

FRECAREA ȘI ADERENȚA ROȚILOR VEHICULELOR FERROVIARE

THE FREWAGE AND THE FRICTION ADHESION OF RAILWAY VEHICLES

Claudiu-Nicolae BADEA¹, Gabriel POPA², Marin PREDA³,
Crina BADEA⁴, Melania DUMITRU⁵, George DUMITRU⁶

¹Universitatea „Politehnica” București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România.

e-mail autor: Claudiu-Nicolae BADEA, badeaclaudiun@gmail.com

^{2,4,5}Universitatea „Politehnica” București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România.

e-mail autor: Gabriel POPA: gabi21popa@yahoo.com, Crina BADEA,

casagalbenas@yahoo.com, Melania DUMITRU: melania76dumitru@gmail.com

^{3,6}Autoritatea Feroviară Română, Calea Griviței nr. 393, sectorul 1, București, România.

e-mail autor: <marinpreda54@aferr.ro>, George DUMITRU, george.dumitru.cfr@gmail.com,

Rezumat: În această lucrare, definițiile frecării și aderenței sunt prezentate, așa cum sunt înțelese de inginerii feroviar. Aici aderența are un înțeles diferit în comparație cu alte domenii ale ingineriei. În plus, ambiguitatea dintre coeficienții de aderență și tracțiune, care deseori se regăsesc în literatura feroviară, este de asemenea subliniată și clarificată.

Cuvinte cheie: frecare, contact roată - șină, aderență, tracțiune, alunecare.

Abstract: In this paper, the definitions of friction and adhesion are presented, as understood by railway engineers. Here, the adherence has a different meaning compared to other areas of engineering. In addition, the ambiguity between the coefficients of adhesion and traction, which are often found in the railway literature, is also underlined and clarified.

Keywords: friction, wheel-rail contact, adhesion, traction, slip.

1. INTRODUCERE

Aderența sau coeficientul de aderență este dată de raportul dintre forța longitudinală tangențială (adică frânarea sau tracțiunea) peste forța normală la contactul roată - șină. Forța tangențială pe care o roată frânată sau tracțiune poate exercita asupra unei șine este limitată de coeficientul de frecare disponibil între suprafețele care intră în contact pentru o sarcină normală dată [1]. În contactele cu oțeluri din oțel curate, coeficientul de frecare este cunoscut ca fiind mai mare decât cerințele de aderență pentru operațiile normale de tracțiune și frânare ale materialului rulant existent. Cu toate acestea, pot apărea cu ușurință contaminări, cum ar fi frunzele, grăsimile și apa, la contactul roată - șină reduc nivelul de frecare, ducând la probleme de aderență scăzute [2]. În ultimele decenii, căile ferate au fost afectate, în privința aderenței, în special în toamnă, datorită prezenței umidității și frunzelor căzute.

Atunci când are loc o aderență scăzută, întârzierile de trenuri pot constitui cea mai clară consecință pentru navetiștii care călătoresc pe calea ferată. Cu toate acestea, pot apărea multe alte efecte negative, cum ar fi deteriorarea roților și a șinelor, depășiri ale platformei stației și chiar coliziuni. Prin urmare, nu numai fiabilitatea, dar și siguranța și costurile transportului feroviar pot fi compromise.

2. FRECAREA

Frecarea este definită ca forța de rezistență tangentă la limita comună dintre două corpuri atunci când, sub acțiunea unei forțe exterioare, un corp se mișcă sau tinde să se miște relativ la suprafața celui alt corp [1].

Frecarea este reprezentată în mod normal de coeficientul de frecare f , care este definit ca raportul dintre forța de frecare F_f și forța normală F_N în contactul dintre cele două corpuri, așa cum se arată în relația (1):

$$f = \frac{F_f}{F_N} \quad (1)$$

În figura 1 se prezintă un corp solid dreptunghiular de masă m care se sprijină pe un plan orizontal. Dacă se aplică o forță F , paralelă cu planul și crescând în timp, la centrul de masă, așa cum este prezentat în figura 1, unde k este o constantă arbitrar pozitivă și t este timpul, va exista un moment t_1 în care corpul începe să alunece pe plan. Frecarea care se opune începerii mișcării este denumită frecare statică.

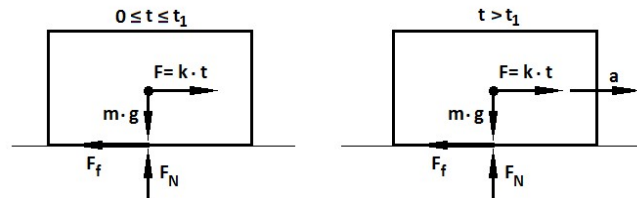


Fig. 1. Forțele aplicate pe un corp solid dreptunghiular pe un plan orizontal

Coeficientul de frecare statică f_s este dat în relația (2), unde g este accelerația datorată gravitației. Din acel moment, corpul culisează cu o accelerație a , iar forța care se opune mișcării de alunecare a corpului este denumită frecare cinetică (sau frecare dinamică). Coeficientul de frecare cinetic f_k la o t_2 instant este dat de relația (3), unde a_2 este accelerația corpului respectiv la momentul t_2 .

$$f_s = f(t = t_1) = \frac{k \cdot t_1}{m \cdot g} \quad (2)$$

$$f_k = f(t = t_2) = \frac{k \cdot t_2 - m \cdot a_2}{m \cdot g} \quad (3)$$

În majoritatea perechilor tribologice, frecare statică este mai mare decât frecarea cinetică, fiind diferența dependentă de materiale și condițiile de contact (relația 1). În cazul oțelului utilizat pentru roțile și șinele feroviare, investigațiile de laborator au arătat că coeficientul de frecare statică poate fi de până la aproape de două ori mai mare decât coeficientul de frecare cinetic (relația 2).

3. ADERENȚA

Să considerăm roata unei osii montate ca fiind un cilindru solid de masa m , iar șina ca un plan orizontal, așa cum se arată în figura 2. Conform teoriei lui Hertz (descrișă în relația 3), zona de contact formată între cilindru și plan are o formă dreptunghiulară de lățime egală cu lungimea cilindrului. Dacă se aplică un moment de tracțiune T în timp în centrul masei cilindrului în jurul axei sale de rotație, roata începe să se deplaseze cu o anumită viteză

unghiulară w și o viteză liniară v , (figura 2).

Aplicarea cuplului de tracțiune [3] determină o forță tangențială longitudinală reactivă la interfața de contact cu planul [4], cunoscut ca forța de tracțiune F_x (figura 2). Raportul dintre forța de tracțiune și sarcina normală de contact este numit în mod normal coeficientul de aderență sau aderență μ , așa cum este arătat în relația (4).

$$\mu = \frac{F_x}{F_N} \quad (4)$$

Datorită efortului de tracțiune, viteza circumferențială a cilindrului ca un corp rigid este mai mare decât viteza sa liniară, provocând așa numită alunecare relativă s . În general, alunecarea poate fi exprimată ca coeficientul dintre viteza relativă v_{rel} și viteza medie v_{med} a cilindrului de-a lungul planului, așa cum se arată în relația 5, unde r este raza cilindrului.

$$s = \frac{v_{rel}}{v_{med}} = \frac{w \cdot r - v}{0,5 \cdot (w \cdot r + v)} \quad (5)$$

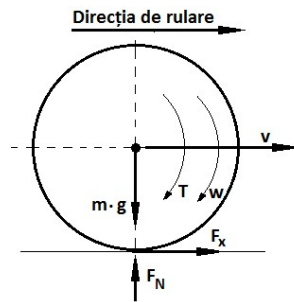


Fig. 2. Vedere schematică laterală a cilindrului pe plan orizontal (forțele aplicate pe cilindru)

Pe măsură ce forța de tracțiune crește [5], o parte din ce în ce mai mare din spatele punctelor de contact se transformă în alunecare. Suprafața de tracțiune q_x distribuită în punctul B crește în zona de lipire până ajunge în zona de alunecare, unde tracțiunea suprafeței este dată de produsul coeficientului de frecare f și presiunea de contact p (fig. 3).

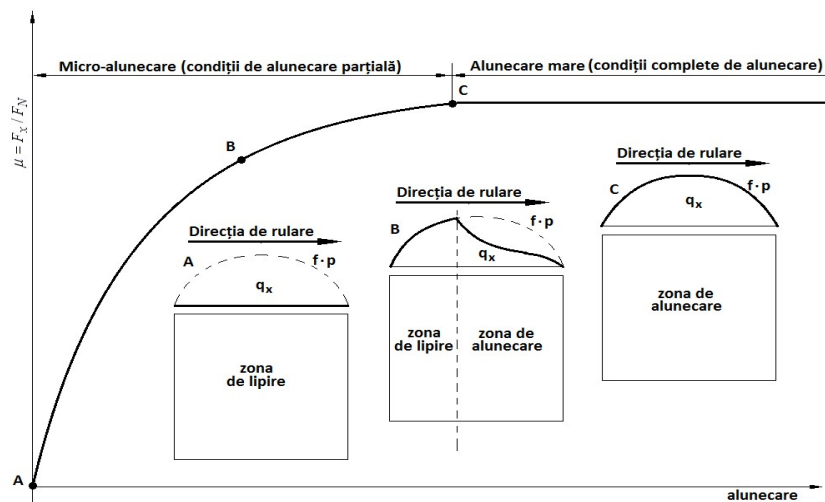


Fig. 3. Reprezentarea curbei teoretice de tracțiune a lui Carter

Pe măsură ce se atinge punctul C al curbei de tracțiune, întregul punct de contact devine în alunecare, iar coeficientul de aderență este egal cu coeficientul de frecare. De la punctul C , contactul se spune că se află în condiții de alunecare completă, iar alunecarea poate fi denumită macro-alunecare. Pe de altă parte, între punctele A și C contactul se află în condiții de alunecare parțială, iar alunecarea poate fi denumită micro-alunecare.

Deși explicația aderenței a fost dată tracțiunii, același lucru este valabil și pentru frânare. Diferența majoră constă în faptul că cuplul de frânare determină viteza circumferențială a cilindrului să fie mai mică decât viteza sa liniară și relația (5) cu modificări în relația (6). În plus, roata alunecă în condiții de alunecare completă în timpul frânării este denumită în mod obișnuit o alunecare a roții.

$$s = \frac{v_{rel}}{v_{med}} = \frac{v - w \cdot r}{0,5 \cdot (w \cdot r + v)} \quad (6)$$

În 1926, *Carter* a prezentat prima relație între forța de tracțiune și alunecare (relația 4). Reprezentarea acestei relații este cunoscută sub numele de curba de tracțiune. În figura 3 este descrisă curba teoretică de tracțiune a lui *Carter*, împreună cu zona de contact și distribuția de tracțiune de-a lungul acesteia (trasată cu linie îngroșată) pentru trei puncte reprezentative ale curbei de tracțiune, respectiv A , B și C . Punctul A reprezintă situația de tracțiune nulă, adică $\mu = 0$, care este cunoscută sub numele de condiție de rulare liberă, unde întregul punct de contact de contact este lipit.

În literatura de specialitate, se folosește termenul de coeficient de tracțiune în locul coeficientului de aderență, probabil datorită faptului că cercetările [6] sunt efectuate în cea mai mare parte în condiții de tracțiune, adică roți s care accelerează pe șine. În principiu, atât coeficientul de aderență, cât și coeficientul de tracțiune pot fi utilizate în egală măsură fără a pierde corectitudinea, dar poate părea ciudat pentru a descrie performanța de frânare a unui vehicul feroviar pe baza coeficientului de tracțiune. Din acest motiv, unii autori au folosit termenul de coeficient de aderență în cercetările lor de frânare. Pentru a evita confuzia, păstrând în același timp o definiție uniformă, termenul de coeficient de aderență este utilizat referindu-se atât la operațiile de tracțiune, cât și la cele de frânare.

CONCLUZII

Coeficientul de aderență este reprezentat de raportul dintre forța de frânare tangențială longitudinală și forța de tracțiune și forța normală din planul de contact roată - șină. Forța tangențială pe care o roată frânată o poate exercita asupra șinei este limitată de coeficientul de frecare disponibil între roată și șină la o forță normală dată. Coeficientul de frecare în contactele cu oțel cu oțel curat este de obicei mai mare decât este necesar pentru operațiile normale de frânare și de tracțiune ale materialului rulant. Poluarea cu frunze, grăsimi și apă poate totuși să apară cu ușurință în contactul roată - șină și să reducă nivelul de frecare, ca urmare a problemelor datorate lipsei aderenței. În ultimii ani, în țara noastră au apărut probleme datorită prezenței umidității și frunzelor și a altor poluări pe șine. Datorită lipsei aderenței pe șine, pot să apară întârzieri ale călătorilor și multe alte efecte negative, cum ar fi deteriorarea roților și a șinei, ignorarea semnalelor și chiar coliziuni. Prin urmare, din cauza problemelor de aderență, nu numai fiabilitatea, ci siguranța transportului feroviar este, de asemenea, pusă în pericol.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **ASM. Handbook**, Volume 18: „*Friction, Lubrication, and Wear Technology*”, ASM International (1992).
- [2] **I. Sebeșan**, „*Dinamica Vehiculelor Feroviare*”, Editura MatrixRom, București 2011.
- [3] **T. Ohyama**, „*Some Basic Studies on the Influence of Surface Contamination on Adhesion Force between Wheel and Rail at Higher Speeds*”, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute 30 (1989) 127-135.
- [4] **K.L. Johnson**, „*Contact Mechanics*”. Cambridge University Press, Cambridge (1985).
- [5] **F.W. Carter**, „*On the Action of a Locomotive Driving Wheel*”, Proceedings of the Royal Society of London A112 (1926) 151-157.
- [6] **A. Neacsă, D.B Stoica, N.N. Antonescu**, „*Behaviour of Sintered Carbide Pins Under Simulated Work Conditions*”, Experimental Study. In Journal of the Balkan Tribological Association Volume: 18 Issue: 4 Pages: 559-565 Published: 2012.