



UTICAJ BAZNOG ULJA NA TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE MOTORNIH ULJA

Zorica VUKADINOVIĆ, dipl. maš. ing., "Institut za automobile", Kragujevac, (zokaruza@ptt.yu)

Prof. dr Danica JOSIFOVIĆ, dipl. maš. ing., Mašinski fakultet Kragujevac,

THE INFLUENCE OF BASE OIL ON TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MOTOR OILS

S u m m a r y

Progress in automobile industry and the need for lubrication of engines and drive trains with the same oil impose certain characteristics of oils. At the same time, the demands for preservation of the environment condition that more attention should be paid to re-refinement of used oils.

To the end testing the effects of lubricants to the functional characteristics in the process of synchronization of the gears, we chose two motor oils with the same viscosity and the same additive package where the base oil of one was re-refined.

The tests, whose results are presented in this paper, showed that base oil has great effects on tribological characteristics of lubricants.

Key words: motor oil, re-refinement, tribological characteristics

1. UVOD

Savremene mašine, uređaji i transportna sredstva, u zavisnosti od stepena složenosti, sadrže od nekoliko desetina do nekoliko hiljada kontaktnih parova. Kao neminovni, a najčešće nepoželjni, pratioci njihovog rada javljaju se trenje i habanje, pa se njihovo smanjenje i/ili eliminacija postavlja kao jedan od prioritarnih ciljeva savremene industrije. Smanjenje trenja i habanja površina može se ostvariti na više načina: izborom odgovarajućeg konstruktivnog rešenja, materijala, vrste obrade, vrste maziva, načina podmazivanja i smanjenjem opterećenja u kontaktu povoljnijom raspodelom.

Uticao maziva na razvoj triboloških procesa u mašinskim sistemima i sklopovima je veoma složen i još uvek nije do kraja razjašnjen. Da bi se omogućila funkcionalnost, stabilnost i pouzdanost

sistema u eksploataciji neophodno je, na osnovu radnih režima, odabrati adekvatno mazivo.

Mazivo ulje se, uopšte, može označiti kao mešavina baznog ulja i aditiva. Iako na prvi pogled jednostavna definicija, formulacija ulja je kompleksna i zahteva opsežna ispitivanja i neprestana poboljšanja.

Bazna ulja su osnova za proizvodnju svih vrsta i kvaliteta mazivih ulja. Ona determinišu oblast primene, kvalitet i cenu maziva, jer neke karakteristike mazivog ulja su isključivo vezane za kvalitet upotrebljenog baznog ulja i ne mogu se promeniti dodavanjem aditiva.

Iako danas u svetu postoji niz različitih klasifikacija i sistema označavanja baznih ulja, osnovna i najznačajnija podela je, prema poreklu, na: mineralna i sintetička bazna ulja.

Mineralna bazna ulja se dobijaju iz nafte i predstavljaju složene smeše ugljovodonika različite

hemijske strukture i drugih organskih jedinjenja koja sadrže sumpor, kiseonik, azot i dr. Prema grupi ugljovodonika koji dominiraju u baznom ulju, razlikuju se: parafinska, naftenska i aromatska bazna ulja.

Sintetička bazna ulja su hemijska jedinjenja koja se dobijaju hemijskom sintezom različitih komponenti različitim tehnološkim postupcima. Pri ovome su njihove osobine "ciljane" (očekivane i predvidljive), a kvalitet ponovljiv. Dobre osobine ovih ulja su niska tačka stinjanja, visok indeks viskoznosti, mala isparljivost, visoka oksidaciona stabilnost i dr. Nedostatak im je mala kompatibilnost sa klasičnim paketima aditiva i zaptivnim materijalima, kao i visoka cena.

Napredak u automobilskoj industriji i sve izraženija potreba za podmazivanjem motora i prenosnika snage istim mazivom, nameću i zahteve za odgovarajućim osobinama ulja. Istovremeno i zahtevi za očuvanjem naftnih resursa i zaštitom životne sredine, uslovili su da se sve veća pažnja posvećuje rerafinaciji korišćenih ulja. Rerafinisana bazna ulja se dobijaju preradom korišćenih mazivih ulja i mogu se koristiti za kasniju proizvodnju svih vrsta mazivih ulja i masti. Kao sekundarna sirovina mogu se koristiti samo upotrebljavana motorna, transmisiona, hidraulična i kompresorska ulja proizvedena od parafinskih baznih ulja.

Međutim, bez obzira na vrstu, od baznog ulja se zahteva da ima visok indeks viskoznosti, malu promenu viskoznosti sa promenom temperature, visoku hemijsku, oksidacionu i termičku stabilnost, nisku tačku stinjanja, dobru rastvorljivost aditiva i dr.

Radi sagledavanja uticaja maziva na karakteristike procesa sinronizovanja stepena prenosa kod automobilskih prenosnika snage odabrana su dva motorna ulja iste viskozne gradacije i formulisana istim paketom aditiva, pri čemu je bazno ulje jednog bilo rerafinisano. Ispitivanja, čiji deo se prezentuje u radu, su pokazala da na tribološke karakteristike maziva znatan uticaj ima bazno ulje.

2. PREDMET ISPITIVANJA

Za dobijanje podataka o uticaju maziva na funkcionalne parametre sinhronizacije stepena, a koji bi opravdali svrsishodnost ispitivanja, odabrane su dve formulacije motornih ulja i to:

Monogradno motorno ulje viskozitetne gradacije **SAE 40**, nivoa kvaliteta **API SF/CD**. Prozedeno je od solventno rafinisanog parafinskog baznog ulja standard kvaliteta. Bazno ulje ima usku oblast destilacije (327÷722°C).

Na osnovu krive destilacije zaključeno je da bazno ulje ne sadrži lako isparljive frakcije i da samim tim teže isparava, što motornom ulju, kao krajnjem proizvodu, daje veliku termičku i oksidacionu stabilnost na visokim radnim temperaturama. Dodavanjem odabranog paketa aditiva dobijena je formulacija motornog ulja koja poseduje dobru detergentsku i disperzantsku efikasnost u održavanju čistoće svih unutrašnjih delova motora, a koja se ogleda u sprečavanju stvaranje taloga i lakova. Veličina TAN-a ukazala je na postojanje alkalne rezerve radi neutralisanja produkata sagorevanja i u uslovima upotrebe goriva sa povišenim sadržajem sumpora.

Motorno ulje zadovoljava specifikacije: API SF/CD, CCMC D2, MB 227.0 i može se koristiti za podmazivanje dizel motora putničkih i teretnih vozila, uključujući i motore sa turbo grupom, koji rade pod teškim uslovima i sa promenljivim opterećenjem, a za koje proizvođač motora nije ograničio nivo sulfatnog pepela u ulju. Pošto odgovara zahtevima servisne specifikacije API SF može se upotrebljavati i za podmazivanje četvortaktnih benzinskih motora putničkih vozila bez turbokompresora [4].

Monogradno motorno ulje viskozitetne gradacije **SAE 40**, nivoa kvaliteta **API SF/CD** (u daljem tekstu SAE 40-R), za razliku od prethodno opisanog motornog ulja, je prozedeno na bazi solventno rafinisanog i baznog ulja oplemenjenog vodonikom (rerafinat). Rerafinisano bazno ulje, koje učestvuje sa 25%, je dobijeno obradom rabljenog ulja frakcionom destilacijom, ekstrakcijom propanom i hidrofinišingom (finalna obrada vodonikom).

Bazno ulje ima širok raspon destilacione krive (266÷686°C). Krive destilacije i ključanja ukazuju na nisku tačku ključanja (266°C) i zaključuje se da rerafinisano bazno ulje spada u grupu lako isparljivih baznih ulja. To dalje znači da ulje na povišenim temperaturama lako isparava, pri čemu ostaju teške frakcije, što za posledicu ima oksidacionu nestabilnost motornog ulja i u radnim uslovima brzi pad viskoznosti istog (tzv. "izletanje ulja iz gradacije").

Rerafinisano bazno ulje ima povišen sadržaj ugljovodonika, naročito naftena i aromata. Sadržaj naftena pokazuje da su se u rabljenom ulju, kao sekundarnoj sirovini, našla i industrijska ulja. Osim toga, uočeno je da u bazi ima tragova kalcijuma (13ppm), što je najverovatnije posledica tretmana baznog ulja u toku proizvodnje.

Na ovaj način dobijenom i odabranom baznom ulju dodat je paket aditiva, koji je

sadržajno i količinski isti kao kod motornog ulja bez rerafinata, tako da motorno ulje zadovoljava specifikacije API SF/CD i CCMC D2.

Fizičko-hemijske karakteristike baznih ulja date su u tabeli 1.

Obzirom da su odabrana ulja, pre triboloških ispitivanja, najpre bila korišćena pri ispitivanju sistema za sinhronizaciju, a zbog uslova podma-

zivanja koji vladaju u menjaču koji se bitno razlikuju u odnosu na one koji se javljaju u motoru, izabrana su monogradna motorna ulja. U protivnom, izbor multigradnog motornog ulja doveo bi do kidanja dugolančanih polimera modifikatora viskoznosti, usled čega bi nastupio gubitak viskoznosti maziva, gubitak elastohidrodinamičke zaštite površina i “zaribavanje” menjača.

Tabela 1 Fizičko-hemijske karakteristike baznih ulja

Karakteristika	Bazno ulje standard kvaliteta		Rerafinisano bazno ulje	
	Izmereno	Zahtev	Izmereno	Zahtev
Izgled	bistro	bistro, homogeno	bistro	bistro, bez nečistoća
Gustina (15°C), kg/m ³	0,88	0,89	0,875	085÷092
Viskoznost (40°C), mm ² /s	113,7	90÷125	57,1	
Viskoznost (100°C), mm ² /s	12,2		7,73	
Indeks viskoznosti	97	> 95	98	> 80
Tačka paljenja (°C)	260	min 240	225	
Tačka stinjanja (°C), bez depesanaata	-13	< -9	-11	< -5
Korozija Cu trake (3h, 100°C)	1a	1a	1a	1a
Sadržaj sumpora, %	0,47	max 1,0	0,92	max 1,5
Sadržaj vode, mas%	0	0	0	0
Isparljivost po NOACK-testu, %	2,8		13,8	
Sadržaj ugljovodonika				
- aromati Ca, %	9,0	max 9,0	8,25	< 10
- parafini Cp, %	61,2	min 60	60,55	-
- nafteni Cn, %	30,8	-	31,2	-

3. USLOVI TRIBOLOŠKIH ISPITIVANJA

Određivanje triboloških karakteristika ispitivanih ulja, u okviru ovog rada, obavljeno je u Laboratoriji za tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

Pri izvođenju eksperimenta koji je obuhvatio merenje sile trenja, koeficijenta trenja i parametara habanja korišćena je sledeća laboratorijska i merna oprema:

- Tribometar **TPD-93**,
- A/D konvertor,
- Pojačavač - HBM merni most **KWS273.A2**,
- PC računar,
- Uređaj za merenje hrapavosti **Talysurf 6**,
- Univerzalni alatni mikroskop **UIM-21**.

Tribometar TPD-93 je razvijen u Centru za revitalizaciju industrijskih sistema Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Na njemu se mogu ostvariti uslovi kontakta u tački (“disk on disk”), po liniji (“pin on disk”) i po površini (“block on disk”) sa elementima različite geometrije. Kontakt se u svim

navedenim slučajevima može ostvariti sa i bez podmazivanja.

Pri ispitivanju korišćen je softver, čiji kvalitet se ogleda i u preglednom radnom okruženju (ekranu) (slika 1), koje je tako organizovano da pruža mogućnost praćenja, ne samo brojnih vrednosti merenih veličina tokom ispitivanja, već daje i dijagramski prikaz normalne sile, sile trenja i koeficijenta trenja.

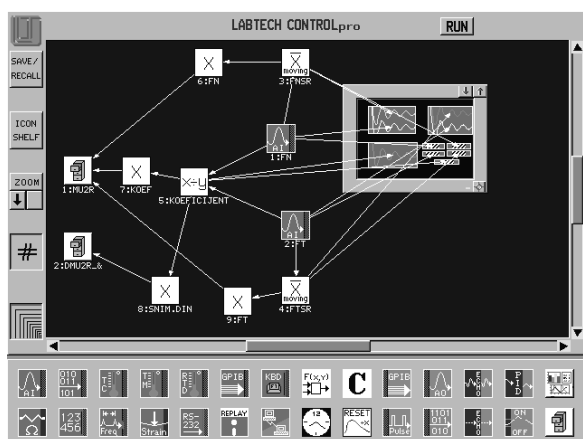
Tribološkim ispitivanjima tipa “block on disk” podvrgnuta su sveža i rabljena ulja. Ovde se pod terminom “rabljeno ulje” podrazumeva ulje koje je, kako je to ranije rečeno, korišćeno za ispitivanje sistema za sinhronizaciju na trajnost (100.000 ciklusa uključivanja III-IV stepena prenosa).

Vrednost normalne sile odgovara srednjoj vrednosti normalne sile kojom se u toku testa trajnosti deluje na sistem za sinhronizaciju i iznosi $F_n=400N$. Na osnovu proračuna usvojena je vrednost brzine klizanja u zoni kontakta $V_{kl}=1,4m/s$.

Granično podmazivanje je ostvarivano prolaskom donjeg dela diska kroz određenu količinu ulja.

Vreme trajanja ispitivanja je 2h.

Da bi se u potpunosti simulirali uslovi kontakta koji važe u procesu sinhronizacije, za realizaciju triboloških ispitivanja, korišćeni su diskovi izrađeni od čelika za cementaciju Č.7422 (18CrMo4) i tvrdoće 61HRC. Blokovi su od sinterovanog materijala S-I11-F, na koji je nanet sloj molibdena debljine $50 \div 70 \mu\text{m}$ i dobijeni su isecanjem iz sinhronog prstena. Tvrdoća bloka je 70HRC.



Slika 1 Radni ekran triboloških ispitivanja

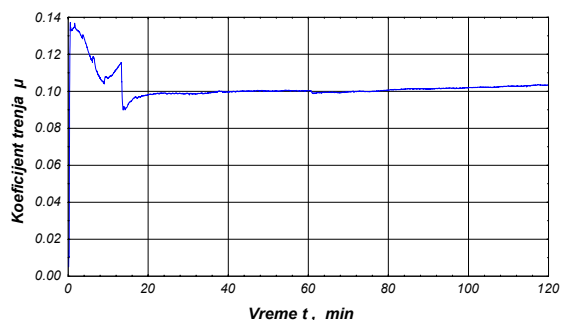
4. REZULTATI ISPITIVANJA

Na slikama 2 i 3 prikazani su dijagrami promene koeficijenta trenja u funkciji vremena ispitivanja, a u tabeli 2 date su srednje vrednosti koeficijenta trenja za ispitivana ulja, kao i veličine širine i dubine traga habanja.

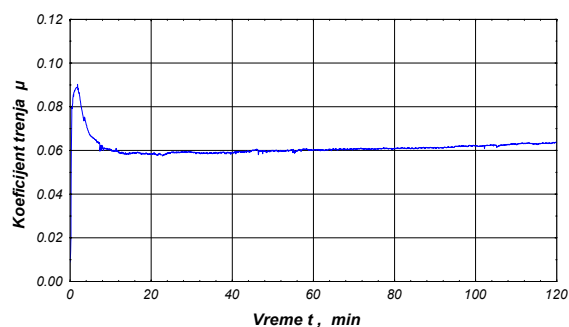
Nizak koeficijent trenja *svežeg rerafinisanog ulja SAE 40-R* (slika 3a) dovodi se u vezu sa niskom oksidacionom stabilnošću i velikom isparljivošću ulja ($\text{Noack} \approx 22$).

Pri zagrevanju ulja u toku triboloških ispitivanja ($\theta_{\text{ulja}} \approx 100^\circ\text{C}$) lake frakcije isparavaju, što dovodi do boljeg podmazivanja usled rasta viskoznosti i povećanja viskozne gradacije. Direktna posledica ovog procesa je nizak koeficijent trenja ($\mu = 0,0542$).

Uticao degradacije motornog ulja sa rerafinatom tokom ispitivanja trajnosti sistema za sinhronizaciju i povećanja koncentracije produkata habanja, ogleda se tokom triboloških ispitivanja u većem koeficijentu trenja ($\mu = 0,0903$) i habanju.

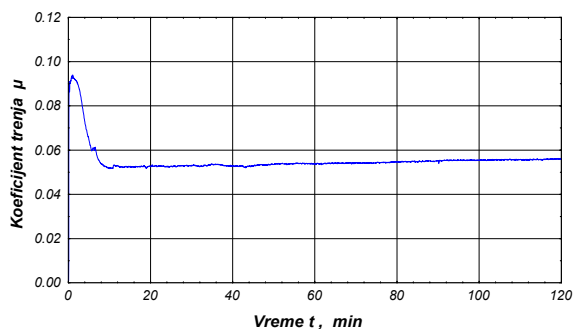


(a)

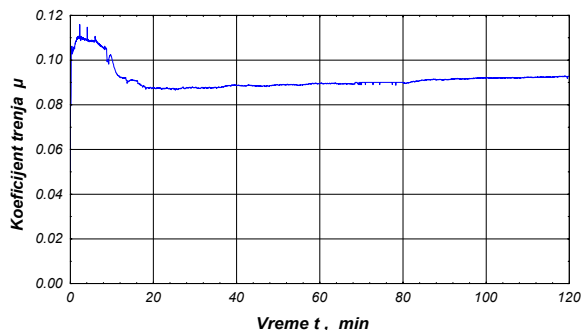


(b)

Slika 2 Promena koeficijenta trenja pri ispitivanju svežeg (a) i rabljenog (b) motornog ulja SAE 40



(a)

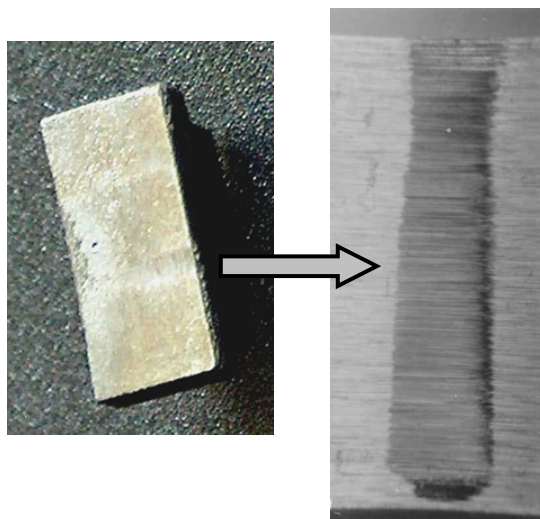


(b)

Slika 3 Promena koeficijenta trenja pri ispitivanju svežeg (a) i rabljenog (b) motornog ulja SAE 40R

Tabela 2 Rezultati triboloških ispitivanja ulja

ULJE	μ	Širina traga habanja (mm)	Dubina habanja (μm)
		0,870	1,577
SAE 40 - rabljeno	0,0605	0,810	1,367
SAE 40-R - sveže	0,0542	0,834	1,449
SAE 40-R - rabljeno	0,0903	1,090	2,475



Slika 4 Blok i trag habanja pri tribološkim ispitivanjima sa motornim uljem SAE 40-R

Na slici 4 prikazani su blok i trag habanja dobijen tokom ispitivanja sa rerafinisanim motornim uljem SAE 40-R.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu triboloških ispitivanja svežih i rabljenih motornih ulja kojima su simulirani režimi i uslovi rada pri ispitivanju sinhronizacije na probnom stolu, zaključuje se da na veličinu trenja i habanja veliku ulogu igra bazno ulje, vrsta aditiva i čistoća mazivog ulja

LITERATURA:

- [1] Vukadinović Z., Ispitivanje uticaja maziva na trajnost sinhronne grupe menjača, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, maj 2003.
- [2] Basta D.: Bazna ulja-aktuelna situacija i trendovi, XIV Stručno savetovanje GALAX 2000, Zlatibor, 2000, p.32-39
- [3] Izveštaj o ispitivanju baznih ulja N°54163 i N°54164, TEXACO Laboratory, Ghent, 2002.
- [4] Tehnički katalog GALAX proizvoda, NIS Rafinerija nafte Beograd, Beograd, 1998.