

Лекція №23

11.2.3.4. Тертя в п'яті

На рис. 11.11 зображена кінематична пара, яка включає п'яту 1 і підп'ятник 2, навантажена осьовою силою F . В цьому випадку на поверхні п'яти

(рис. 11.11 б) виникає сила тертя вертіння, яка також підлягає закону Амонтона–Кулона.

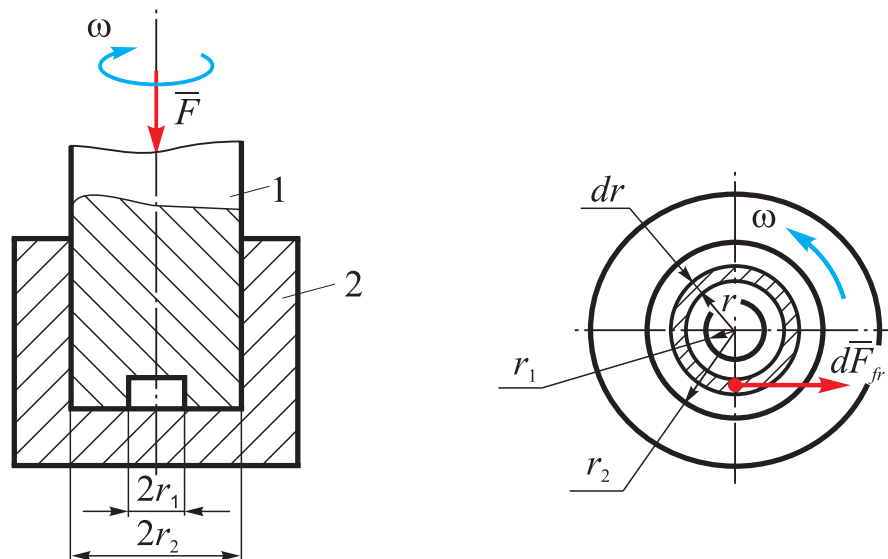


Рис. 11.11 П'ята з підп'ятником

Якщо вважати розподіл нормального тиску p по всій ширині кільця рівномірним, то можна записати:

$$p = \frac{F}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}. \quad (11.11)$$

Виділимо кільце товщиною dr . Момент, що створюється силою dF_{mp} на цій площадці, дорівнює

$$dM_{mp} = dF_{mp} \cdot r; \quad (11.12)$$

$$dF_{mp} = f dF_n = f \cdot p 2\pi r dr. \quad (11.13)$$

Отже

$$dM_{mp} = f 2 p \pi r^2 dr.$$

Інтегруючи, отримаємо

$$M_{mp} = \int_{r_1}^{r_2} 2\pi f p r^2 dr = \frac{2}{3} \pi f p (r_2^3 - r_1^3).$$

Або з урахуванням (11.11)

$$M_{mp} = \frac{2}{3} f F \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (11.14)$$

Якщо п'ята не кільцева, тобто $r_1 = 0$, то

$$M_{mp} = \frac{2}{3} F \cdot f \cdot r. \quad (11.15)$$

11.2.3.5. Тертя у гвинтовій парі

Розглянемо різьбу, представлену на рис.11.12.

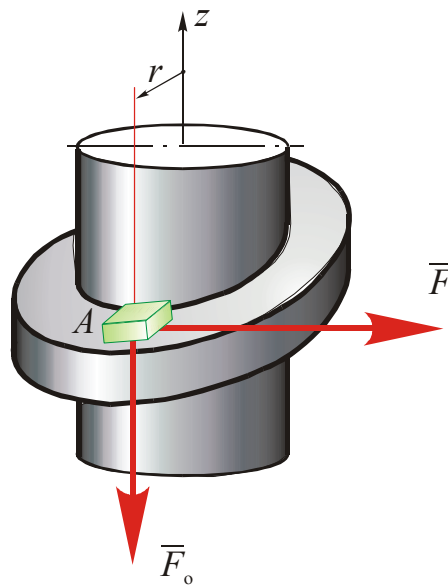


Рис. 11.12 Гвинтова пара

На гайку, представлену елементом A , діє деяка сила F_0 і момент в площині, перпендикулярній до осі z . Цей момент представлений силою F :

$$M = F \cdot r.$$

Щоб гайка була у рівновазі або в стані рівномірного руху вздовж різьби, має виконуватись умова рівноваги сил, що діють на гайку. Розглянемо розгортку різьби (рис. 11. 13 а).

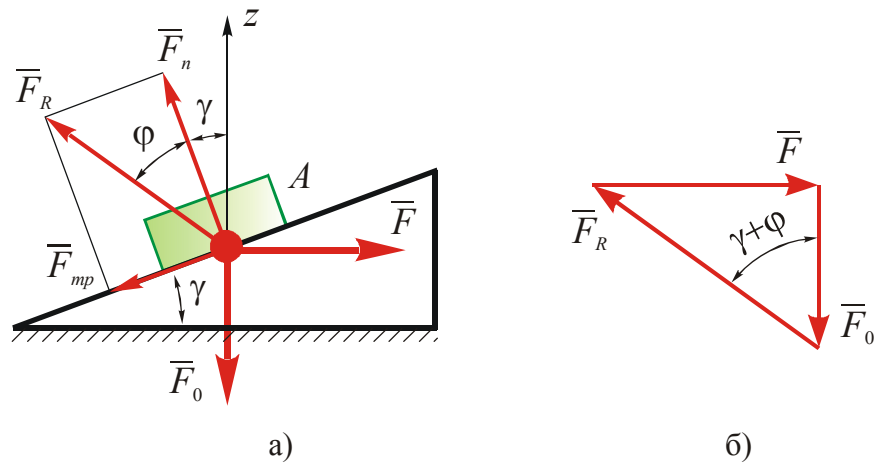


Рис. 11.13 Гвинтова пара: а – розгортка витка різьби; б – план сил

Умову рівноваги елемента A , навантаженого системою сил, що сходяться в одній точці, запишемо у вигляді:

$$\vec{F} + \vec{F}_0 + \vec{F}_R = 0 \quad (11.16)$$

Із плану сил (рис.11.13 б)

$$F = F_0 \operatorname{tg}(\phi + \gamma) \quad (11.17)$$

Тут γ – кут підйому гвинтової лінії.

Отже момент, прикладений до гайки

$$M = F_0 r \operatorname{tg}(\gamma + \phi). \quad (11.18)$$

Умова (11.17) отримана для випадку, коли гайка рухається проти напрямку сили F_0 (затяжка різьби або підйом вантажу домкратом).

Якщо гайка рухається у напрямку сили F_0 (рис. 11.14), отримаємо

$$F = F_0 \operatorname{tg}(\phi - \gamma). \quad (11.19)$$

Якщо $\gamma = \phi \Rightarrow F = 0$, тобто гайка рухається рівномірно під дією сили F_0 (моменту до гайки прикладати не потрібно).

Якщо $\gamma > \phi$ – маємо прискорений рух під дією F_0 .

Якщо $\gamma < \phi$ – маємо умову самогальмування. За цієї умови без дії моменту $M = F \cdot r$ рух гайки неможливий.

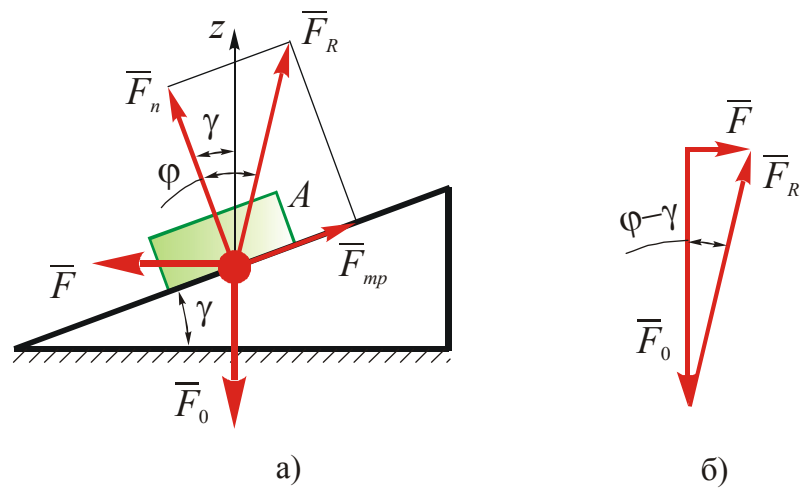


Рис. 11.13 Гвинтова пара: а – розгортка витка різьби; б – план сил

Прикладами означених вище випадків можуть слугувати дитяча гірка (рис. 11.15 а), сковзало для транспортування вантажу з поверху на поверх (рис. 7.15 б) і т.п.

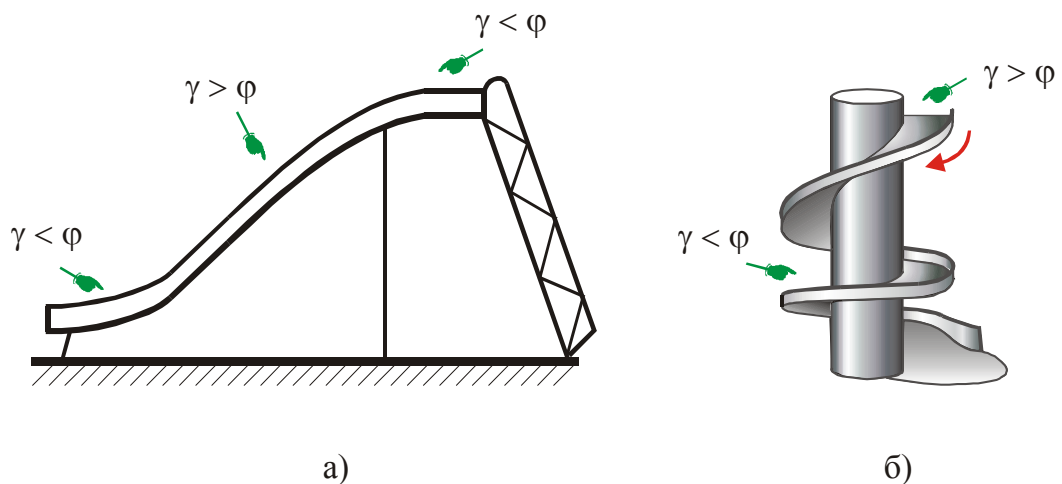


Рис. 11.15 Приклади використання на практиці умов самогальмування: а – дитяча гірка; б – сковзало

Визначимо силу тертя в різьбі. Згідно з рис. 11.13:

$$F_{mp} = F_R \sin \varphi. \quad (11.20)$$

Із плану сил

$$F_R = \frac{F}{\sin(\varphi + \gamma)}.$$

Тоді

$$F_{mp} = F \frac{\sin \varphi}{\sin(\varphi + \gamma)}. \quad (11.21)$$

Після тригонометричних перетворень:

$$F_{mp} = F \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \gamma + \operatorname{tg} \varphi \cos \gamma} = F \frac{f}{\sin \gamma + f \cos \gamma}. \quad (11.22)$$

Рівняння (11.22) можна використовувати для прямокутної різьби.

Цим же рівнянням можна скористатися для визначення сили тертя в трикутній різьбі, якщо замість коефіцієнта тертя f підставляти зведений коефіцієнт тертя f' для клинчастого повзуна з кутом $2(90 - \alpha/2)$ при вершині (рис. 11.16):

$$f' = \frac{f}{\sin\left(90 - \frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{f}{\cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (11.23)$$

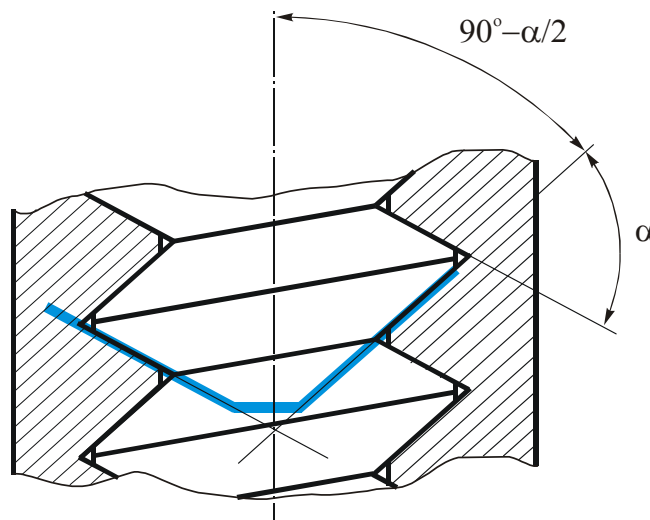


Рис. 11.12 Трикутна різьба

Тоді

$$F_{mp} = F \frac{f'}{\sin \gamma + f' \cos \gamma} \quad (11.24)$$

Тут зведений коефіцієнт тертя f' визначається за формулою (11.23).

11.2.3.5. Тертя в кінематичних парах з гнучкою ланкою

Цю задачу вперше розв'язав Л. Ейлер.

Розглянемо гнучке тіло – пас, перекинутий з натягом через шків (рис. 11.17). Щоб змістити пас відносно шківів, потрібно, щоб сили натягу в його гілках підлягали умові $F_2 > F_1$.

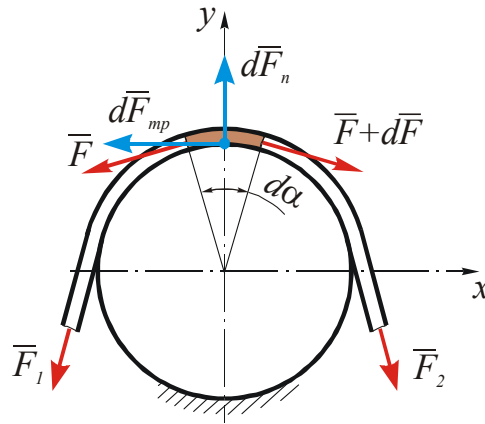


Рис. 11.12 Схема навантаження паса

Виділимо елемент паса в межах кута $d\alpha$. Умови його рівноваги в проекціях на осі:

$$\sum Y = dF_n - (F + F + dF) \sin \frac{d\alpha}{2} = 0;$$

$$\sum X = -dF_{mp} - F \cos \frac{d\alpha}{2} + (F + dF) \cos \frac{d\alpha}{2} = 0.$$

З першого рівняння можна записати:

$$dF_n \cong F d\alpha, \quad (11.25)$$

а з другого

$$dF_{mp} \cong dF. \quad (11.26)$$

Згідно з законом Амонтона-Кулона

$$dF_{mp} = f dF_n = f F d\alpha;$$

або

$$\frac{dF_{mp}}{F} = f d\alpha. \quad (11.27)$$

Враховуючи (11.26), інтегруємо вираз (11.27) у визначених межах:

$$\int_{F_1}^{F_2} \frac{dF}{F} = \int_0^\alpha f' d\alpha.$$

Отримаємо;

$$\ln\left(\frac{F_2}{F_1}\right) = f'\alpha, \text{ або } \frac{F_2}{F_1} = e^{f'\alpha}. \quad (11.28)$$

Рівняння (11.28) називається *рівнянням Ейлера для зусиль в пасах*.
Для повного кута обхвату α можна записати

$$F = F_2 - F_1 = F_{mp}.$$

Тоді сила тертя між пасом і шківом

$$F_{mp} = F_1(e^{f'\alpha} - 1). \quad (11.29)$$

Тема 11.3. РІДИННЕ ТЕРТЯ

Призначення змащення:

Види мастил:

Розглянемо основні характеристики різних типів мастил.

11.3.1. Тверде мастило

Тут розділення тіл, що труться, виконується з допомогою твердого мастильного матеріалу. Зазвичай це пилоподібний графіт. Особливих характеристик це мастило не має.

11.3.2. Рідке мастило

Це натуральні і синтетичні масла (оливи), вода.

Розглянемо основні характеристики рідких мастил:

а) *В'язкість динамічна* (вимірюється в *пуазах*) і *кінематична* (вимірюється в *градусах Енглера °E*).

В техніці частіше користуються кінематичною в'язкістю, яку визначають за швидкістю витікання мастила через калібрований отвір діаметром близько 2,8 мм. В'язкість залежить від температури: $^{\circ}E_{100}$ – кінематична в'язкість при 100°C ; $^{\circ}E_{50}$ – при 50°C і т.д.

Кінематичну в'язкість визначають за спеціальними таблицями.

б) *Липучість*.

Це здатність мастила змочувати поверхню, тобто утворювати адсорбційний шар на поверхнях тіл, що труться.

Мабуть кожному відомо, що вода змочує поверхню гірше, ніж олива, а ртуть – набагато гірше, ніж вода (рис. 11.18).



Рис. 7.18 Приклади змочування поверхні рідиною

в) *Температура спалаху парів мастила*.

За деякої температури над поверхнею мастила з'являється полум'я. Для машинних олив температура спалаху парів становить приблизно $250...300^{\circ}\text{C}$. Є синтетичні мастила з температурою спалаху парів більш ніж 600°C .

г) *Температура застигання*.

При зниженні температури в'язкість мастила збільшується і при деякій критичній температурі воно втрачає свої властивості – застигає. Автомобільний двигун перед запуском обов'язково прогрівають до певної температури, щоб мастило набуло потрібної в'язкості.

д) *Кислотостійкість*.

Є й інші специфічні властивості, про які можна прочитати у відповідній довідковій літературі.

11.3.3. Консистентне мастило

Його ще називають густим або пластичним. До даного типу мастил відноситься солідол жировий та синтетичний, ЦИАТИМ різних марок, ЛИТОЛ. До речі, одним з найкращих консистентних мастил є звичайний смалець.

Розглянемо основні характеристики консистентних мастил.

а) *Пенетрація*, що з англійської мови перекладається як *проникнення*.

На горизонтальну поверхню наносять шар мастила і кладуть на нього калібрований конус (рис. 11.19). За глибиною його проникнення в мастильний шар судять про в'язкість мастила.

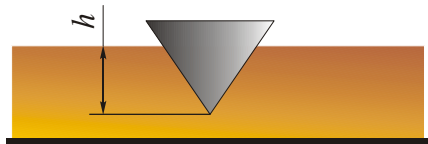


Рис. 7.19 Схема випробувань



Рис. 7.20 Схема випробувань

б) *Температура краплепадиння*.

На паличку беруть невелику кількість мастила (рис. 7.20) і нагрівають. Температура, за якої впала крапля, і є температурою краплепадиння.

в) *Водостійкість*.

Мастило має бути нерозчинним у воді.

7.3.4. Газове мастило

Функцію мастила тут виконує газ: повітря, азот, інертні гази. Такий вид змащення широко застосовують в кінематичних парах точних приладів.

7.3.5. Граничне мастило

Якщо товщина мастильного шару менша 0,0001 мм, то властивості мастила вже відрізняються від об'ємних. Тому тертя і знос таких тіл визначається властивостями контактних поверхонь і властивостями мастильного шару, відмінними від об'ємних.

На рис. 11.21 зображений розріз зони контакту двох тіл з надтонким введеним мастильним шаром.

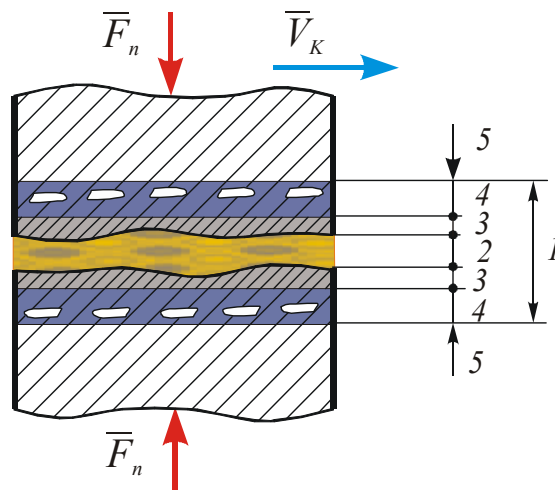


Рис. 11.21 Структура третього тіла

Проміжний шар 1 називається *третім тілом* між основними матеріалами фрикційної пари. Він складається з адсорбційного шару мастила 2, плівки оксидів 3, дефектного шару основного матеріалу 4.

Розрізняють також:

а) *гідростатичне* та *газостатичне* змащення, коли рідина або газ підводиться під зовнішнім тиском;

б) *гідродинамічне* та *газодинамічне* змащення, коли розділення тіл, що утворюють фрикційну пару, здійснюється за рахунок тиску, який самогенерується в шарі мастила при відносному русі цих тіл

в) *еластогідродинамічне* змащення, коли характеристики тертя і товщина мастильного шару між поверхнями контактних тіл визначаються пружними властивостями, повзучістю, релаксацією матеріалу.