

Miletić, S., Džunić, D., Mitrović, S., Kočović, V., Radisavljević, S., Vasiljević S., Kostić, S.

TRIBOLOŠKA KARAKTERIZACIJA MOTORNIH ULJA

Rezime: *Automobilska industrija se rapidno usavršava, a broj različitih automobila neprestano raste. a uporedo sa tim i mnogobrojna istraživanja u cilju unapređenja njihove efikasnosti. Jedno od tih istraživanja se odnosi i na motorna ulja. Eksperiment je izveden na tribometru sa „block on disc“ kontaktnom geometrijom, pri čemu je analiziran uticaj različitih vrsta ulja na tribološke na trenje i habanje. Sva ulja su ospitivana u identičnim uslovima, pri konstantnoj brzini klizanja i opterećenju, pri čemu je svaki eksperiment ponovljen tri puta. Ulja imaju veliki uticaj na smanjenje gubitaka kod motora SUS, poznavanje njihovih karakteristika je od presudnog značaja za smanjenje trenja i habanja.*

Ključne reči: *motorna ulja, tribološka karakterizacija, podmazivanje, trenje, habanje*

1. UVOD

Motorno vozilo koje ima kao pogonski agregat motor sa unutrašnjim sagorevanjem (motor SUS) je veoma kompleksan sistem, sastoji se iz velikog broja delova koji su povezani u funkcionalnu celinu. Motorno vozilo ima pokretne i nepokretne delove, a kako bi se sprečili gubici usled trenja i habanja neophodno je delove koji se relativno kreću podmazivati. Motor SUS koji je sastavni deo motornog vozila, koji se sastoji od nepokretnih i pokretnih delova. Cilj brojnih istraživanja jeste smanjenje potrošnje goriva a samim tim i povećanje efikasnosti automobila, što se u velikoj meri može obezbediti adekvatnim podmazivanjem. Pravilno podmazivanje zahteva poznavanje tribomehaničkog sistema, karakteristika ulja, ali i vrstu i način samog procesa podmazivanja [1].

Razvoj tehnike doprineo je kvalitetnijim i tačnijim eksperimentima, a posebna tehnologija i oprema obezbedili su ispitivanja na nano nivou. Ulja koja su našla primenu u podmazivanju motora SUS ne treba samo da smanje trenje i habanje elemenata motora već i da utiču na druge karakteristike. Kako bi se postigli takvi rezultati ulju se dodaju različite vrste aditiva, čiji je cilj da u velikoj meri poboljšaju karakteristike ulja. Postoje mnoga istraživanja koja su vršena sa uljima. Eksperimenti su se zasnivali na dodavanju nanočestica različitih jedinjenja kao aditivi uljima. Dodavanjem nanočestica CuO (50 nm), tačnije raspršivanje istih u ulje pokazalo je odlične rezultate. Nanočestice CuO su u velikoj meri poboljšale karakteristike ulja koje se ispitivalo. Širina traga habanja je za oko 50% smanjena, a koeficijent trenja je drastično smanjen [2]. Pored ispitivanja triboloških karakteristika ulja nakon dodavanja nanočestica CuO, vršena su ispitivanja i ulja nakon dodavanja nanočestica TiO₂. Pošto su

nanočestice manje u odnosu na debljinu uljnog filma, one prodiru i deponuju se na kontaktnim površinama. Ove nanočestice, koje su prisutne u zoni kontakta, pretvaraju trenje klizanja u trenje kotrljanja što pomaže u smanjenju koeficijenta trenja. Analizom velikog broja radova može se zaključiti da se karakteristike ulja za podmazivanje poboljšavaju dodatkom aditiva u vidu TiO₂ nanočestica, što doprinosi smanjenju trenja i bolje antihabajuće ponašanje. Rezultati pokazuju da dodatkom ovog aditiva u motornom ulju dolazi do smanjenja koeficijenta trenja za čak 86%. Antihabajuće osobine motornih ulja su se takođe povećale usled aglomeracije ovih nanočestica. TiO₂ nanočestice su deponovane samo u slučajevima graničnog i mešovito podmazivanja. Eksperiment je pokazao da ovi aditivi unapređuju tribološke karakteristike ulja. Ispitivanje korišćenjem UV spektrofotometrije pokazuje da TiO₂ nanočestice poseduju dobru stabilnost i rastvorljivost u podmazujućem sredstvu [3]. Dodavanje mikrogranula cink oksida (ZnO) polivinilpirolidona (PVP - C₆H₉NO), i ugljeničnih čestica takođe je pokazalo odlične rezultate sa aspekta tribološke karakterizacije ulja koja se koriste kod motora SUS [4, 5]. Treba, takođe, naglasiti da i čestice čađi imaju određen uticaj na eksploataciju ulja za podmazivanje kod motora SUS. Čestice najčešće izazivaju abrazivno habanje što je apsolutno nepoželjno u ovakvom tribomehaničkom sistemu. Primenom adekvatnih ulja za podmazivanje nemoguće je eliminisati ovaj vid habanja ali se on može smanjiti [6].

Obzirom da su radne temperature motora SUS uglavnom oko 100°C u zavisnosti od vrste goriva, predstavljena ispitivanja, izvedena na sobnoj temperaturi, bi se odnosila na uslove hladnog starta motora.

2. EKSPERIMENT

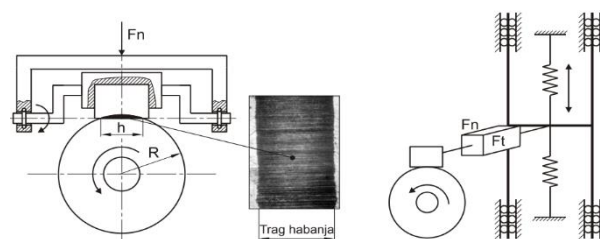
Određivanje triboloških karakteristika 4 komercijalna motorna ulja obavljeno je u Laboratoriji za tribologiju Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu. Eksperiment je obuhvatao merenje koeficijenta trenja i širine traga habanja pohabanih blokova. Zapremina pohabanog materijala određivana je analitički na osnovu poznavanja geometrije kontaktnih elemenata.. Merni lanac tribološkog ispitivanja prikazan je na slici 1. Na osnovu probnih ispitivanja definisani su uslovi ispitivanja, odnosno materijali kontaktnih parova, normalno opterećenjem brzina klizanja i vreme trajanja kontakta [6, 7]:

- Materijal: 50CrMo4
- Širina diska: 35 mm
- Dimenzije bloka: 6,3 x 10 x 15 mm
- Opterećenje: 20 N
- Vreme trajanja ispitivanja: 30 min po tragu

Tribološka ispitivanja izvedena su prema standardu ASTM G77, na tribometru sa „block-on-disc“ kontaktnom geometrijom. Prikazane dimenzije kontaktnih elemenata i način podmazivanja definisan je standardom, odnosno donja strana diska je 3 mm uronjena u rezervoar sa uljem, ukupne zapremine 30 ml. Između površine bloka i obimne površine diska ostvaruje se linijski kontakt u početnim trenucima eksperimenata. Specijalna konstrukcija nosača bloka, oslanjanje preko ležaja, osigurava u svakom trenutku potpuno naleganje bloka, celom širinom na disk.

Univerzalni tribometar TR-95 namenjen je za tribološka ispitivanja, određivanje sile trenja i koeficijenta trenja pri određenim kontaktnim uslovima. Na ovom uređaju se mogu vršiti ispitivanja u uslovima kontakta sa podmazivanjem i bez podmazivanja. Osnovnu konfiguraciju tribometra čine: pogonski sistem, sistem za opterećenje, sistem za vođenje, sistem za podmazivanje, sistem za samopodešavanje bloka i merni sistem (Slika 1).

Pogonski sistem čini elektromotor sa remenicama, kaišem i varijatorom koji omogućuju variranje brojeva obrtaja od 100 do 1200 o/min. Na glavnom vratilu nalazi se rotacioni disk. Sistem za opterećenje pomoću tegova ili navojnim parom omogućuje opterećenje kontaktnih parova od 0 do 50 daN. Sistem za vođenje je realizovan pomoću linearnih valjkastih ležajeva, kod koga je prednaprezanjem eliminisan zazor. Sistem za podmazivanje čine različite posude za mazivo ili sistem za dovod ulja za podmazivanje u zonu kontakta (slika 3).



Sl. 1. Šema tribometra TR-95 [6]

Sistem za samopodešavanje bloka i diska ima zadatak da u svakom trenutku obezbedi prenošenje normalnog opterećenja u pravcu ose diska i kontakt celom dužinom bloka na disku. Ovaj sistem je realizovan konstrukcijom specijalnog rotirajućeg nosača bloka.

Kao osnovni parametar habanja korišćena je zapremina pohabanog materijala, koja je računata na osnovu širine traga habanja na kontaktnoj površini bloka.

Nakon merenja sile trenja, izmerena je širina traga habanja na univerzalnom mernom mikroskopu UIM-21. Namenjen za merenje dužine, uglova, parametara, spoljašnjih i unutrašnjih zavojnica, kontrolu alata, objekata složene konfiguracije, merenje tragova habanja.

Tokom ispitivanja je u zonu kontakta bloka i diska kontinualno dovođeno četiri različita motorna ulja tokom četiri ispitivanja.

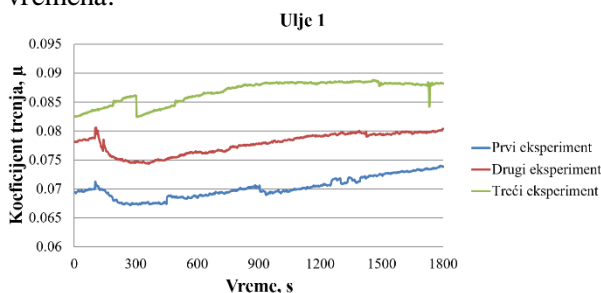
Eksperiment se izvodi postavljanjem bloka u nosač bloka i njegovim pričvršćivanjem vijkom, kako bi se eliminisala i namanja mogućnost za pomeranjem. Nosač bloka se postavlja na tribometar i učvršćuje se. Kada se sve ovo postavi startuje se softver koji će pratiti da ne dođe do promene opterećenja, jer su ovde uslovi sa konstantnim opterećenjem, i pratiti promenu koeficijenta trenja. Softver ima mogućnost automatskog snimanja rezultata u realnom vremenu. Ispitivanja su vršena u uslovima konstantnog opterećenja i brzine klizanja, 200N i 0.5 m/s, respektivno. Vreme trajanja kontakta iznosilo je 1800s. Svaki eksperiment ponovljen je tri puta u identičnim uslovima kontakta.

Nakon tri ponovljena eksperimenata za sva četiri bloka, odnosno za sva četiri ulja, blokovi se čiste i meri se traga habanja. Na osnovu dobijenih rezultata koje je softver zabeležio dobijaju se dijagrami koeficijenta trenja, a na osnovu izmerenih širina traga habanja dobijaju se histogrami zapremine pohabanog dela bloka [6,7].

3. REZULTATI I DISKUSIJA

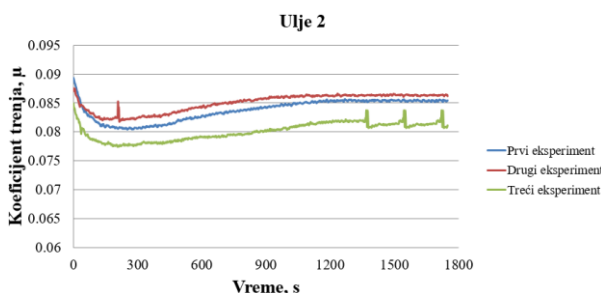
Rezultati merenja koeficijenta trenja na tribometru za ulje 1 pokazuju da nakon početnog rasta do maksimalne vrednosti, koeficijent trenja postepeno opada, da bi se u kasnijim fazama

ispitivanja njegova veličina stabilizovala i imala gotovo konstantnu vrednost. Vremensko razdoblje u kojem se vrednost koeficijenta trenja intenzivno menja iznosi oko 60 sekundi i označava se kao faza uhodavanja. Fazu uhodavanja karakteriše značajna promena topografije površina bloka i diska zbog prelaska tehnološke u eksplatacionu topografiju i postizanja realne geometrije kontakta, odnosno površine teže „uravnoteženju“ topografije. Na slici 4 prikazan je koeficijent trenja u zavisnosti od jedinice vremena za prvo ulje, na slici 5 za drugo ulje, na slici 6 za treće ulje i na slici 7 za četvrto ulje. Na slici 8 prikazan je uporedni dijagram srednjih vrednosti koeficijenata trenja u jedinici vremena.



Sl. 4. Koeficijent trenja u jedinici vremena za motorno ulje 1

Dijagrami koeficijenata trenja za ulje 2 prikazani su na slici 5, gde se uočava pad koeficijenta trenja sa početne vrednosti, nakon čega sledi blagi porast do ustaljene vrednosti od u rasponu od 0.8-0.85, koju postiže nakon 900s trajanja kontakta.

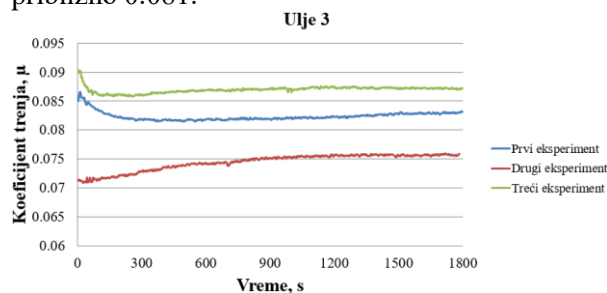


Sl. 5. Koeficijent trenja u jedinici vremena za motorno ulje 2

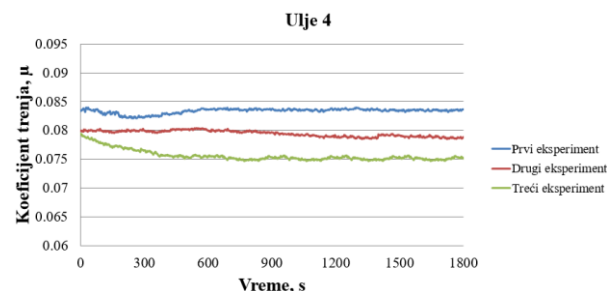
Sa dijagrama na slici 6 se vidi da u početku koeficijent u jednom slučaju konstantno blago raste do ustaljene vrednosti, a u druga dva slučaja na početku ostvarivanja kontakta brzo opada do gotovo ustaljene vrednosti. Sa dijagrama na slici 7 se u jednom slučaju vidi blagi početni pad koeficijenta trenja, dok se u drugim slučajevima vrednost koeficijenta trenja može smatrati gotovo konstantnom.

Slika 8 prikazuje uporedni dijagram srednjih vrednosti koeficijenata trenja u jedinici vremena za sva četiri ispitivana motorna ulja. Kod motornog

ulja 1, srednja vrednost koeficijent trenja prvobitno opada do približno 300 sekundi trajanja eksperimenta, a zatim tokom ostatka vremena trajanja eksperimenta raste do vrednosti od približno 0.081.

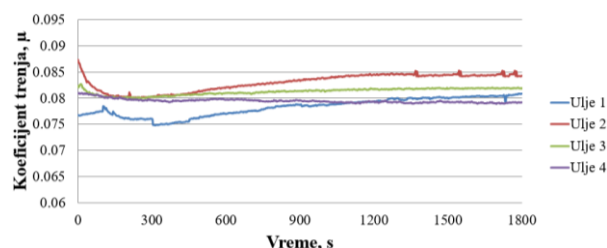


Sl. 6. Koeficijent trenja u jedinici vremena za motorno ulje 3



Sl. 7. Koeficijent trenja u jedinici vremena za motorno ulje 4

Kod motornog ulja 2, srednja vrednost koeficijent trenja prvobitno približno opada do prvih 300 sekundi trajanja eksperimenta, a zatim raste do ostatka vremena trajanja eksperimenta, gde nakon 1200 sekundi trajanja eksperimenta srednja vrednost koeficijenta trenja ovog motornog ulja ima približno konstantnu vrednost i iznosi približno 0.084, sa pojavom četiri pika koja označavaju nagli porast i brzi pad koeficijenta trenja zbog nailaženja kontaminanta.

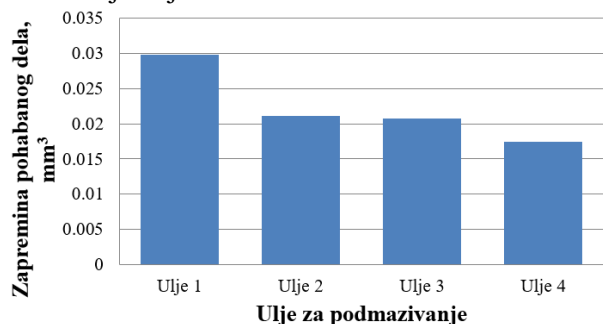


Sl. 8. Uporedni dijagram srednjih vrednosti koeficijenata trenja u jedinici vremena

Motorno ulje 3 ima prvobitni pad srednje vrednosti koeficijenta trenja u samom početku trajanja eksperimenta, a zatim dolazi do ostvarivanja približno konstantne srednje vrednosti koeficijenta trenja do ostatka vremena trajanja eksperimenta, gde je najveća srednja vrednost koeficijenta trenja ovog motornog ulja iznosila približno 0.0825. Kod motornog ulja 4 je ostvarena

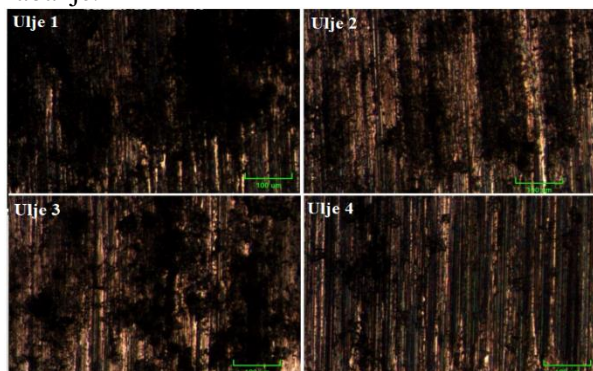
približno konstantna srednja vrednost koeficijenta trenja tokom celog vremena trajanja eksperimenta, gde je ista iznosila manje od 0.08.

Na slici 9 je dat prikaz srednjih vrednosti zapremine pohabanog dela u zavisnosti od primenjenog ulja za podmazivanje. Na osnovu prikazanog se može zaključiti da ulje 4 ima najveći uticaj na antihabajuće karakteristike bloka, dok ulje 1 ima najmanje.



Sl. 9. Srednja vrednost zapremine pohabanog dela u zavisnosti od primenjenog ulja za podmazivanje

Na slici 10 je dat mikroskopski prikaz izgleda traga habanja blokova, sa kojih se jasno uočavaju brazde u pravcu kretanja, što ukazuje da je dominantan mehanizam habanja abrazivno habanje.



Sl. 10. Pohabana površina blokova

4. ZAKLJUČAK

Tribološka ispitivanja 4 komercijalna motorna ulja su ukazala na sledeće:

Sa aspekta vrednosti koeficijenta trenja sva 4 ispitivana komercijalna ulja pokazuju slične ustaljene vrednosti koeficijenta trenja. Mala razlika se može uočiti kada je u pitanju početni period, odnosno period uhodavanja, gde ulja 2 i 3 imaju veće inicijalne vrednosti u odnosu na ustaljenu vrednost, dok za ulja 1 je situacija obrnuta. Ulje 4 ima gotovo konstantu vrednost koeficijenta trenja tokom celog perioda trajanja kontakta. Sa aspekta habanja ulje četiri ima najveći uticaj, a ulje 1 najmanji na habanje bloka, dok su druga dva ulja gotovo ujednačena po pitanju izmerenih vrednosti habanja. Dominantan mehanizam habanja kod svih ispitivanih ulja predstavlja abrazivno habanje.

5. REFERENCE

- [1] Gradin, Z.: *Tribološke karakteristike motora SUS*, 330-337, Beograd, Vojnotehnički glasnik, Beograd, 2003.
- [2] Asrul M., Zulkiflia N.W.M., Masjukia H. H., Kalam M.A.: *Tribological properties and lubricant mechanism of Nanoparticle in Engine Oil*, The Malaysian International Tribology Conference, Volume 68, p.p. 320-325, 2013.
- [3] Laad M., Jatti V. K. S.: *Titanium oxide nanoparticles as additives in engine oil*, Journal of King Saud University, Volume 30, p.p. 116-122, 2018.
- [4] Wong D., Resendiz J., Egberts P., Park S. S.: *Reduction of friction using electrospun polymer composite microbeads emulsified in mineral oil*, p.p. 339-350, 45th SME North American Manufacturing Research Conference, NAMRC 45, LA, USA, , 2017.
- [5] Hu E., Hu X., Liu T., Fang L., Dearn K.D., Xu H.: *The role of soot particles in the tribological behavior of engine lubricating oils*, Wear - An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear, Volume 304, p.p. 152-161, 2013.
- [6] Babić, M., Mitrović S.: *Tribološke karakteristike kompozitnih materijala*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2007.
- [7] Globočki, Lakić, G., Perić, S., Bučko, M., Nedić, B., Borković, A., Babić, N.: *Technical system conditions monitoring via the lubricating oil analysis*, p.p. 379-390, International Conference on Tribology, Faculty of Engineering, Kragujevac, 2023.

Autori: Mast. inž. maš. Stefan Miletić, vanr. prof. dr Dragan Džunić, red. prof. dr Slobodan Mitrović, docent dr Vladimir Kočović, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbija.
E-mail: stefan96miletic.finkg@gmail.com
dzuna@kg.ac.rs
boban@kg.ac.rs
vladimir.kocovic@kg.ac.rs

Autori: Naučni saradnik Snežana Radisavljević, Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Srbija.
E-mail: snezana.radisavljevic@pmf.kg.ac.rs

Autori: Asistent Saša Vasiljević, Prof. strukovnih studija dr Sonja Kostić, Akademija strukovnih studija Šumadija, Departman u Kragujevcu, Kosovska 8, Kragujevac, Srbija
E-mail: svasiljevic@asss.edu.rs
skostic@asss.edu.rs