

SERBIATRIB`07
10th International Conference on Tribology
and
WORKSHOP`07
Sustainable Development in Industry by Apply Tribology Knowledge

TRENJE MIROVANJA – USLOV KRETANJA

Dr Miroslav Đurđanović, red. prof. Mašinski fakultet Niš, Srbija

Dr Dušan Stamenković, van.prof. Mašinski fakultet Niš, Srbija

Apstrakt:

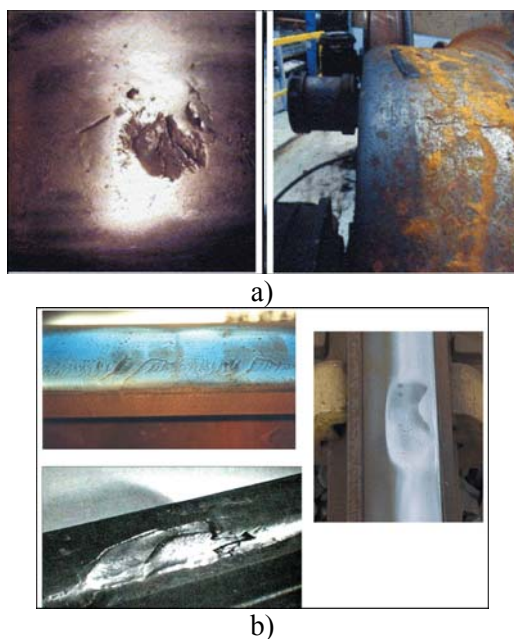
U radu se opisuje fizička suština pokretanja vozila, odnosno ostvarivanja pogonske sile kod železničkih vozila. Veličina sile statičkog trenja određuje stepen transformacije pogonskog obrtnog momenta na vratilu u translatorno kretanje vozila. Pojava i efekti statičkog trenja kod svih vrsta vozila, u stvari jesu uslov njihovog pokretanja i kretanja. Primenom modernih mikroprocesorskih elektronskih uređaja za protivkliznu zaštitu obezbeđuje se prenošenje izuzetno velike tangencijalne sile između točka i šine. Međutim, takvo stanje izaziva intenzivnije habanje i oštećenje površinskih slojeva šina, naročito na linijama vozova za velike brzine. Fizičko objašnjenje faktora koji utiču na procese između točka i šine omogućava da se ublaže problemi habanja i oštećenja točkova železničkih vozila i šina. U radu će biti prikazani uporedni podaci istraživanja statičkog trenja u uslovima klizanja prizmatičnih elemenata od čelika i istraživanja trenja u kontaktu točak-šina.

Ključne reči: *Trenje mirovanja, kretanje, točak-šina*

1. UVOD

Poznato je da proces trenja prati svaku vrsta kretanja tela. Trenje (u različitim formama) je nužan proces jer se jedino efektima frikcije mogu ostvariti pokretanje, kretanje, promena brzine ili zaustavljanje. U stvari, bez trenja realizacija bilo kakvog kretanja nije moguća i to je opšta zakonitost u prirodi. S druge strane, u toku samog kretanja kao posledica trenja javlja se otpor koji mora da se savlada da bi se kretanje nastavilo, zbog čega nastaju energetska gubitci. Osim gubitka energije, trenje je uvek praćeno i habanjem materijala kontaktnih površina, što produkuje dodatne troškove i smanjenje funkcionalnosti njegovih elemenata. Drugim rečima, u prirodi se kretanje može ostvariti samo i jedino pomoću efekata trenja, ali tokom kretanja trenje uvek uzrokuje gubitke različite vrste. Trenje je, dakle, takav proces u kome se istovremeno manifestuje njegovo i pozitivno i negativno dejstvo. Stoga je prirodno što postoji težnja da se njegovi negativni efekti eliminišu, ili barem minimiziraju, a da se

pozitivni povećaju. Na primer, u toku kretanja vozila nekada je potreban veliki koeficijent trenja, dok u drugim prilikama on treba da bude minimalan. Ravnoteža, ili izvestan skladan odnos, između ova dva oprečna zahteva može da se ostvari na različite načine. Na železničkim vozilima, za povećanje koeficijenta trenja ugrađuju se sistemi za protivkliznu zaštitu i sistemi za peskarenje, a za smanjenje trenja i habanja - sistemi za podmazivanje venaca točkova. Međutim, visoke vrednosti sile trenja prilikom ubrzavanja/usporavanja, a posebno pri naglom kočenju, izazivaju vrlo intenzivno habanje i velika oštećenja površinskih slojeva kontaktnih površina (slika 1). Radi adekvatnog rešavanja problema koji se pri tome javljaju, nameće se zaključak da se u oba slučaja odgovarajući cilj može postići ako se poznaje fizička suština procesa i faktori koji utiču na taj proces. Takvim pristupom može se delovati na tribološke parametre i, na odgovarajući način, upravljati trenjem i habanjem.



Slika 1. Oštećenje na točkovima (a) i na šinama (b)

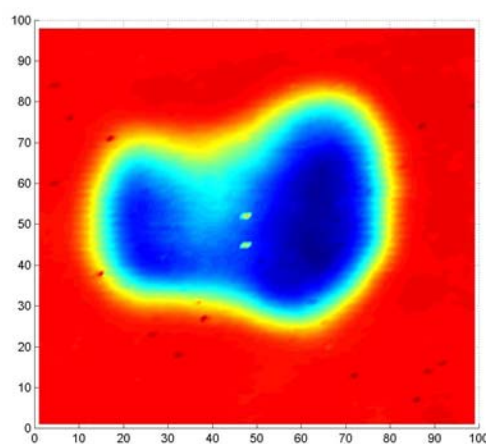
2. KONTAKT TOČAK-ŠINA

Skup frikcionih kontakata koji se ostvaruju između točkova vozila, kao pokretnih, i šina koloseka, kao nepokretnih tela, na osnovu manifestacija koje prate proces trenja, predstavlja u stvari jedan poseban tribološki sistem, sa kotrljanjem kao osnovnim oblikom kretanja. Na taj način ovaj tribosistem bi trebalo da se karakteriše pojavama vezanim isključivo za trenje kotrljanja. Međutim, relativno kretanje u ovom slučaju može biti različito; ono se može odvijati kao trenje kotrljanja bez klizanja, sa klizanjem ili kao istovremena kombinacija oba oblika. Kada će biti čisto trenje kotrljanja a kada će se dešavati kombinovano sa klizanjem, zavisi od mnogih parametara, kao što su uslovi vožnje, zatim veličina i sastav kompozicije voza, stanje pojedinih delova voza u pogledu njihove tehničke ispravnosti, itd. To znači da će i manifestacije procesa frikcije u ovom tribološkom sistemu u najvećoj meri zavisiti takođe od karaktera kretanja u kinetičkom smislu.

Jedna od najvažnijih karakteristika ovog tribosistema jeste - da su frikcionni elementi koji ga čine izloženi povećanom habanju. Razlozi za to su brojni i vezani su za njihovu funkciju u ostvarivanju kretanja voza. Naime, kontakt točka i šine je ostvaren na maloj površini sa velikim normalnim opterećenjem, uz promene oblika relativnog kretanja izazvane promenom brzine i "zmijolikim" kretanjem osovinskog sklopa po šini, kao i generisanje znatne količine

topline prilikom kočenja na obodu točka, u dinamičkim frikcionim uslovima sa udarnim pojavama, dovode do toga da se mikrogeometrija kontaktnih površina izrazito, veoma brzo i neprekidno menja za sve vreme trajanja kretanja. Ovo tim pre, što se radi obezbeđenja odgovarajućih karakteristika kretanja voza, često mora sa strane dodatno intervenirati u zoni dodira različitim sredstvima (peskarenje, i sl.) koja sa svoje strane još više povećavaju habanje. Međutim, pošto trenje između točkova i šina mora da postoji ovde jedino može da se postavi pitanje smanjenja negativnih ali i povećanja pozitivnih efekata frikcije (stabilan koeficijent trenja, povećanje vučne sile, kočione sile, itd.).

Zbog promenljivih frikcionih uslova, duž koloseka u kontaktu točak-šina postoje vrednosti koeficijenta trenja. Pri tome frikcione uslove određuju: stanje koloseka, konfiguracija pruge (krivine, usponi, tuneli), neravnine šina, geometrija točka i šine, kao i stanje šina u smislu egzistencije različitih kontaminanata na njima. Uticaj geometrije točka i šina takođe je višestruk: prečnik točka, profil točka i profil glava šine. Uticaj stanja šina, odnosno međusloja na kontaktnoj površi između točka i šina, od najvećeg je značaja. Na određenom području stanje šina može da bude pogoršano prisustvom nečistoća zbog aerozagadenja ili kontaminantima različitog porekla i hemijskog sastava.



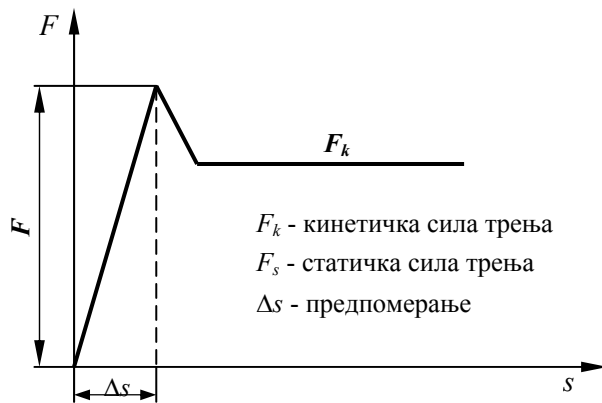
Slika 2. Primer oblika realne površine kontakta dobijene ultrazvučnim snimanjem [1]

Kontakt između točka i šine teoretski se predstavlja kao eliptična površina, a praktično je on multieliptična površina kao "model multi-tačkastog kontakta", saglasno uslovima brzine pri kotrljanju, nedostatku nadvišenja, zajedničkom istrošenju profila točka i šine. Uslovi kontakta mogu se trenutno verifikovati

detektovanjem anomalije u geometriji tela u dodiru, kako je prikazano na slici 2. U ovom kontekstu, istraživanje [1] ukazuje na raspodelu kako površinski uslovi mogu da utiču na formiranje realne površine kontakta. Rezultati serije eksperimentalnih merenja korišćenjem ultrazvučne metode pokazuju da realna površina kontakta nije eliptičnog oblika, što potiče od makro i mikro geometrijskih odstupanja površine točka.

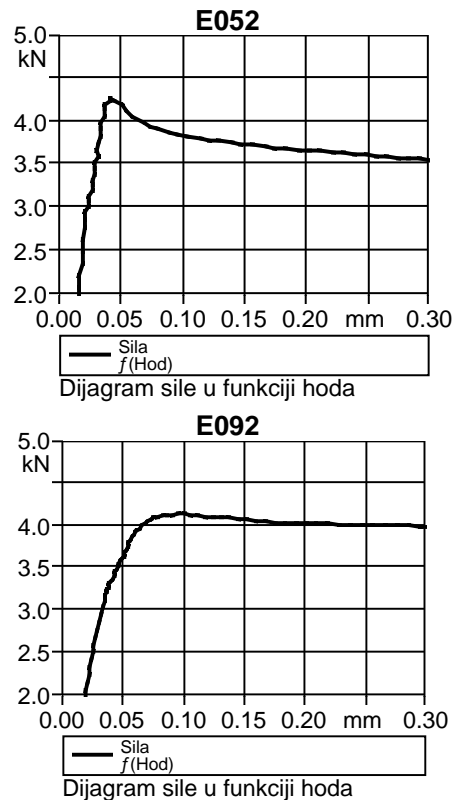
3. STATIČKO TRENJE, KOTRLJANJE I KLIZANJE

Početak kretanja, bilo koje vrste, vezan je za postojanje statičkog trenja. Naime, iz svakodnevnog života dobro je poznato da za pokretanje tela koja se nalaze u kontaktu a opterećena su nekom pritiskom silom, jednom od njih mora da se priloži izvesna tangencijalna smičuća sila. Sve dotle dok ta tangencijalna sila ne postigne određenu veličinu, telo koje treba da se pokrene ostaće u relativnom mirovanju. Predpomeranje predstavlja period relativnog kretanja tela koji se karakteriše izrazito velikim porastom reaktivne sile i malim rastom puta. Na kraju ovog perioda, predpomeranje dostiže maksimalnu vrednost i ta veličina predstavlja granično pomeranje, slika 3. Posle dostizanja graničnog pomeranja, reaktivna sila se naglo smanjuje; tada nastaje stabilno klizanje sa približno konstantnom otpornom silom, poznatom kao kinetička sila trenja.



Slika 3 Promena sile trenja u zavisnosti od pomeranja [2]

Promena sile trenja u funkciji pomeranja u početnoj fazi procesa klizanja eksperimentalnih uzoraka prikazan je na dijagramima (slika 4) snimljenim u okviru istraživanja na Mašinskom fakultetu u Nišu [2]. Ovi dijagrami odgovaraju i promeni vrednosti koeficijenta trenja duž puta klizanja.



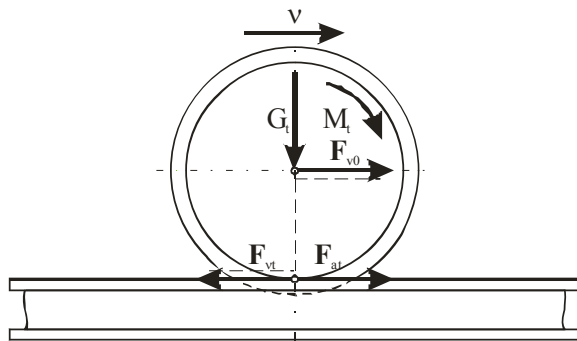
Slika 4. Sila trenja u funkciji pomeranja tokom klizanja

Potpuno analogan proces se odvija i u slučaju pokretanja točka železničkog vozila po šini. U malom vremenskom intervalu kada počinje kretanje, može se smatrati da je u tom trenutku otpor klizanju točka u stvari statička sila trenja. Otpor klizanju točka usled trenja po površini šina omogućava da se točak kotrlja po šini i tako realizuje kretanje vozila. Ukoliko je obimska sila na točku (koja potiče od pogonskog momenta), manja od sile trenja onda se ostvaruje kretanje sa čistim kotrljanjem. U slučaju kada je obimska pogonska sila veća od sile trenja, nastupa klizanje. S obzirom na to da se tokom kretanja frikциони uslovi kontakta točak-šina sukcesivno menjaju svakog trenutka, može se zaključiti da u realnim uslovima uvek postoji kotrljanje sa klizanjem.

Sa teorijske strane uobičajeno je da se kretanje točka razmatra kao čisto kotrljanje, ali se u praksi najčešće dešava jednovremeno kotrljanje i klizanje. U slučaju kada se kočica može doći do kretanja sa čistim klizanjem što je poznato kao blokiranje točkova. U slučaju kada se aktivira pogonski obrtni moment, a sila otpora klizanju je neznatne vrednosti, onda dolazi do potpunog klizanja točkova po šini tzv. proklizavanja što onemogućava pokretanje vozila. Kakvo će

kretanje nastati zavisi od frikcionih uslova na kontaktu točak-šina.

Na slici 5 prikazano je ostvarivanje vučne sile posredstvom otpora klizanja [6]. Pogonski obrtni moment M_t deluje spregom sila F_{vo} - F_{vt} . Pod dejstvom vertikalnog opterećenja točka G_t nastaje horizontalna sila reakcije podloge (šine) F_{at} koja se suprotstavlja sili vučne sprege F_{vt} i uravnotežava je delimično ili potpuno, tako da nastupa delovanje sile F_{vo} koja obezbeđuje obrtanje točka oko tačke T i tako pokreće vozilo.



Slika 5. Obrtni moment i sila trenja u kontaktu točak-šina

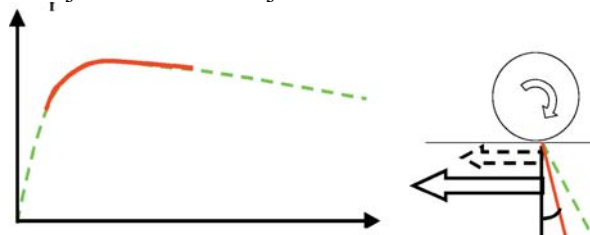
Tako je vučna sila ograničena ostvarenom silom trenja:

$$F_{vo\max} = \mu \cdot G_t$$

gde je μ – koeficijent trenja klizanja na kontaktu točak-šina, koji se često naziva koeficijent adhezije.

Ako je pogonska tangencijalna sila veća od realizovane sile trenja, tada se javlja klizanje točkova. Taj slučaj može da nastane zbog povećanja obrtnog momenta pogonskih motora ili zbog lokalnog pogoršanja frikcionih uslova, zbog čega se smanjuje realizovana sile trenja, odnosno realizovani koeficijent trenja.

Kretanje točka po šini je složeno kretanje. Uzimajući u obzir vrednosti translatorne i obimske brzine tačke na obodu točka, kretanje može da bude čisto kotrljanje, kotrljanje sa klizanjem i čisto klizanje.



Slika 6. Kriva adhezije

Utvrđeno je da maksimum tangencijalne sile koja može da se prenese sa točka na šinu zavisi od "krive adhezije" (slika 6) koja je predstavlja

zavisnost koeficijenta trenja i relativnog klizanja [4].

U brojnim testovima na lokomotivama utvrđeno je da ova kriva pokazuje maksimum pri relativnom klizanju oko 5% pri manjoj brzini i 1% pri većoj brzini [4].

Zbog elektronske ili mikroprocesorske kontrole prijanjanja, odnosno frikcionih uslova, radni domen savremenih pogonskih i kočionih sklopova su uvek u blizini maksimuma, tako da su tangencijalne sile na kontaktu točak-šina veće nego ranije.

4. ZAKLJUČAK

Da bi se točak pokrenuo iz stanja mirovanja, odnosno okrenuo po šini, neophodan je pogonski obrtni moment, ali i sila otpora u kontaktu točak-šina. Taj otpor je sila trenja klizanja čija veličina zavisi, pored opterećenja u normalnom pravcu, i od frikcionih uslova u kontaktu, što je sublimirano u koeficijentu trenja. Znači kotrljanje točka se ostvaruje posredstvom sile trenja klizanja.

LITERATURA:

1. M. Pau, F. Aymerich, F. Ginesu, M. Ishida, H. Chen: **Evaluation of the Influence of Surface Conditions on Wheel-Rail Contact Performances**, WCRR 2001 Keln
2. D. Stamenković, M. Đurđanović: **Tribologija presovanih spojeva**, monografija Niš 2005.
3. M. Đurđanović, D. Stamenković: **Opšta razmatranja o tribološkim aspektima eksploatacije železničkih vozila**, Zbornik radova sa skupa "Tehnika šinskih vozila" str.181-185, Niš 1998.
4. L Girardi, S Nierengarten, D Boulanger, W Schöch: **Improving maintenance through physical understanding of rail cracks and rail wear development**, WCRR 2003 Edinburg
5. Massimiliano Pau: **Estimation of real contact area in a wheel-rail system by means of ultrasonic waves**, Tribology International, Vol. 36 Issue 9, 2003 Pages 687-690
6. D. Dinić: **Vuča vozova**, Beograd 1986.