

Samuel H. Tersigni, Lee D. Saathoff, Christopher Cleveland, Mark S. Jones

ISSN 0350-350X

GOMABN 49, 2, 131-146

Stručni rad/Professional Paper

UDK 621.892:621.83.069.2 : 621.83.069.2 : 665.764.038.5 : 539.62 : 539.61

NOVA TEHNOLOGIJA ADITIVA OTPORNIH NA TRENJE I NJIHOVA PRIMJENA U AUTOMATSKIM PRIJENOSNICIMA

Sažetak

Ovaj rad prikazuje razvoj tehnologije novih aditiva koja omogućuje formulaciju fluida za automatske prijenosnike (ATF-Automatic Transmission Fluids) na osnovi mineralnih ulja sa značajno poboljšanom otpornošću na trenje. U radu se uspoređuju performanse trenja tehnologije novih aditiva kod komercijalno dostupnih ATF-a u Europi, Aziji i Sjevernoj Americi pri industrijski standardnim testovima trenja kao što su SAE No'2 rig (SAE No'2 mjerna oprema) i Low Velocity Friction Apparatus (aparatura za ispitivanje trenja pri niskim brzinama). Isto tako, u radu se razmatraju primjeri još većih tehničkih izazova koje postavljaju posljednje ATF specifikacije u uvjetima još naglašenije oksidacije, trošenja, ekstremnih pritisaka, otpornosti na trenje, kapaciteta okretnog momenta i antikorozijskih zahtjeva, te se performanse nove tehnologije aditiva otpornih na trenje uspoređuju s ostalim dostupnim ATF tehnologijama na nekim od spomenutih područja.

Performanse fluida otpornih na trenje koje su omogućene pomoću tehnologije novih aditiva mogu se primijeniti kod čitavog niza automatskih prijenosnika, npr. mokrih spojki za pokretanje, spojki pretvarača okretnog momenta, prijenosnika s dvostrukim spojkama i posljednje generacije automatskih prijenosnika sa šest, sedam, i osam stupnjeva prijenosa.

1. Uvod

Većina proizvođača automobila ispituje potencijalne prednosti manje potrošnje goriva zbog niže viskoznosti ATF-a. Prijašnje generacije ATF-a imale su kinematičku viskoznost kod 100 °C (KV 100°C) u rasponu od 7, 0 do 8,0 mm²/s. Nove generacije ATF-a, kako je specificirano u General Motors DEXRON[®]VI ATF specifikaciji za servisno punjenje, imaju uobičajne vrijednosti KV 100°C između 5,4 i 6,4 mm²/s. Te nove formulacije ATF-a imaju i prednosti zbog manje potrošnje goriva jer niža viskoznost fluida smanjuje gubitak energije zbog rotacije u prijenosnicima, međutim granica do koje je to mjerljivo ovisi o postupku ispitivanja i posebno o rasponu temperatura prilikom provedbe ispitivanja uštede goriva. U većini ispitivanja prednost uštede goriva je približno jednaka preciznosti testa kojim se to mjeri, tako

da je neophodno paziti na uvjete ispitivanja, kao i statističku obradu eksperimenta i numeričku analizu rezultata. (Box et al, 1975.)

Uporaba ATF-a niže viskoznosti može postaviti značajne izazove za prijenosnike, posebno što se tiče gubitaka tlačnog sustava ulja, trajnosti zupčanika i ležajeva. Fluidi niže viskoznosti protječu lakše kroz pumpe i brtve i to obično rezultira tanjim zaštitnim slojem za ležajeve i zupčanike, osim ako fluid nije specifično formuliran da nadoknadi pad kinematičke viskoznosti. Dodatno, za fluide niže viskoznosti potrebna su bazna ulja više kvalitete da osiguraju njihovu otpornost u pogledu isparivosti, koja utječe na volumen ulja unutar prijenosnika tijekom cjelokupnog radnog vijeka.

Paralelno s uvođenjem formulacija ATF-a s niskom viskoznošću, većina proizvođača automobila prešla je na novi dizajn automatskih prijenosnika s povećanom uštedom goriva. Novi automatski prijenosnici na tržištu osobnih automobila ugrađuju dodatne zupčanike primjerice sa šest, sedam i osam stupnjeva prijenosa, uređaje za pokretanje, npr. mokre spojke za pokretanje u zamjenu za konvencionalne izvedbe s pretvaračem okretnog momenta. Dodatna energija nastala pri uključivanju stupnjeva prijenosa, povezana s uvođenjem većeg broja zupčanika u prijenosnicima, može utjecati na trajnost prijenosnika, posebno u pogledu tarnih obloga i samog ATF-a.

Dodatno, nove izvedbe automatskih prijenosnika imaju manje spremnike za ulje (*kartere*) i mazivo ima manje vremena za otpuštanje zraka i suzbijanje pjenjenja. Kombinacija novih izvedbi automatskih prijenosnika i manjeg volumena maziva u njima, zahtijeva povećanu razinu aditivnog djelovanja.

Mnoga ATF maziva imaju aditivnu tehnologiju, koja se razvila prije više od deset godina i bila je dobro dizajnirana prije stavljanja u promet novih tipova automatskih prijenosnika. Zbog navedenih razloga najpovoljnije izvedbe aditiva i maziva dizajniranih za nove automatske prijenosnike s više stupnjeva prijenosa zahtijevaju značajnije povećanje radnih svojstava u usporedbi s postojećim komercijalno dostupnim ATF. Tri ključna područja djelovanja ATF ulja, koja su osobito naglašena u zahtjevima na azijskom tržištu automatskih prijenosnika su: otpornost na trenje u uključnim spojkama i u pretvaračima okretnog momenta, svojstva protiv trošenja i zaštite od hrđe, te svojstva podnošenja visokih opterećenja. Uporaba baznih ulja više kvalitete i ATF-a niže viskoznosti, nudi bolja oksidacijska i viskometrijska svojstva, tako da za ta dva radna područja može biti potrebna manje uspješna aditivna tehnologija.

2. Ispitne metode

Ovaj rad prikazuje ocjenu nove tehnologije aditiva u mazivima za automatske prijenosnike sa šest stupnjeva prijenosa, uporabom ispitnih testova, uobičajenih za azijske proizvođače i konstruktore osobnih automobile (OEM). Svaki OEM ima jedinstvenu seriju testova za određivanje kvalitete ATF-a i svaki pojedini test zahtijeva različita svojstva aditiva, iako ima dovoljno sličnih regionalnih ispitnih postupaka i uređaja (specificiranih od organizacija kao što su JASO, CEC, ASTM, itd.) koji omogućavaju definiranje općenitog azijskog profila maziva za automatske mjenjače sa šest stupnjeva prijenosa. Izvedba ispitivanja i tip aditiva mogu biti

različiti od onih optimalnih za europske i sjevernoamerička maziva za automatske prijenosnike sa šest stupnjeva prijenosa. Podaci ovdje prezentirani uspoređuju novu tehnologiju aditiva u mazivima za automatske prijenosnike sa više stupnjeva prijenosa s odabranim komercijalno dostupnim azijskim ATF mazivima. Uspoređuju se svojstva otpornosti na trenje, kapacitet okretnog momenta, svojstva podnošenja visokih opterećenja (EP svojstva), svojstva protiv trošenja i zaštite od hrđe.

3. Rezultati

Tablica 1 sadrži pet odabranih azijskih ATF-a (tvorničko punjenje), označenih oznakama ATF-A do ATF-E. ATF-D je najreprezentativnije azijsko mazivo za automatske prijenosnike sa tipičnim kapacitetom okretnog momenta i niskom viskoznošću i bit će kao usporedba dalje u tekstu.

Tablica 1: Odabrana fizikalno-kemijska svojstva ATF-a uzetih s azijskog tržišta: kinematička viskoznost kod 100°C (ASTM D 445), dinamička viskoznost kod -40 °C (Brookfield, BV-40, ASTM D 3893), količina fosfora i dušika i neutralizacijski broj (TAN, ASTM D 664)

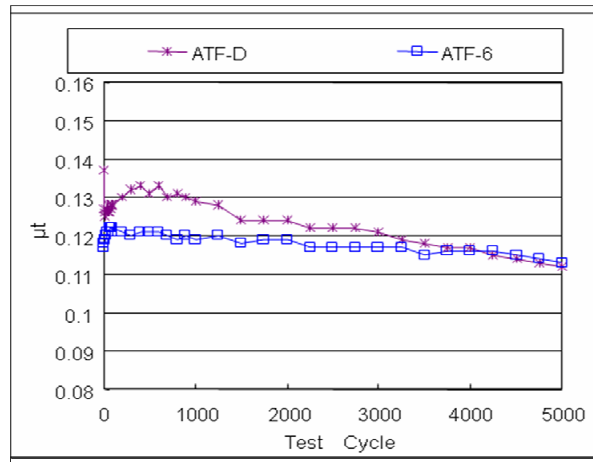
| | KV100 | BV kod -40°C | Količina fosfora | Količina dušika | TAN |
|-------|-------|--------------|------------------|-----------------|-----|
| ATF-A | 7.3 | 17,600 | 282 | 2,221 | 1.7 |
| ATF-B | 7.4 | 12,150 | 285 | 2,296 | 2.2 |
| ATF-C | 7.3 | 16,260 | 219 | 1,553 | 1.4 |
| ATF-D | 5.4 | 9,320 | 298 | 1,980 | 1.6 |
| ATF-E | 6.0 | 10,120 | 180 | 1,450 | 0.6 |

Nova tehnologija aditiva otpornih na trenje razvijena u laboratoriju bit će nadalje označena s oznakom ATF-6. To mazivo je formulirano uporabom konvencionalnih mineralnih baznih ulja, kinematička viskoznost kod 100 °C je 5,5 mm²/s (KV 100°C), a dinamička viskoznost (Brookfield) kod -40°C je ispod 10 000 mPa s (BV -40°C).

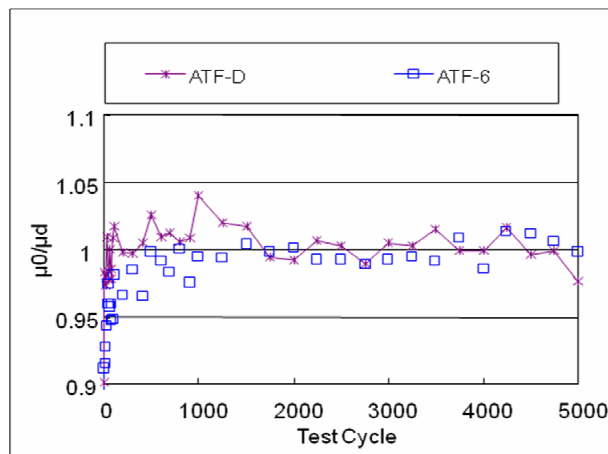
Kapacitet okretnog momenta i otpornost na trenje

JASO M348 (2002) SAE No'2 test koristi NW-461E tarni materijal i procjenjuje kapacitet okretnog momenta (μ_t) i otpornost na trenje u uključnoj spojci u preko 5000 ciklusa (43 sata) i čini centralni dio trenutno važeće JASO M325 ATF specifikacije. Slike 1(a) i 1(b) pokazuju usporedbu kapaciteta zakretnog momenta μ_t i otpornost na trenje kod uključivanja stupnjeva prijenosa (μ_o/μ_D) za ulja ATF-6 i ATF-D, dobivenih ispitnim testom JASO M348. ATF-D ulje pokazuje neprekinuti pad kapaciteta okretnog momenta unutar vremena ispitivanja (približno 15 % na preko 5000 ciklusa), dok ulje ATF-6 pokazuje istu razinu zakretnog momenta, ali sa stabilnijim kapacitetom zakretnog momenta, slika 1(a). Oba ulja, uporabom ove metode,

pokazuju općenito usporedive vrijednosti otpornosti na vibracije u uključnoj spojci, mjerenjem omjera koeficijenta trenja (μ_0/μ_D), slika 1(b).



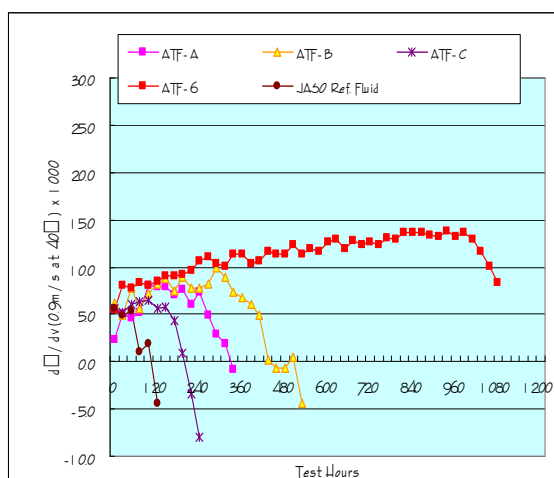
Slika 1(a): Rezultati ispitivanja JASO M348 (2002) SAE No. 2 za ulja ATF-6 i ATF-D. Kapacitet okretnog momenta mjeren preko koeficijenta trenja (μ) je pokazan kao funkcija razdoblja ispitivanja.



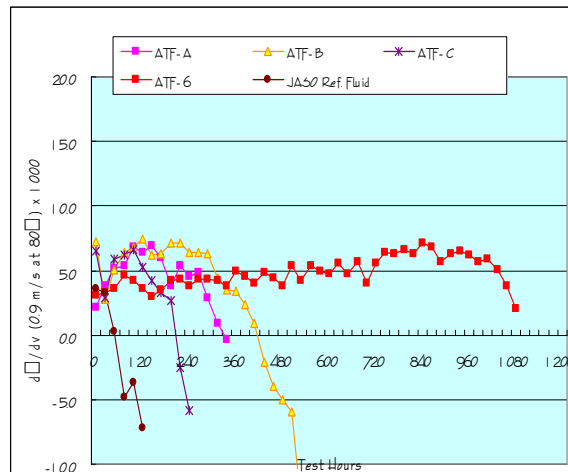
Slika 1(b): Rezultati ispitivanja JASO M348 (2002) SAE No'2 za ATF-6 i ATF-D ulja. Vrijednosti otpornosti na vibracije u uključnoj spojci, mjerenjem omjera koeficijenta trenja (μ_0/μ_D), je prikazana kao funkcija razdoblja ispitivanja.

JASO M349 LVFA aparatura mjeri trenje pri malim brzina (0-300 rpm), koje se prvenstveno odnose na uređaje za uključivanje stupnjeva prijenosa. Vrijednost koeficijenta trenja μ je mjerena kao funkcija relativne brzine (rpm, v), vremena (sati ispitivanja), temperature (mjerene u karteru) i načina mjerenja trenja u tanim oblogama. Broj ispitnih sati potrebnih da nagib μ - v krivulja kod 40 °C ili kod 80 °C postane negativan pri brzini 150 rpm (0,9 m/s), definirano je prema JASO standardu kao promjena stanja fluida, odnosno kao vijek trajanja u kojima fluid ima zadovoljavajuću otpornost na trenje. Treba uočiti da JASO otpornost na trenje definirana samo nagibom μ - v krivulje, ne vrijednostima trenja, tako da fluidi sa stalnim padom trenja pri niskim brzinama mogu izgledati izdržljiviji. To je vrlo važno uzeti u obzir kod primjene u automatskim prijenosnicima, jer značajno reduciranje u kapacitetu okretnog momenta može utjecati na sigurnosne faktore pri podešavanju njihovog rada. Dok istraživanja na području vibracija motora u njihovim detaljnim analizama često traže neodgovarajuću vrijednost trenja i/ili nagiba, mnogo uspješnije je mjerenje robusnosti sustava trenja tako da se provjeri čitava μ - v krivulja kao funkcija vremena ispitivanja i temperature u spremniku ulja (*karteru*).

Slika 2(a) i 2(b) prikazuje vrijeme u kojem fluid ima otpornost na trenja za nekoliko ATF-a prikazanih u tablici 1, usporedno sa ATF-6, definiranim metodom JASO M349. Slika 2(a) prikazuje rezultate kod 40 °C i pri brzini od 150 rpm (0,9m/s), a slika 2(b) prikazuje rezultate kod 80 °C. Između fluida prikazanih na slici 2, ATF-B u laboratorijskim ispitivanjima LVFA testa ima najdulju otpornosti na trenje od svih ATF-a iz tablice 1, približno 450 sati. Kao što se vidi na slici 2(b), ulje ATF-6 lagano dostiže 1000 radnih sati, dvosturuko povećanje u odnosu na ulje ATF-B i 12 puta više od referentnog fluida (JASO) Toyota T-III.



Slika 2(a): LVFA test kod 40 °C i brzini od 0,9 m/s (150 rpm) kao funkcija vremena ispitivanja



Slika 2(b): LVFA test kod 80 °C i brzini od 0,9 (150 rpm) kao funkcija vremena ispitivanja

Dodatni parametri radnih svojstava

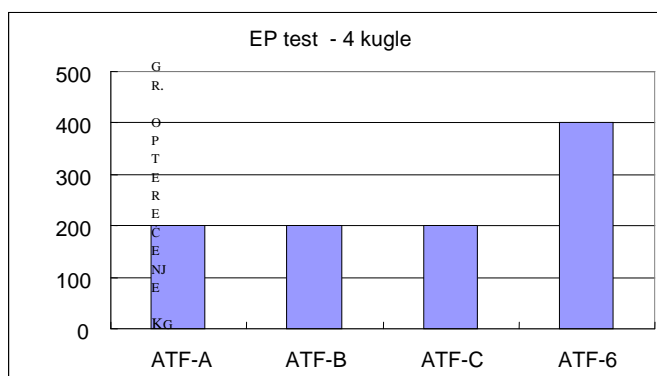
Kako je prije navedeno, nije moguće kvalitetno ocijeniti ATF, uzimajući u obzir samo otpornost na trenje. Korištenje starije aditivne tehnologije zajedno s novim dizajnom prijenosnika donosi dodatne izazove pred ATF formulatore. Svojstva podnošenja visokih opterećenja i svojstva zaštite od hrđe postaju poseban izazov jer komponente koje poboljšavaju ta radna svojstva, kao i svojstva otpornosti na trenje imaju tendenciju adsorbiranja ili na čeličnu ili na površinu tarne obloge. Zbog toga je neophodno postići ravnotežu između površine i aktivne komponente i na taj način omogućiti djelovanje ATF-a. Ta potreba za ravnotežom obično značajno ograničava radna svojstva maziva.

Tablica 2: Zaštita od hrđe prema ASTM D 665A

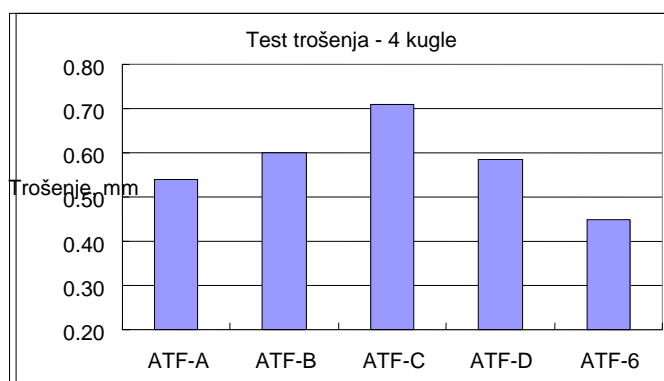
| Fluid | ASTM D665A |
|-------|------------|
| ATF-A | Ne prolazi |
| ATF-B | Ne prolazi |
| ATF-C | Ne prolazi |
| ATF-D | Ne prolazi |
| ATF-6 | Prolazi |

Svojstva zaštite od hrđe postaju sve značajnija kako viskoznost fluida postaje sve niža i mazivi film sve tanji. ASTM D 665A ispitna metoda, koja se također koristi u JASO specifikacijama, industrijski je standardiziran postupak za određivanje svojstava protiv hrđe. Mnoga azijska ATF ulja sa čak višom viskoznošću 7,2 mm²/s

imaju poznate slabosti na tom području. Tablica 2 daje popis ATF ulja iz tablice 1 i njihova svojstva zaštite od hrđe prema metodi ASTM D 665A.



Slika 3(a): Rezultati EP testa na uređaju sa 4 kuglice (ASTM D 2783)



Slika 3(b): Rezultati testa trošenja na uređaju sa 4 kuglice (ASTM D 2266)

Također se koriste industrijski standardizirani postupci na probnim stolovima za određivanje EP i svojstava protiv trošenja ATF ulja. Slika 3(a) i 3 (b) pokazuju rezultate EP testa na uređaju sa četiri kuglice (ASTM D 2783) i testa tošenja na istom uređaju (ASTM D 2266). Oni su standardizirani industrijski postupci za azijsko područje. U EP testu sa 4 kuglice najviše granično opterećenje (400 kg) je dobiveno sa ATF-6 uljem, koji ima najbolju otpornost na trenje. Rezultati EP svojstava toga ulja u usporedbi sa ostalim uljima dobiveni su sa vjerojatnosti višom od 95 %.

Izvanredna radna svojstva ATF-6 ulja su mjerljiva i na testu trošenja (manji srednji dijametar istrošenja), ali su statistički manje značajana, slika 3(b). I pored toga, ta ispitivanja pokazuju da su EP i svojstva protiv trošenja ATF-6 ulja novom tehnologijom aditiva otpornih na trenje i s KV 100°C od 5,5 mm²/s jednako dobra, ili bolja od, komercijalno prisutnih ATF ulja azijskog tipa, s KV 100°C oko 7,4 mm²/s. Važno je da nema gubitka u radnim svojstvima unatoč mogućnosti smanjenja debljine mazivog sloja ATF-a niže viskoznosti.

Zaključak

Ovaj rad prikazuje razvoj ATF ulja na mineralnoj osnovi, usmjerenog na azijsko tržište, sa rezultatima otpornosti na trenje preko 1000h na LVFA testu. Taj rezultat je dvostruko bolji od trenutno komercijalno dostupnih ATF-a na azijskom tržištu, dok su vrijednosti kapaciteta okretnog momenta slične. EP i svojstva zaštite od hrđe su također znatno bolja u usporedbi sa ostalim ATF uljima u regiji, uz sugestiju da lošija EP i svojstva protiv hrđe nisu nužno posljedica poboljšane otpornosti na trenje. Prema našem mišljenju, ATF-6 predstavlja novu razinu maziva s poboljšanom otpornošću na trenje koja omogućavaju uspješni razvoj novih tipova prijenosnika ili dopuštaju mnogo preciznije podešavanje njihovog rada.

Zahvala

Autor zahvaljuje suradnicima na njihovoj pomoći u Aftonovom razvojnom laboratoriju za ATF ulja u Japanu (Takuo Takano), u Engleskoj i Sjedinjenim Američkim Državama (Dave Strait, Kevin Strait, Dave Harer).

Literatura

Box, G., Hunter, W. And Hunter, J.; Statistics for Experimenters, Wiley & Sons, (1975).

| UDK | ključne riječi | key words |
|----------------------|---|-----------------------------------|
| 621.892:621.83.069.2 | ulje za automatske prijenosnike specifikacije Dexron VI | ATF fluid Dexron VI specification |
| 621.83.069.2 | automatski prijenosnici | automatic transmission |
| 665.764.038.5 | aditivi za ATF ulja automatskih prijenosnika | additive for ATF fluids |
| 539.62 | anti-friksijska svojstva | anti-shudder performance |
| 539.61 | svojstva zaštićenosti od trošenja | anti-wear properties |

Autori

Samuel H. Tersigni¹, Lee D. Saathoff¹, Christopher Cleveland¹, Mark S. Jones², Kenji Yatsunami³

¹R&D Laboratory, Afton Chemical, Inc., Richmond, Virginia, USA

²R&D Laboratory, Afton Chemical, Ltd., Bracknell, Berkshire, United Kingdom

³R&D Laboratory, Afton Chemical Japan Corp., Tsukuba, Japan

Primljeno

6.10.2009.

Prihvaćeno

6.5.2010.