

DETERMINAREA EXPERIMENTALĂ A COEFICIENTULUI DE FRECARE LA ALUNECARE

Alexandru CLEFOS*, Nichita PASECINIC, Mihai AȘTIFENI, Iana SPIVAC

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Ingineria Software, Grupa FAF-192, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Clefos Alexandru, clefos.alexandru@isa.utm.md

Rezumat: *Lucrarea dată este dedicată descrierii unei metode experimentale pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare, prin utilizarea ecuației diferențiale a mișcării de rotație a unui disc. În acest scop, se presupune construirea unei instalații, formată dintr-un disc conectat la un element motor (motor electric), și un element de frânare ce va acționa asupra discului. Experimentul constă în măsurarea vitezei unghiulare a discului, timpului de oprire, și altor mărimi fizice. În rezultat, se propune o metodă eficientă pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare, cât și randamentului motorului electric.*

Cuvinte cheie: *forța de frecare, moment de inerție, cuplu de forțe, momentul forței.*

Introducere

Forța de frecare este componenta tangențială la suprafața de contact dintre două corpuri a forței de sprijin pe care unul din corpuri o exercită asupra celui de-al doilea. În timpul deplasării, forța de frecare are sens opus mișcării (acțiune de frânare).

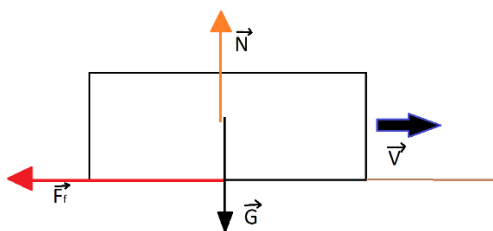


Figura 1. Direcția forței de frecare pentru un corp aflat în mișcare

Frecarea este forță care opune rezistență la mișcarea relativă a suprafețelor solide, a straturilor de fluid și a elementelor materiale care se alunecă între ele. Există mai multe tipuri de frecare: frecare uscată (două suprafețe solide în contact), frecare fluidă (între straturile fluidelor), frecarea lubrifiată, frecare internă.

Forța de frecare nu este ea însăși o forță fundamentală. Frecarea uscată apare dintr-o combinație de aderență între suprafețe, rugozitatea, deformarea și contaminarea suprafeței. Complexitatea acestor interacțiuni face ca legea simplă a lui Coulomb pentru calculul forței de frecare să nu destul de precisă, necesitând astfel utilizarea altor metode pentru analiza și dezvoltarea teoriei.

1. Coeficientul de frecare la alunecare

Forța, ce apare la contactul a două corpuri de natură solidă, în condițiile acțiunii forțelor exterioare, se numește *forță de frecare (statică sau de alunecare)*. Dacă la suprafața de contact a corpurilor nu sunt prezente straturi intermediare de lichide sau gaze, modulul acestei forțe poate fi calculat după legea lui Coulomb (numită în cinstea marelui savant Charles-Augustin de Coulomb)

$$F_f \leq k \cdot N, \quad (1)$$

unde F_f - forța de frecare exercitată de o suprafață asupra alteia, k - coeficientul de frecare, N - forța normală exercitată de fiecare suprafață asupra celeilalte, direcționată perpendicular pe suprafață. Forța de frecare F_f poate lua valori de la 0 până valoarea maximă $k \cdot N$, este întotdeauna exercitată în direcția opusă deplasării sau în sens opus forței exterioare rezultante ce acționează asupra corpului dat. Prin urmare, în cazul static, forța de frecare asigură echilibrul corpurilor. Astfel, aproximarea lui Coulomb asigură valoarea pragului pentru această forță, după care mișcarea începe.

Coeficientul de frecare, notat prin litera grecească μ sau k , este o mărime scalară a cărei relație de calcul poate fi reprezentată prin raportul dintre forța de frecare dintre două corpuri și forța normală. Acesta depinde de natura corpurilor ce interacționează.

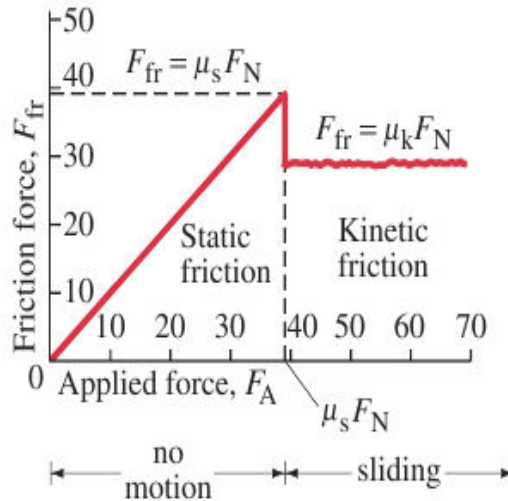


Figura 2. Graficul dependenței forței de frecare, ce apare ca răspuns la forța exterioară aplicată corpului [1]

Prima regiune a graficului reprezintă cazul static, când forța de frecare este reprezentată prin coeficientul de frecare statică. Valoarea acestui coeficient este determinată de rugozitatea suprafețelor de contact și deformarea materialului. Fragilitatea suprafețelor este un alt parametru ce descrie comportamentul scalar a asperității suprafețelor și joacă un rol important în determinarea mărimii frecării statice. A doua regiune din figura 1 descrie comportamentul forței de frecare de alunecare. În acest caz:

$$\mu = \mu_k \quad (2)$$

unde μ_k este coeficientul cinetic de frecare. Frecarea cinetică (sau frecarea de alunecare) are loc când două obiecte se mișcă relativ unul în raport cu altul. Coeficientul de frecare cinetică μ_k este mai mic decât valoarea maximă pentru coeficientul de frecare statică pentru aceleași suprafețe de interacțiune [2].

Legea lui Coulomb pentru forța de frecare (1) este oarecum aproximativă, întrucât implică o serie de idealizări. În realitate, forța de frecare nu este o funcție liniară de forța de reacțiune normală a suprafeței. Un exemplu de limitare a legii lui Coulomb (1) este interacțiunea dintre suprafețe adezive sau care se deformează semnificativ sub acțiunea forței normale.

Într-un studiu din 2012, s-a raportat posibilitatea obținerii unui coeficient de frecare de alunecare negativ, ce implică mărirea forței de frecare odată cu micșorarea forței normale la suprafață. Studiul descrie forța de frecare apare la deplasarea „acului” microscopului atomic de forță pe suprafața unui monostrat de grafenă [3].

2. Descrierea instalației experimentale

Forța de frecare la alunecare aplicată pe un timp t poate fi ușor determinată având un disc mobil. Instalația constă dintr-un disc masiv conectat la un motor electric, un element de frânare (reprezentat prin segmentul OA) pe care pot fi aplicate diferite greutăți. Astfel, poate fi modificată forța de presiune normală a frânei asupra discului (N). Această forță este direct proporțională cu forța de frecare F , care se determină experimental:

$$F = k \cdot N \quad (3)$$

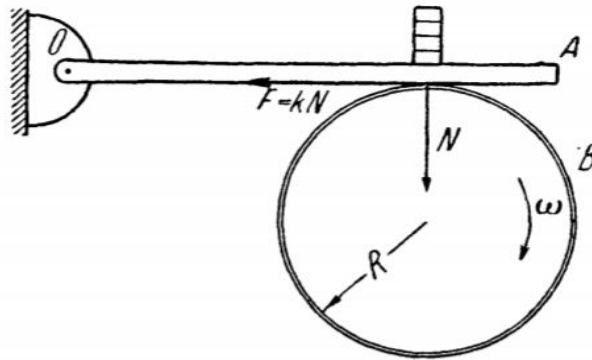


Figura 3. Schema instalației experimentale pentru determinare coeficientului de frecare [4]

Ecuția fundamentală a rotației rigidului face legătura dintre accelerația mișcării de rotație, momentul de inerție în raport cu axa de rotație, și momentul forțelor exterioare în raport cu această axă. În cazul instalației din figura 3, în prima aproximație poate fi considerată ca forța exterioară doar forța de frecare dintre disc și frână. Totuși, pentru calcule mai precise, este necesar de a ține cont și de forța de frecare în rulmenți. Respectiv ecuația mișcării de rotație a discului este:

$$J(d\omega/dt) = -(M + FR), \quad (4)$$

unde: J - Momentul de inerție, R - raza discului, ω - viteza unghiulară a discului, F - forța de frecare dintre disc și suport, M - momentul forței de frecare în axa cilindrilor și t - timpul. Considerând discul omogen, vom calcula momentul J după formula:

$$J = (mR^2)/2, \quad (5)$$

iar viteza unghiulară ω va fi exprimată prin perioada de rotație a discului, T :

$$\omega = 2\pi/T, \quad (6)$$

Perioada de rotație T poate fi determinată experimental. Pe disc se face o gaură mică prin care trece un fascicol laser conectat la un sensor, inițial discul va fi plasat în așa mod ca fascicolul să treacă prin gaură și timpul inițial va fi zero, la rotirea discului, fascicolul va fi întretăiat de suprafața discului și respectiv sensorul va da start cronometrului, când fascicolul iarăși va trece prin gaură inițială, cronometrul va salva timpul, respectiv perioada T .

Integrând ecuația (4) în limitele $0, \tau$ și $\omega_0, 0$, vom obține:

$$\omega_0 - \tau(M + FR)/J = 0, \quad (7)$$

unde ω_0 este viteza unghiulară inițială iar τ este timpul de oprire deplină a discului. Fără aplicarea suportului pe disc ($F = 0$), frânarea discului va fi determinată de frecarea în rulmenți și, în acest caz, timpul τ_0 de oprire totală a scripetelui (de la viteza inițială ω_0) este:

$$\tau_0 = J\omega_0/M. \quad (8)$$

Desigur, M poate fi interpretat în general ca momentul forțelor exterioare, altele decât forța de frecare cercetată. Calculul acestor forțe poate prezenta destule dificultăți, mai ales dacă considerăm că forța de rezistență a aerului depinde de mai mulți factori, inclusiv de viteza discului. Formula (8) permite de a determina direct acest moment M prin cronometrarea timpului de oprire a discului atunci când frâna este scoasă.

Revenind la (7), putem deduce expresia pentru forța de frecare dintre disc și frână:

$$F = (\tau_0/\tau - 1)(J\omega_0)/(R\tau_0) \quad (9)$$

Pentru micșorarea erorii, experimentul se repetă de mai multe ori, înregistrând de fiecare dată valorile măsurate. Suplimentar, vor fi efectuate o serie de măsurători pentru diferite greutăți pe frână, până la cea mai mica greutate de pe suport. Apoi măsurăm timpul τ_0 al opririi discului fără aplicarea suportului. De fiecare dată momentul de frânare a discului va începe cu aceeași viteza unghiulară ω_0 . Pentru diferite greutăți se va folosi formula (9) pentru determinarea forței de frecare dintre disc și suport. Datele obținute vor fi reprezentate în forma de grafic $F = f(N)$, N - axa X, F - axa Y. Datele obținute trebuie să formeze o linie dreaptă ce va trece prin originea sistemului de coordonate. Tangenta unghiului format de dreaptă cu axa Ox va reprezenta coeficientul de frecare la alunecare (k).

Concluzii

Efectuând experimentul descris anterior, vom putea obține coeficientul de frecare la alunecare pentru diferite suprafețe ale elementului de frânare. Există situații în care este nevoie ca să se micșoreze consumul energetic sau pentru a evita supraîncălzirea pieselor aflate în contact (de exemplu în cazul mișcării pistoanelor în cilindrii motoarelor cu ardere internă), în acest caz forțele de frecare trebuie diminuate, dar sunt și situații în care forțele de frecare trebuie să fie cât mai mari (de exemplu pentru a reduce distanța de frânare a autovehiculelor sau pentru evitarea derapajelor). Astfel, cercetarea forței de frecare, permite soluționarea unor probleme mecanice.

Referințe

1. DOUGLAS, G.C., *Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics*. Upper Saddle Valley: Pearson Prentice Hall, 2008.
2. Friction [online], [accesat 21.03.2020]. Disponibil: <https://en.wikipedia.org/wiki/Friction>.
3. DENG, Z. Adhesion-dependent negative friction coefficient on chemically modified graphite at the nanoscale. In: *Nature Materials*, 2012, 11(12), pp.1032-1037.
4. ИВЕРОНОВА В.И., Физический практикум. Механика и молекулярная физика, *Наука*, 2-е издание, 1967.