе А.В. [7] в 1954 году в диссертации по температурным полям при трении и в дальнейшем использовалось более 50 лет при оценках теплонапряженности узлов трения и рекомендовалось к использованию во многих монографиях и справочниках;

4) еще на ранней стадии использования отличалось, что более точно определять, $K_{\text{вз}}$ принимая в (3.1) не номинальные а контурные площади трения поверхностей;

5) в исследованиях работоспособности таких узлов трения как тормоза и фрикционные муфты $K_{\text{вз}}$ использовались как конструкционный фактор, влияющий на теплонапряженность;

6) количественный модели описывающих это влияние в литературе нами не найдено;

7) в связи с этим здесь нами дается некоторая простая модель влияния $K_{\text{вз}}$ на теплонапряженность пары трения. В основе этой модели лежит использование более частных понятий о пути трения контактирующих поверхностей.

3.2. Распределение тепловых потоков и $K_{\text{вз}}$

3.2.1. Количество тепла при выделяющемся трении

1) основным физическим эффектом при трении является выделение тепла. При этом выделение тепла $Q_{\text{ТР}}$ пропорционально работе сил трения $A_{\text{ТР}}$:

$$Q_{\text{ТР}} = kA_{\text{ТР}} = kF_{\text{ТР}}s, \quad (3.1)$$

где $F_{\text{ТР}}$ – сила трения;

$$F_{\text{ТР}} = fN, \quad (3.2)$$

f – коэффициент трения;

N – номинальная сила в контакте;

$S_{\text{ТР}}$ – путь трения скольжения;

k – коэффициент пропорциональности; (3.2) \rightarrow (3.1) \Rightarrow ;

$$Q_{\text{ТР}} = kfNs. \quad (3.3)$$

3.2.2. Уточнение определения коэффициента взаимного перекрытия

Пусть тело 1: 1) контактирует с поверхностью тела 2 по площадке площадью A_1 ; 2) скользит по поверхности тела 2, оставляя след от контакта; площадь этого следа будем называть площадью трения второго тела A_2 ; 3) коэффициентом взаимного перекрытия $K_{\text{вз}}$ называют отклонение площадей трения первого и второго тел:

$$K_{\text{вз}} = \frac{A_1}{A_2}, \quad (3.4)$$

3) по определению п.2 путь трения для подвижного тела 1, s_1 будет равен размеру площадки A_2 по направлению скольжения:

$$s_1 = x_1;$$

4) путь s_2 трения для контактных точек неподвижного тела равен размеру площади A_1 в направлении скольжения:

$$s_2 = 2a; \quad (3.5)$$

5) с учетом п.3) и 4) выражение (3.4) приобретает вид:

$$K_{\text{вз}} = \frac{2a}{x_1} = \frac{s_2}{s_1}, \quad (3.5)$$

т.е. $K_{\text{вз}}$ равен отношению пути трения тела 2 к пути трения скольжения тела 1.

3.2.3. Влияние теплопроводности λ и температуропроводности α на распределение тепловых потоков

1) обозначим через Q_1 и Q_2 количество тепла, которые может пропустить контактная граница поверхностей трения.

В соответствии с общей теорией теплопроводности [2] тепловые потоки Q_1 и Q_2 находятся в следующем соотношении:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^{1/2}, \quad (3.6)$$

где λ_1 , λ_2 теплопроводности, a_1 , a_2 температуропроводности тел 1 и 2;

3.2.4. Согласование образования и отвода тепла из контакта

1) в соответствии с (3.3) количество тепла Q_1^{TP} , Q_2^{TP} при трении тел 1 и 2 определяется соотношением:

$$Q_1^{TP} = kfNs_1, \quad (3.7)$$

$$Q_2^{TP} = kfNs_2; \quad (3.8)$$

2) будем полагать, что отношение количества тепла отведенного первым Q_I и вторым Q_{II} телами пропорционально образованному по (3.7), (3.8) теплу и возможностями отводить это тепло по (3.6):

$$\frac{Q_I}{Q_{II}} = \frac{Q_1^{TP}}{Q_2^{TP}} \frac{Q_1}{Q_2}; \quad (3.9)$$

3) (3.6), (3.7), (3.8) \rightarrow (3.9) \Rightarrow

$$\frac{Q_I}{Q_{II}} = \frac{s_1}{s_2} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^{1/2}; \quad (3.10)$$

4) или с учетом (3.5):

$$\frac{Q_I}{Q_{II}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^{1/2} \frac{1}{K_{\text{эз}}}. \quad (3.11)$$

Связь износа контактирующих поверхностей с $K_{\text{эз}}$.

1) износ подвижного тела 1 при пути трения $s_1 = x_1$:

$$u_{w1} = k_{w1} \sigma^{m1} s_1; \quad (3.12)$$

2) износ подвижного тела 2 при пути трения $s_2 = 2a$:

$$u_{w2} = k_{w2} \sigma^{m2} s_2; \quad (3.13)$$

3) отношение износа тел 1 и 2:

$$\frac{u_{w1}}{u_{w2}} = \frac{k_{w1} \sigma^{m1}}{k_{w2} \sigma^{m2}} \frac{s_1}{s_2}, \quad (3.14)$$

или

$$\frac{u_{w1}}{u_{w2}} = c \frac{s_1}{s_2}, \quad (3.15)$$

где $c = \frac{k_{w1} \sigma^{m1}}{k_{w2} \sigma^{m2}}$;

4) учитывая, что $K_{\text{эз}} = \frac{s_2}{s_1}$ из (3.15) имеем:

$$5) \quad \frac{u_{w1}}{u_{w2}} = \frac{c}{K_{\text{эз}}}. \quad (3.16)$$

Таким образом, отношение износа первого и второго тел обратно пропорционально коэффициенту взаимного перекрытия.

3.3. $K_{\text{эз}}$, путь трения, скорость скольжения и продолжительность контакта

3.3.1. Скорости скольжения и $K_{\text{эз}}$

1) полученные ранее соотношения в связи тепловых потоков и износа с путем трения и $K_{\text{эз}}$ легко представить как выражения этих процессов через скорости проскальзывания

2) коэффициент взаимного перекрытия в скоростях скольжения имеет вид

$$K_{\text{эз}} = \frac{s_1}{s_2}, \quad K'_{\text{эз}} = \frac{ds_1/dt}{ds_2/dt} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (3.17)$$

где v_1 , v_2 – скорости скольжения для тела 1 и тела 2.

3) с учетом (3.17) можно представить выражение для отношения износов (3.16).

3.3.2. Продолжительность контакта t_k

1) если известны скорости скольжения для 1 и 2 тела:

$$v_1 = ds_1 / dt, \quad v_2 = ds_2 / dt, \quad (3.18)$$

то продолжительность контакта t_k из (3.18) определяется выражением:

$$dt_{k1} = \frac{v_1}{ds_1}, \quad dt_{k2} = \frac{v_2}{ds_2}; \quad (3.19)$$

2) например при $v_1 = 50$ мм/с, $s_1 = 100$ мм, то $dt_{1k} = \frac{500 \text{ мм}}{50 \text{ мм/с}} = 10$ с;3) если площадка контакта $s_2 = 2a = 0,2$ мм, $v_2 = 10$ мм/с, то $\Delta t_{2k} = \frac{0,2 \text{ мм}}{10 \text{ мм/с}} = 2 \cdot 10^{-2}$ с;

4) необходимость в определении продолжительности контакта возникает в частности, при рассмотрении релаксационных процессов в контакте.

4. Путь трения и $K_{\text{вз}}$ в прямых и обратных парах трения

4.1. Определения

1) прямой парой трения будем называть сопряжение, в котором подвижное тело 1 имеет площадь трения A_1 существенно больше, чем площадь трения неподвижного тела A_2 : $A_1 \gg A_2$ в прямой паре $s_2 \gg s_1$;2) обратной парой трения будем называть сопряжение, в котором соответственно в подвижном теле 1 $A_1 \ll A_2$, $s_2 \gg s_1$;

3) коэффициент взаимного перекрытия в прямой паре трения:

$$K_{\text{вз}}^{\text{np}} = \frac{s_1}{s_2} \frac{A_1}{A_2} < 1, \quad (4.1)$$

в обратной паре трения:

$$K_{\text{вз}}^{\text{обп}} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{s_1}{s_2} > 1. \quad (4.2)$$

Таблица

Схема и характеристика ППТ прямых пар трения, ОПТ обратных пар трения

Схема	A_1, A_2	s_1, s_2	$K_{\text{вз}}$
ППТ	$A_1 = 2\pi R_2 B,$ $A_2 = 2R_1 \phi_0 B$	$s_1 = 2R_1,$ $s_2 = 2\pi R_2$	$K_{\text{вз}}^{\text{np}} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{R_2 \pi}{R_1 \phi_0},$ $K_{\text{вз}} = \frac{s_2}{s_1} > 1$
ОПТ	$A_1 = 2R_1 \phi_0 B,$ $A_2 = 2\pi R_2 B$	$s_1 = 2\pi R_1,$ $s_2 = 2\pi R_2$	$K_{\text{вз}} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{R_1 \phi_0}{R_2 \pi},$ $K_{\text{вз}}^{\text{np}} = \frac{x}{2a} > 1$
ППТ	$A_1 = xB,$ $A_2 = 2aB$	$s_1 = x, s_2 = 2a$	$K_{\text{вз}}^{\text{np}} = \frac{x}{2a} > 1,$
ОПТ	$A_1 = aB,$ $A_2 = xB$	$s_1 = x, s_2 = 2a$	$K_{\text{вз}}^{\text{обп}} = \frac{2a}{x} < 1,$
ППТ	-	$s_1 = x, s_2 = 2a$	-
ОПТ	-	$s_1 = x, s_2 = 2a$	-

4.2. Коэффициент кинематической реверсивности пары трения

4.1.1. Введение термина и понятия

- 1) из предыдущего рассмотрения очевидна качественная общность понятия коэффициента взаимного перекрытия и понятий прямая и обратная пары трения;
- 2) поставим задачу установить количественную связь между этими понятиями;
- 3) в таблице 2 приведены примеры расчетных схем и определения площадей A_1 , A_2 и путей s_1 , s_2 трения для прямых и обратных пар цилиндр-втулка и шар плоскость;
- 4) в таблице также приведены соотношения для прямых и обратных пар трения, определенные в соответствии с определениями;
- 5) из анализа приведенных соотношений следует, что для прямых пар трения $K_{\text{вз}}^{np} > 1$, а для обратных пар трения $K_{\text{вз}}^{np} < 1$;
- 6) для обоснованности выбора прямых или обратных пар трения необходимо анализировать пути трения в соответствующих парах.

Выводы

1. Путь трения скольжения – одна из пяти главных характеристик пары поверхностей трения и узлов трения машин, определяющих их износ: давление σ , путь трения s , скорость скольжения v , температура T °С, вид и характер смазки.

2. Дано определение пути трения s_1 , s_2 для случая трибосистемы двух $F1$, $F2$ контактирующих поверхностей для случая, когда одна из поверхностей (например $F1$) подвижна, другая $F2$ неподвижна.

2.1. Процедура определения и сущность величин s_1 , s_2 показаны: 1) на примере дискретного контакта микровыступов (1.2.1); 2) на примере контакта континуальных поверхностей (п. 1.2.2).

2.2. Главная особенность понятия пути трения состоит в том, что эти величины различны для двух поверхностей пары трения:

1) путь трения s_1 для контактных точек поверхности тела 1 равен пути трения, который проходят контактные точки тела 2 по контактным точкам поверхности тела 1;

2) и несимметрично путь трения s_2 для контактных точек поверхности тела 2 равен пути, который проходят контактные точки тела 1 по контактным точкам поверхности тела 2.

2.3. Приведены примеры практического определения путем трения для разных пар трения (п.3)

3. Показано, что эффекты разного износа пар трения в разными коэффициентами взаимного перекрытия $K_{\text{вз}}$ можно объяснить разными путями трения для контактирующих поверхностей.

4. Показано, что эффект влияния прямой либо обратной пары на износ также объясняется разной величиной пути трения в одном и другом случаях.

5. С целью установления связи пути трения с коэффициентом взаимного перекрытия $K_{\text{вз}}$ и коэффициентом прямой и обратной пары $K_{\text{вз}}$ и $K_{\text{вз}}^{np}$ приведена таблица 2.

6. Установлено, что в прямых парах трения $K_{\text{вз}}^{np} > 1$ и в обратных парах трения $K_{\text{вз}} < 1$.

Литература

1. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
2. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
3. Войтов В.А. Моделирование процессов трения и изнашивания в трибологических гидромашин как основа решения задач проектирования / дис. д.т.н. – Харьков: ХИЛ ВВСУ, 1997. – 322 с.
4. Кузьменко А.Г. Метод алгебраических уравнений в контактной механике. – Хмельницкий, ХНУ. – 2006. – 448 с.
5. Кузьменко А.Г. Развитие методов контактной трибомеханики. – Хмельницкий: ХНУ, 2010.
6. Кузьменко А.Г. Пластический контакт. Вариационно-экспериментальный метод. – Хмельницкий: ХНУ, 2009.
7. Чичинадзе А.В. Исследование температурных полей некоторых узлов сухого трения, диссертация, ИМАШ АН СССР, 1954.

Поступила в редакцию 22.02.2013

Kuzmenko A.G. Way of friction as a base concept and description at slipping of contacting surfaces.

Given determination of way of friction for the case of tribosystem of two contacting surfaces for a case, when one of surfaces is mobile, other is immobile. Procedure of determination and essence of sizes of way of friction is rotined on the example of discrete contact mikroburries and on the example of contact of continuous surfaces. The examples of practical determination are resulted by a friction for the different pair of friction. It is rotined that effects of different wear of pair of friction in it is possible to explain the different coefficients of the mutual ceiling by the different ways of friction for contacting surfaces. It is rotined that the effect of influence of direct or reverse pair on a wear is also explained different in size ways of friction in one and by a friend cases.

Keywords: way of friction, discrete contact, wear, pair of friction, ceiling coefficient.

References

- 1.. Kragel'skij I.V. Trenie i iznos, Mashinostroenie, 1968, 480 p.
2. Lykov A.V. Teorija teploprovodnosti, Vysshaja shkola, 1967, 600 p.
3. Vojtov V.A. Modelirovanie processov trenija i iznashivaniya v tribologicheskikh gidromashin kak osnova reshenija zadach proektirovaniya, Har'kov, HIL VVSU, 1997, 322 p.
4. Kuz'menko A.G. Metod algebraicheskikh uravnenij v kontaktnoj mehanike, Hmel'nickij, HNU, 2006, 448 p.
5. Kuz'menko A.G. Razvitie metodov kontaktnoj tribomehaniki, Hmel'nickij, HNU, 2010.
6. Kuz'menko A.G. Plasticheskij kontakt. Variacionno-jeksperimental'nyj metod, Hmel'nickij, HNU, 2009.
7. Chichinadze A.V. Issledovanie temperaturnyh polej nekotoryh uzlov suhogo trenija, dissertacija, IMASH AN SSSR, 1954.