

Лекція №15

в) Механізм з плоским тарілчастим штовхачем.

Головною умовою при виборі мінімального радіуса кулачка для такого механізму є *забезпечення випуклості його контуру*, оскільки між штовхачем і кулачком має бути тільки одна точка контакту.

Покажемо, як на практиці можна реалізувати цю умову.

Для механізму, зображеного на рис. 11.19 а, побудуємо план прискорень (рис. 11.19 б). З цією метою скористаємось схемою заміняючого механізму, зображеного пунктиром.

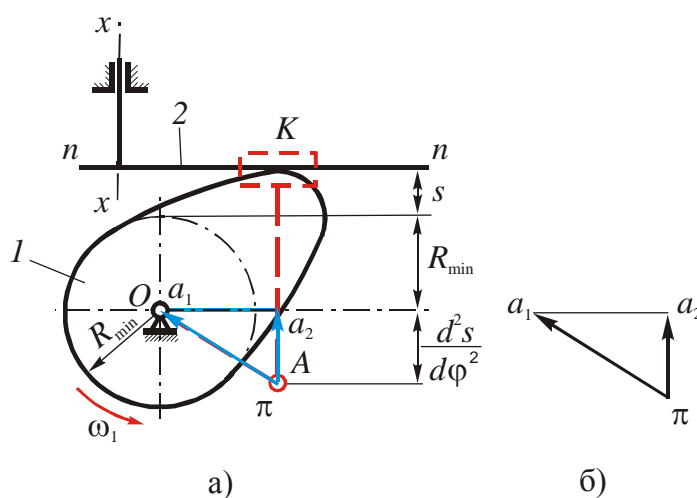


Рис. 11.19

Сумістимо полюс плану прискорень π з точкою A заміняючого механізму, а точку a_1 – з точкою O . Масштабний коефіцієнт плану прискорень, суміщеного зі схемою механізму,

$$\mu_a = \frac{a_{A_1}}{\pi a_1} = \frac{\omega_1^2 l_{OA} \cdot \mu_l}{l_{OA}}$$

Отже

$$\mu_a = \omega_1^2 \mu_l. \quad (11.9)$$

Тоді

$$\pi a_2 = \frac{a_{A_2}}{\mu_a} = \frac{a_{A_2}}{\omega_1^2 \mu_l}$$

Враховуючи, що, за умови рівномірного руху кулачка ($\varepsilon_1 = 0$),

$$a_{A_2} = \frac{d^2 S}{dt^2} = \frac{d^2 S}{d\varphi^2} \omega^2,$$

запишемо:

$$\pi a_2 = \frac{d^2 S}{d\varphi^2} \frac{1}{\mu_l}. \quad (11.10)$$

Тобто план прискорень, суміщений зі схемою механізмом (рис. 11.19), можна розглядати як план аналогів прискорень, побудований у тому ж масштабі, що і кінематична схема механізму. Тоді всі відрізки плану аналогів прискорень механізму можна скласти з будь-якими відрізками його кінематичної схеми.

Умовою випуклості профілю в точці дотику є умова

$$AK > 0.$$

Згідно з рис. 11.19 цю умову можна записати як

$$R_{\min} + S + \frac{d^2 S}{d\varphi^2} > 0.$$

Або

$$R_{\min} > -\left(S + \frac{d^2 S}{d\varphi^2}\right). \quad (11.11)$$

Методика графічного визначення мінімального радіуса кулачка R_{\min} , запропонована *Геронімусом*, передбачає таку послідовність дій.

1. За заданими діаграмами руху штовхача $S - \varphi$ та $\frac{d^2 S}{d\varphi^2} - \varphi$ будують діаграму в координатах $S - \frac{d^2 S}{d\varphi^2}$ (рис. 11.20). При цьому масштабні коефіцієнти $\mu_s = \mu \frac{d^2 S}{d\varphi^2}$.

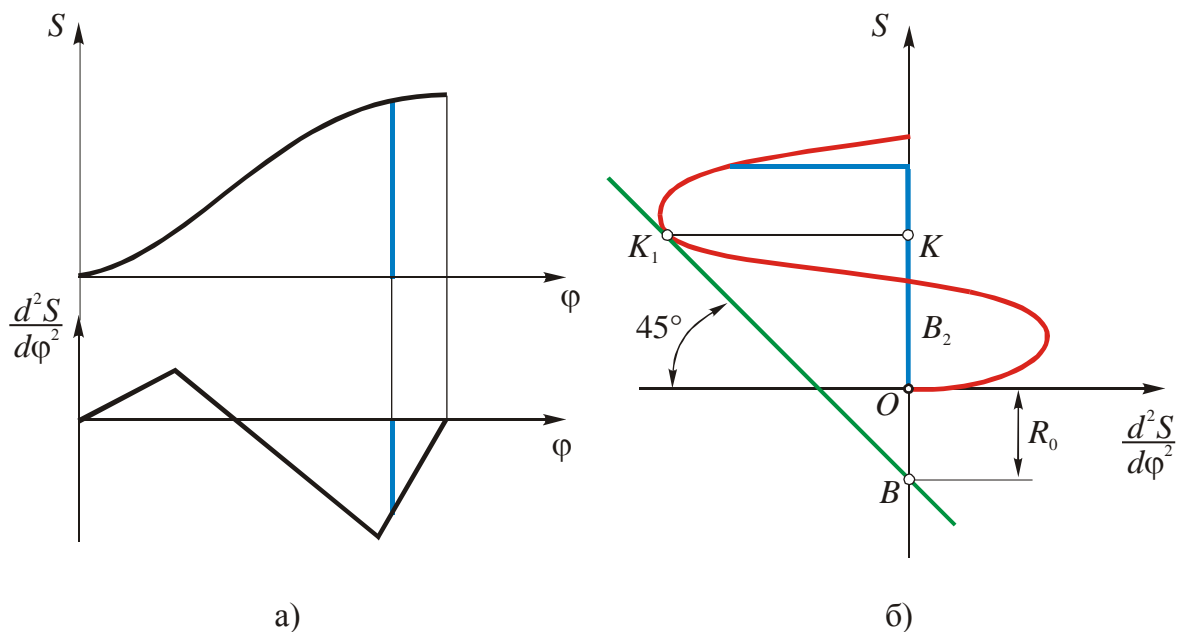


Рис. 11.20

2. Із формули (11.11) виходить, що

$$\frac{-\frac{d^2S}{d\varphi^2}}{R_{\min} + S} < 1. \quad (11.12)$$

Це повністю відповідає побудові, зображеній на рис. 11.20: з боку від'ємних значень аналога прискорень штовхача $\frac{d^2S}{d\varphi^2}$ проводять дотичну до діаграми під кутом 45° .

За умови $R_{\min} = R_0$

$$R_{\min} + S + \frac{d^2S}{d\varphi^2} = 0, \quad (11.13)$$

а це неприпустимо з точки зору контактної міцності, адже за умови (11.13) маємо нульовий радіус кривини профілю кулачка в точці контакту зі штовхачем. Тобто маємо злам поверхні профілю кулачка. Тому завжди має виконуватись умова

$$R_{\min} > R_0. \quad (11.14)$$

3. Якщо в результаті проведених побудов точка перетину дотичної з віссю S лежатиме вище точки O , це відповідатиме умові $R_0 < 0$, що не має сенсу. У цьому випадку приймають

$$|R_{\min}| \approx \mu \frac{d^2S}{d\varphi^2} \cdot KK_1 \quad \left(R_{\min} \approx -\frac{d^2S}{d\varphi^2} \right).$$

11.6.2. Кінематичний синтез кулачкового механізму

Кінематичний синтез проводять різними методами – аналітичними та графічними. Вище ми розглянули графічні методи кінематичного аналізу деяких кулачкових механізмів. Слід зазначити, що синтез графічними методами проводиться в порядку, оберненому до аналізу [1, 6].

Тому в цьому пункті ми детальніше ознайомимось з аналітичними методами синтезу різних кулачкових механізмів.

Як і у випадку кінематичного аналізу, при кінематичному синтезі застосовують принцип оберненості руху.

а) Механізм з поступально рухомим штовхачем.

Розглянемо нерухому систему осей xOy , жорстко пов'язану зі стояком, початок якої суміщений з центром обертання кулачка (рис. 11.21). За початкове виберемо таке положення системи, коли вісь y проходить через точку A_0 початку підйому профілю кулачка.

Згідно з принципом оберненості руху, поворот кулачка на кут φ_i адекватний повороту стояка зі штовхачем відносно нерухомого кулачка на такий-самий кут в протилежному напрямку (див. рис. 11.21). Тут $S_2(\varphi_1)$ – переміщення штовхача у відповідності із заданою функцією положення.

Радіус-вектор точки A_i :

$$\vec{r}_i = \vec{OA}_i = \vec{OC} + \vec{CA}_i. \quad (11.15)$$

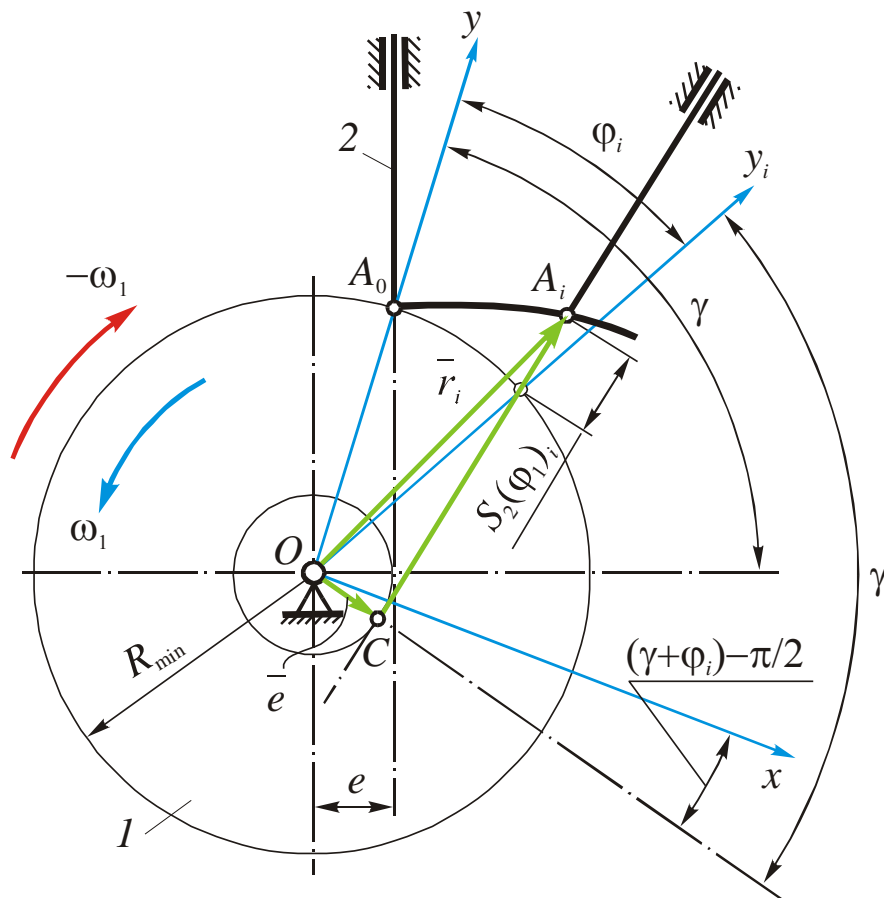


Рис. 11.21

Позначимо $\vec{OC} = \vec{e}$; $\vec{CA}_i = S_2(\varphi_1) + \sqrt{R_{\min}^2 - e^2}$.

Тобто

$$\vec{r}_i = \vec{e} + S_2(\varphi_1) + \sqrt{R_{\min}^2 - e^2}. \quad (11.16)$$

Тоді координати цієї точки:

$$\begin{cases} x_A = e \cos\left(\left(\gamma + \varphi_i\right) - \frac{\pi}{2}\right) + \left[\sqrt{R_{\min}^2 - e^2} + S_2(\varphi_1)_i\right] \cdot \sin\left(\left(\gamma + \varphi_i\right) - \frac{\pi}{2}\right); \\ y_A = e \sin\left(\left(\gamma + \varphi_i\right) - \frac{\pi}{2}\right) + \left[\sqrt{R_{\min}^2 - e^2} + S_2(\varphi_1)_i\right] \cdot \cos\left(\left(\gamma + \varphi_i\right) - \frac{\pi}{2}\right). \end{cases} \quad (11.17)$$

б) Механізм з обертальним штовхачем.

Для механізму з обертальним штовхачем поворот кулачка на кут φ_i рівнозначний повороту на такий-самий кут прямої OO_1 (рис.11.22). При цьому точка O_1 переміститься в точку O_1^* .

Можна записати:

$$\overrightarrow{OA} = \overrightarrow{OO_1} + \overrightarrow{O_1^*A}.$$

Тут $|\overrightarrow{OO_1}| = l$; $|\overrightarrow{O_1^*A}| = r_2$.

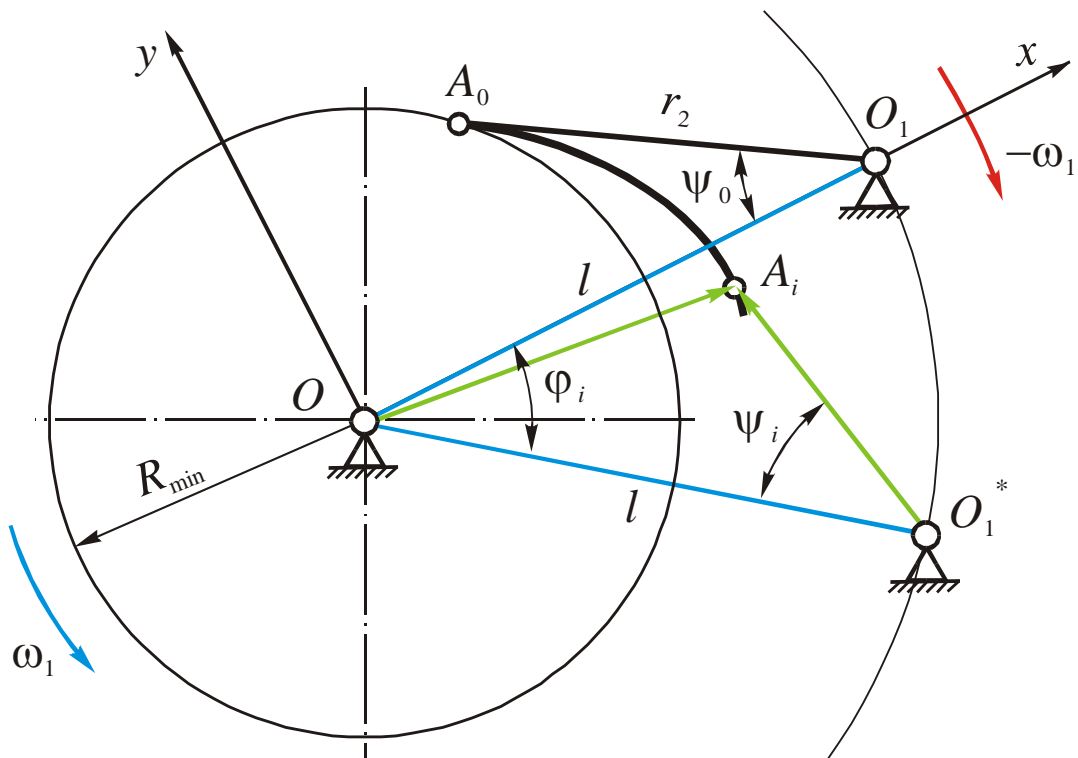


Рис. 11.22

В проєкціях на координатні осі матимемо:

$$\begin{cases} x_A = l \cos \varphi_i - r_2 \cos(\varphi_i + \psi_i); \\ y_A = -l \sin \varphi_i + r_2 \sin(\varphi_i + \psi_i). \end{cases} \quad (11.18)$$

в) Механізм з плоским тарілчастим штовхачем (рис. 11.23).

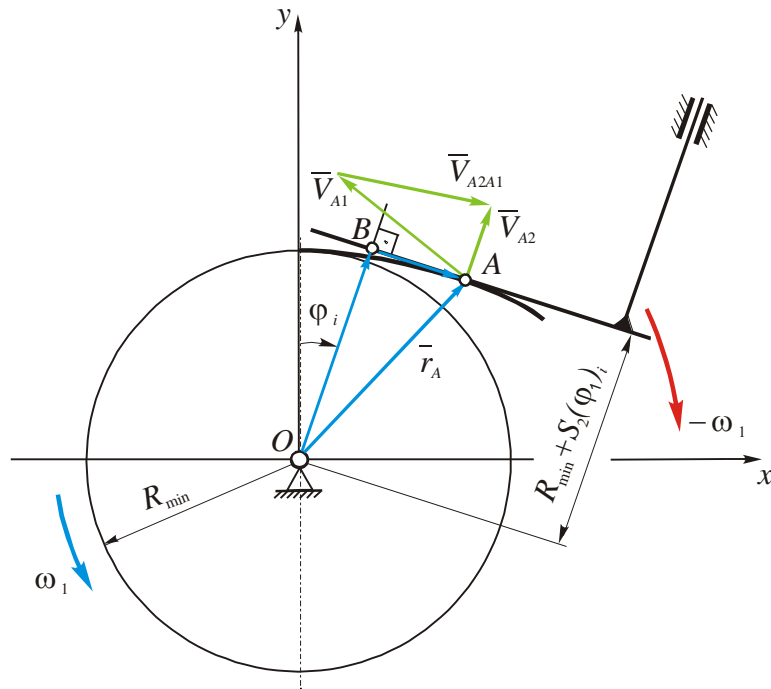


Рис. 11.23

Згідно з рис. 11.23 радіус-вектор точки A можна виразити як:

$$\vec{r}_A = \vec{OA} = \vec{OB} + \vec{BA}$$

Тут $|\vec{OB}| = R_{\min} + S_2(\varphi_1)_i$.

Трикутник OBA подібний до трикутника швидкостей $\vec{V}_{A_2} = \vec{V}_{A_1} + \vec{V}_{A_2A_1}$.
Звідси:

$$\frac{V_{A_1}}{V_{A_2}} = \frac{OA}{AB}$$

$$AB = OA \frac{V_{A_2}}{V_{A_1}} = r_A \frac{\frac{dS_2}{d\varphi_1} \omega_1}{\omega_1 r_A} = \frac{dS_2}{d\varphi_1}$$

Отже,

$$\vec{r}_A = \left[R_{\min} + S_2(\varphi_1) \right] + \left(\frac{dS_2}{d\varphi_1} \right) \quad (11.19)$$

Координати точки дотику профілю кулачка з площиною тарілки штовхача при заданому значенні кута φ_i :

$$\begin{cases} x_A = \left[R_{\min} + S_2(\varphi_1) \right] \sin \varphi_1 + \left(\frac{dS_2}{d\varphi_1} \right) \cos \varphi_1; \\ y_A = \left[R_{\min} + S_2(\varphi_1) \right] \cos \varphi_1 - \left(\frac{dS_2}{d\varphi_1} \right) \sin \varphi_1. \end{cases} \quad (11.20)$$

11.6.3. Синтез механізму з циліндричним кулачком.

Як приклад розглянемо синтез кулачка механізму з поступально рухомим штовхачем (рис. 11.24).

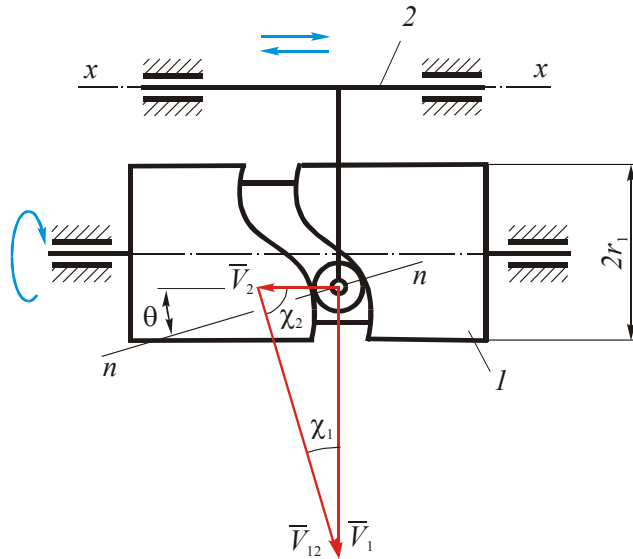


Рис. 11.24

Динамічний синтез такого механізму зводиться до вибору мінімального радіуса циліндра кулачка. Його величина визначається з умови незаклинювання механізму, тобто дотриманням умови $\theta \leq [\theta]$.

Кут тиску θ є кутом між вектором швидкості \vec{V}_2 і нормаллю $n-n$ (рис. 11.24).

Розглянемо трикутник швидкостей, гострі кути в якому виразимо як

$$\chi_1 = \theta ; \quad \chi_2 = 90^\circ - \chi_1 .$$

За теоремою косинусів

$$\frac{V_1}{\sin \chi_2} = \frac{V_2}{\sin \chi_1} \quad \text{або} \quad \frac{\omega_1 r_1}{\cos \theta} = \frac{V_2}{\sin \theta} .$$

Звідси

$$r_1 = \frac{V_2 \cos \theta}{\omega_1 \cdot \sin \theta} = \frac{\frac{dS_2}{d\varphi_1} \cdot \omega_1}{\omega_1 \cdot \text{tg} \theta} ;$$

$$r_1 = \frac{dS_2}{d\varphi_1} \text{ctg} \theta . \quad (11.21)$$

Тут $\frac{dS_2}{d\varphi_1} = \frac{dS_2}{d\varphi_1}(\varphi_1)$ – передатна функція аналога прискорення штовхача.

Задавшись величиною $[\theta]$, обчислюють величину r_1 для ряду послідовних значень узагальненої координати φ_1 за цикл руху механізму і

будують графік функції $r_1 = r_1(\varphi_1)$. За побудованим графіком вибирають найбільше значення в якості мінімального радіуса циліндра кулачка.

Кінематичний синтез із застосуванням графічного методу профілювання кулачка виконують, користуючись розгорткою циліндра кулачка на площину (рис. 11.25).

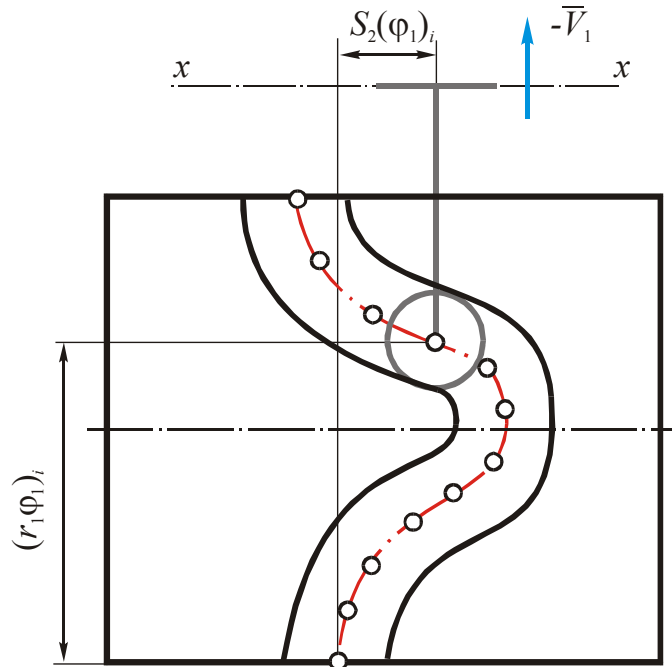


Рис. 11.25

Використовуючи метод оберненості руху, вважають розгортку нерухомою, а вісь руху штовхача $x-x$ такою, що рухається зі швидкістю $\vec{V}_{x-x} = -\vec{V}_1$ (тут $V_1 = \omega_1 r_1$). Переміщення штовхача, у відповідності до заданої функції положення, відкладають у напрямку осі $x-x$ (див. рис. 11.25).

Аналогічно профілюють і механізм з коромисловим штовхачем [2].

Розділ 11. ТЕРТЯ ТА ЗНОС В КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАХ

При роботі машин і механізмів відбувається розсіювання механічної енергії. Причиною такого розсіювання є тертя.

Вирізняють внутрішнє і зовнішнє тертя.

Внутрішнє тертя – це тертя між частками матеріалу при його деформації (рис. 11.1 а). Проявом цього виду тертя є наявність у матеріалу петлі пружного гістерезису (рис. 7.1 б). Чим ширша петля, тим вищими є демпфуючі властивості матеріалу, тобто його здатність гасити коливання (у реальних матеріалів вільні коливання затухають навіть у вакуумі).

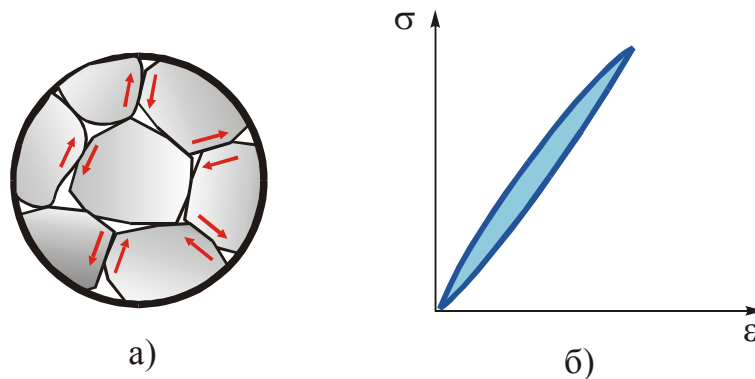


Рис. 11.1

В подальшому будемо розглядати тільки зовнішнє тертя.

Тема 11.1. ВИДИ ТЕРТЯ

Фізична природа тертя до кінця не вивчена. Існують різні школи, які трактують природу тертя з різних позицій, наприклад з точки зору фізики металів, електричної природи і т.д.

Розглянемо різні види тертя, не заглиблюючись у природу цього явища.

11.1.1. Класифікація тертя за кінематичною ознакою.

Розрізняють:

- тертя ковзання (рис. 11.2 а);
- тертя кочення (рис. 11.2 б);

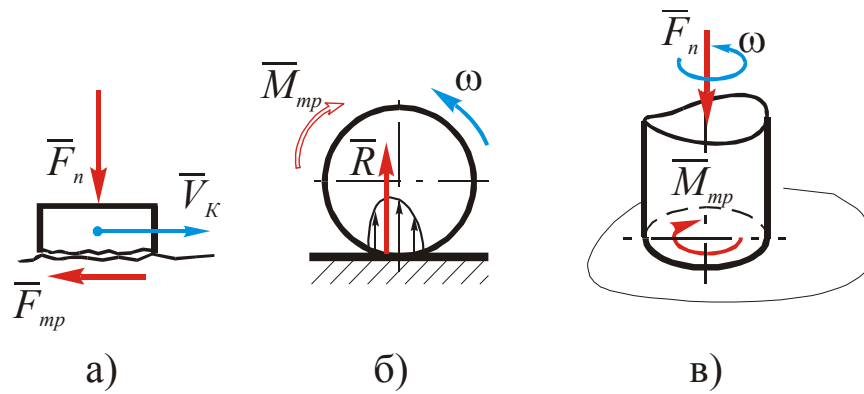


Рис. 11.2

- тертя вертіння (рис. 11.2 в);
- тертя кочення з проковзуванням (в зубчастому зачепленні, наприклад)
- тертя за вібропереміщень.

11.1.2. Класифікація тертя за станом поверхні.

Розрізняють:

- тертя без змащення – *сухе тертя*;
- тертя зі змащенням – *рідинне тертя*.

11.1.3. Тертя спокою і тертя руху.

Тертя спокою передує тертю руху.

Сила тертя спокою завжди більша від сили тертя руху.

Сила тертя спокою, будь-яке перевищення якої призводить до руху, називається найбільшою силою тертя спокою.

В техніці тертя спокою відіграє позитивну роль. Завдяки цьому виду тертя працюють механічні передачі, рухається по земній поверхні транспорт, та, власне, і ми з вами ходимо.

Тертя руху ж, як правило, шкідливе. Воно виникає при відносному зміщенні ланок, і з ним пов'язаний знос елементів кінематичних пар, непродуктивні витрати енергії і т.п.

Тема 11.2. СУХЕ ТЕРТЯ

Це тертя має місце за відсутності на поверхнях тертя введеного мастильного матеріалу.

11.2.1. Закон Амонтона-Кулона

Розглянемо сухе тертя в нижчій поступальній кінематичній парі, коли тіло взаємодіє з площиною (рис. 11.3). Тут F_n — сила нормального тиску, а F_{mp} — сила тертя.

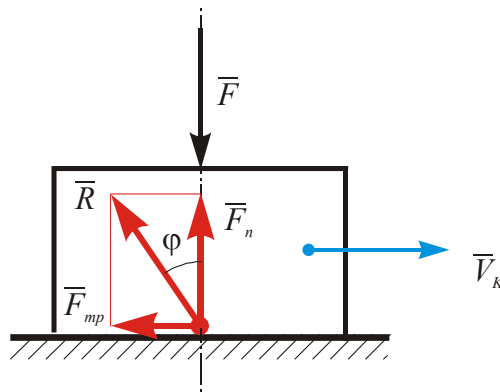


Рис. 11.3

$$F_{mp} = f \cdot F_n . \quad (11.1)$$

Тут f – коефіцієнт тертя.

Згідно з рис.11.3 можна записати:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_{mp}}{F_n} = f .$$

Тобто

$$f = \operatorname{tg} \varphi . \quad (11.2)$$

Тут кут φ називається *кутом тертя*.

Значення коефіцієнтів тертя і кутів тертя для різних пар матеріалів приводяться у довідковій літературі з деталей машин, фізики.

Розрізняють коефіцієнти тертя спокою f_{cn} і тертя руху f . Вони підлягають умові

$$f < f_{cn} \quad (11.3)$$

11.2.2. Фактори, що впливають на коефіцієнт тертя

Коефіцієнт тертя не є сталою величиною. На нього впливає цілий ряд конструктивно-технологічних та експлуатаційних факторів.

Зупинимось детальніше на останньому факторі.

Згідно з Кулоном коефіцієнт тертя не залежить від швидкості ковзання (рис. 11.4 а). При $F_n = Const$ і $F_{mp} = Const$.

На практиці сила сухого тертя залежить від швидкості ковзання (рис.11.4 б).

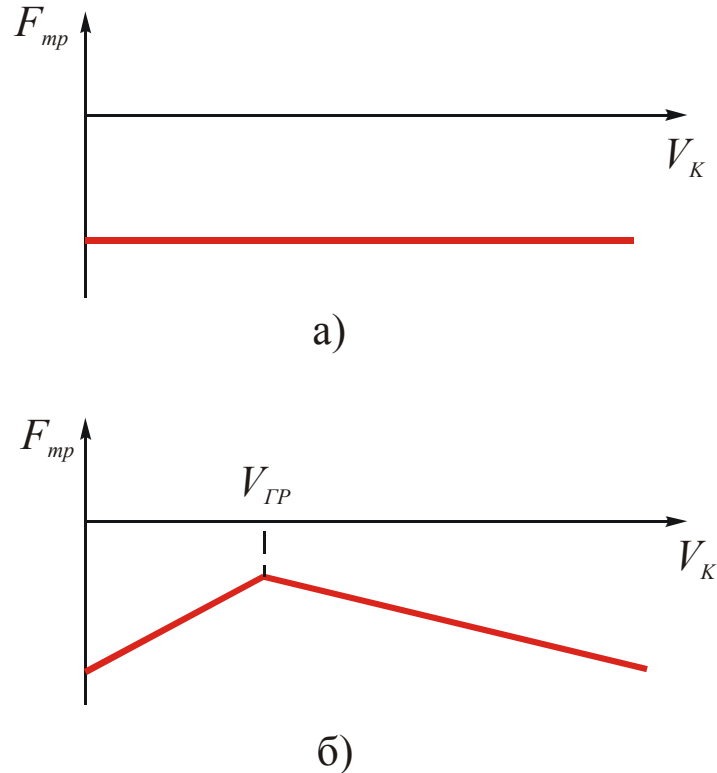


Рис. 11.4

Існує оптимальне значення V_{sp} (гранична швидкість), за якої сила тертя, а значить і коефіцієнт тертя, мінімальні. В зоні малих швидкостей ковзання спостерігається різке падіння сили тертя при збільшенні швидкості. За такої залежності сили тертя від швидкості ковзання при малих швидкостях переміщень спостерігається нестійкий (стрибкоподібний) рух. Таке явище є характерним для технологічного обладнання. Воно супроводжується нерівномірністю подачі, підвищеним зносом спрямовуючих та інструменту. В механізмах виникають додаткові динамічні навантаження, знижується точність роботи обладнання.

Для усунення цього явища заміняють сухе тертя рідинним зі спеціальним гідростатичним мастилом. Замість традиційних чавуну та бронзи для спрямовуючих та повзунів застосовують, де це можливо, фторопласт. Заміняють тертя ковзання, тертям кочення.