

Alyvų tepamąsias savybes gerinančių joninių skysčių tribologinių savybių tyrimas

Vida Jokubynienė*

*Klaipėdos valstybinė kolegija, Transporto inžinerijos katedra
Bijūnų g. 10, LT-91223 Klaipėda, tel. 861815664
El. paštas v.jokubynienė@kvk.lt
Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija
Studentų g. 15a. 53361 Akademija, Kauno r.*

(Gauta 2020 m. sausio mėn.; atiduota spaudai 2020 m. kovo mėn.; prieiga internete nuo 2020 m. gegužės 11 d.)

Anotacija

Vienas iš pagrindinių eksploatacinių tepamųjų medžiagų reikalavimų yra ilgaamžiškumas ir tribologinių savybių stabilumas visą naudojimo ar laikymo laikotarpį. Visos medžiagos laikui bėgant sensta ir praranda savo pirmines savybes, ne išimtis ir variklinės alyvos. Oksidacinis tribologinių savybių stabilumas ir žema temperatūra, klampinės savybės, vis dar išlieka pagrindiniu tepamųjų medžiagų trūkumu, todėl šis klausimas yra aktualus, be to, mažai išnagrinėtas.

Joninių skysčių taikymas tepaluose ir alyvose yra reikšmingas tyrimų objektas dėl savo unikalių savybių: turi gerą terminį ir cheminį poveikį, stabilumą, mažą lydymosi temperatūrą, nereikšmingas kintamumas (mažas degumas), didelis jonų laidumas, poliškumas, maišymo su daugeliu junginių ir vidutinio sunkumo klampumas. Be daugelio patrauklių savybių vienas įdomus joninių skysčių aspektas yra dipolinė dinamika.

Reikšminiai žodžiai: *joninis skystis; tribologija; ekologija; ilgaamžiškumas.*

Abstract

One of the main requirements for lubricants for performance is the durability and stability of the tribological properties throughout their use or storage. All materials age and eventually lose their basic properties, not to mention motor oils. Oxidative, tribological stability and poor low temperature viscous properties are still the main disadvantage of lubricants, therefore this problem is relevant and little studied.

The use of ionic liquids in lubricants / oils is an important object of research due to their unique properties, have good thermal and chemical effects, stability, low melting point, low variability (low flammability), high ionic conductivity, polarity, mixed viscosity and moderate viscosity. In addition to many attractive properties, one of the interesting aspects of ionic liquids is dipole dynamics.

Key words: *Ionic liquid; tribology; ecology; longevity*

Įvadas

Palankios tepimo priemonės naudojamos pastaraisiais metais turi didelę reikšmę aplinkai, nes jos naujos ir veiksmingos, tai lemia naudojimo didėjimą ir susidomėjimą šiuo skysčiu. Dar svarbiau – efektyviai vystyti šio skysčio panaudojimą, ir tai matomas didžiulis svarbus šuolis technologiniame procese, įvairiose inžinerijos ir gamybos pramonės srityse. Joniniai skysčiai (JS), kurie buvo tiriami iki šiol, kaip tepimo priemonės, atlieka svarbų vaidmenį, didinant tribologinę medžiagų sąveiką. Dabartiniai tyrimai susiję su nauju taikymu ir naujai atsirandančiomis sritimis, kaip naudoti JS kaip naujas pažangias tepimo medžiagas. JS savybės, įskaitant jų fizines ir chemines savybes, yra geresnės nei įprastinės tepimo priemonės. Kalbant apie taikymą, matoma daugialypė pažanga JS kaip švarių tepalų. Atsižvelgiant į techninius pokyčius, pramonines, biologines problemas, pavojų aplinkai ir ateities perspektyvoms, tai matomas potencialas ir alternatyva įprastiniams tepalams (Amirril S. A. S., Rahim E. A., Syahrullail S, 2017).

JS yra organinės druskos ir apibrėžtos kaip junginiai, kurie susideda tik iš jonų, kuriuose vienas arba abu jonai yra ekologiški. Šie jonai yra arba teigiami, arba neigiami, kadangi bent vienas iš jų turi ryšį iš delokalizacijos, jie koordinuoja jų grotelių struktūrą ir neleidžia jiems formuoti kristalų kietąsias medžiagas. Taigi, su šiomis priskirtomis priežastimis, JS yra skysta medžiaga žemesnėje nei 100 ° C temperatūroje ar net kambario temperatūroje.

Manoma, kad įvertinant JS produktyvumo požiūriu, ekonominius, technologinius, sveikatos ir socialinius aspektus atneš konkretų gamybos proceso ribą ir gerokai patobulins tvarios sistemos kūrimą gaminant gaminius.

Tyrimu nustatyta: klampumo vertė JS svyruoja nuo didžiausios iki daugiau kaip 3000 mm², s 1 iki mažiausios – 20 mm², s 1 esant 40 ° C, sukuriamas tvirtas tepalų sluoksnis, kuris užtikrina puikią apkrovą dirbant skirtingų tepimo režimų metu (hidrodinaminiai ir elastohidrodinaminis bei ribinis tepimas) ir teikia platų temperatūros diapazoną aušinimui nei kitos įprastos skysčio tepimo priemonės.

Joniniai skysčiai kelia mokslinį smalsumą jau apie keturiasdešimt metų ir pastaraisiais dešimtmečiais jų tyrimų kiekis nemažėja. Susidomėjimas jais neslūgsta, kadangi JS pritaikymo galimybių yra labai įvairių: jie naudojami kaip elektrolitai ličio baterijose, akumuliatoriuose ir termo-elektrocheminiuose elementuose, cheminių reakcijų katalizavimui (D. R. MacFarlane, N. Tachikawa, M. Forsyth, 2014), JS gali būti pritaikyti funkcinių nanodalelių sintezei (M. Antonietti, D. Kuang, B. Smarsly, 2004) ir daugelyje kitų sričių. JS yra puikūs organinių ir neorganinių medžiagų tirpikliai (M. Mora-Pale, L. Meli, T. V. Doherty, R. J. Linhardt, and J. S. Dordick, 2011), kurių daugelį fizikinių savybių, tokių kaip klampa, tankis, tirpumas, poliarizuojamumas, lūžio rodiklis, varža ir kitas, galima parinkti specifiniams poreikiams keičiant katijoną ir / arba anijoną (Koel, 2005). Be to, joniniai skysčiai yra nelakūs ir gali tapti ekologiškesne alternatyva pramoniniams tirpikliams, tokiems kaip toluenas ar acetonas. Tenka pabrėžti, kad [BMIM]+katijoną turinčių JS yra citotoksiški ir, pastariesiems patekus į vandens telkinius, siejami su gėlavandenės gyvybės nykimu.

Teigiama, kad fosfonis jonų skystis turi puikų tribologinį efektyvumą ir yra pranašesnis už įprastinius jonų skysčius 1-eti-3-heksilimidazolio heksafluorofosfatu (P206), atsižvelgiant į nusidėvėjimo našumą ir keliamąją galią. Analizuojant skirtingų kontaktinių paviršių ribinės plėvelės cheminės sudėties ant skenuojančio elektronų mikroskopo su „KeveX“ energiją išsklaidančiu rentgeno analizatoriumi (SEM / EDS) ir rentgeno fotoelektroniniu spektrometru (XPS), siūloma, kad trinties mažinimo ir nusidėvėjimo mechanizmas atsirastų iš sluoksnuotos joninio skysčio struktūros tada tepimas ir anijonų tribocheminė reakcija su šviežiais paviršiais būtų efektyvesnė (XuQing L., Feng Z., YongMin L., WeiMin L., 2006).

Pastarąjį dešimtmetį sparčiai augo jonų tyrimai skysčiai, skirti įvairiems tikslams kaip katalizatorius, skystieji kristalai, „žalias“ tirpiklis organinės sintezės metu ir atskyrimo, elektrochemijos, fotochemija, CO₂ saugojimo įrenginiai ir t. t.

Joniniai skysčiai turi keletą unikalių savybių, įskaitant nereikšmingą nepastovumą, nedegumą, didelį terminį stabilumą, mažą lydymosi temperatūrą, platus skysčio intervalas ir kontroliuojamas maišymas su organiniais junginiais, kurie atitinka aukštos kokybės reikalavimus. Neseniai nustatyta, kad alkilimidazoliumas joninis skystis gali veikti kaip universalus tepalas skirtingoms judančioms poroms ir pasižymi puikiu trinties mažinimu, antikorozine apsauga, našumu ir didele apkrova. Tačiau kai alkilimidazoliumas buvo naudojamas kaip tepalas, buvo pastebėta šiek tiek korozijos užuomazgų ir spalvos pasikeitimas. Norint teigiamo rezultato, dar reikia daug nuveikti.

Joninis skystis (JS) trihexyltetradecylphosphonium bis (2-ethylhexyl) fosfatas buvo iširtas kaip potencialus antidėvėjimosi tepalo priedas. Skirtingai nuo daugumos kitų JS, kurie turi labai žemą tirpumą nepoliariniuose skysčiuose, šis JS yra visiškai susimaišantis su angliavandenilio aliejumi. Be to, tai šilumos atžvilgiu labai stabilu iki 347 °C, neparodė jokių korozijos požymių, kad būtų geležies pėdsakų, supančioje aplinkoje, ir turi puikų drėkinimą ant kietų paviršių (pavyzdžiui, ant ketus <8 °). Svarbiausiai tai, kad šis fosfoninis skystis JS parodė efektyvų tepimą ir geras antidėvėjimosi savybes, kai buvo sumaišytas su variklinėmis alyvomis. Pavyzdžiui, 5 % masės į bazinę alyvą pagerino dilimo savybes, todėl sumažino trinties koeficientą 60 % ir dėvėjimo greitį 3 kartus. Esant apsaugai nuo dilimo, pastebėtas sinerginis poveikis nusidėvėjimui, kai skystis buvo pridedamas prie visiškai paruoštos variklinės alyvos. Nanostruktūrinis tyrimas ir kompozicijos analizė leido nustatyti trijų sluoksnių plėvelę ir mažą deformacijos zoną metalo paviršiui, sutepant

paviršius tepalu, kurių sudėtyje yra JS. Manoma, kad ši apsauginė ribinė plėvelė yra atsakinga už antiribinį ir antidėvėjimosi funkcionalumą (Jun Q., Dinesh G. Bansal, and others, 2012).

Ištirtas jonų skysčių kaip aliuminio priedų naudojimas. Nustatyti įvairių jonų skysčių, turinčių fosfonio, imidazolio ir pirolidinio, maišymo ir nusidėvėjimo požymiai poliarinių ir ne polinių bazinių alyvų diapazone. Pastebima, kad jonų skysčių struktūra ir jonų susiejimas aptiktas bazinėse alyvose. Atliekant nusidėvėjimo bandymus, kai kurių mišrių bazinių alyvų / JS mišinių kiekis sumažinamas tik remiantis bazine alyva. Ne poliniai bazinės alyvos / JS mišiniai sugebėjo atlaikyti poliarinius bazinės alyvos / JS mišinius. 10 N, tik 0,01 mol / kg JS arba 0,7–0,9s % masė buvo pakankama masė nepoliarinėms bazinėms alyvoms. Rentgeno struktūrinė nusidėvėjimo paviršių analizė parodė, kad JS sumažėjimas ant paviršiaus, kur jis gali sudaryti sluoksnius su maža šlyties jėga ir taip pat reaguoja su triplekso formavimu, yra svarbus mažinant trintį ir dilimą. Didžiausias nusidėvėjimo sumažėjimas esant didžiausiai apkrovai buvo nustatytas mineralinio aliejaus / P6,6,6,14 i (C8) 2PO2 mišiniui.

Buvo įrodyta, kad jonų skysčio struktūra ir interioninė sąveika yra svarbi nustatant, kaip ji susimaišys su bazine alyva. Nustatyta, kad dauguma ilgos grandinės alkilfosfonio katijonų yra maišomi su poliniais baziniais aliejais, pavyzdžiui, augaliniu aliejumi. Neapolinės bazinės alyvos, pvz., mineralinės alyvos atveju nustatyta, kad sumaišytas fosfonio JS su padidintu jonų poravimu, taip pat ilgos alkilo grandinės ant anijono ir katijono (Somers A., Khemchandani B. and others, 2013).

Biotepalų gamybos ir panaudojimo klausimais Lietuvoje intensyviau pradėta domėtis pastarąjį dešimtmetį. Iki tol pavieniai entuziastai vykdė teorinius tyrimus, kurių išvados dažnai buvo prieštaringos. Remiantis praktiniais tyrimais ir literatūros medžiagos analize, buvo konstatuojama, kad joninių skysčių naudojimas šalyje praktiškai neturi realios ateities. Tik nuolat griežtėjantys aplinkosauginiai reikalavimai ir beveik nepaliaujamai kylančios energetinių išteklių kainos, vėl privertė atsigręžti į joninių skysčių gamybos ir naudojimo galimybių tyrimus.

Tepamųjų medžiagų tribotechninėms savybėms vertinti gali būti naudojamos mašinos, skirtos tribotechninėms konstrukcinių medžiagų savybėms tirti, jeigu jose yra numatyta galimybė tepti trinties paviršius. Taip pat yra nemažai mašinų, skirtų specialiai tepamosioms medžiagoms tirti.

Straipsnio tikslas – ištirti alyvų tepamąsias savybes gerinančių joninių skysčių tribologines savybes.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti literatūros šaltinių analizę, apžvelgiant alyvų ir joninių skysčių tepamąsias savybes.
2. Ištirti joninių skysčių įtaką variklinės alyvos tepamosioms savybėms.
3. Gautus rezultatus palyginti su kitų mokslininkų gautais rezultatais.

Tyrimo metodika

Tyrimas atliktas VDU žemės ūkio inžinerijos instituto laboratorijoje. Joninių skysčių tepamosios savybės tirtos slenkamojo grįžtamojo judesio tribometru. Atliekant biologinių tepalų tribologinius tyrimus, buvo naudojami šie prietaisai ir įrenginiai:

TR-282(DUCOM) (1pav.), svarstyklės KERNeg – 420N, optinis mikroskopas, ultragarsinė vonelė VTUSC2- Velleman, TK maišytuvas.

Ant apkrovos svirties dedamas svarstis, atitinkamai sudarantis rutulį kontakte 1N apkrovą. Į alyvą merkiama tepamosios medžiagos temperatūrą registruojanti K – tipo termopora. Įrenginys paleidžiamas tyrimui. Tyrimo trukmė 30 minučių.

Po tyrimo matuojamas ant rutulių susidariusių dilimo pėdsakų skersmuo (nejudančių rutulių dilimo pėdsakas – skritulys, besisukančio rutulio dilimo pėdsakas – juosta). Dilimo pėdsakų matmenys nustatomi optiniu mikroskopu.



1 pav. Slenkamojo grįžtamojo judesio tribometras
Fig. 1. Reciprocating Tribometer

Gautas dilimo pėdsakų skersmuo yra pagrindinis antidiliminių savybių vertinimo kriterijus.

Tirti skysčiai yra grynos ir specialiais priedais modifikuotos tepančiosios medžiagos. Pasirinkta variklinė alyva 5w-40 ir joniniai skysčiai IL-PP ir IL AP, taip pat šie skysčiai atitinkamomis proporcijomis buvo maišomi ir gauti skysčių mišiniai.

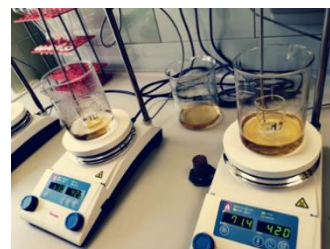
1 lentelė. Tiriama skysčiai
Table 1. Proven fluids

Metil-trioktilamonio bis(trifluormetilsulfonil) imidas		Triheksiltetradecilfosfonio bis(2,4,4-trimetilpentil) fosfinatas	
$\begin{array}{c} \text{CH}_2(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{N}^+-\text{CH}_2(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3 \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{CF}_3 \\ \\ \text{O}=\text{S}=\text{O} \\ \\ \text{N}^- \\ \\ \text{O}=\text{S}=\text{O} \\ \\ \text{CF}_3 \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{CH}_2(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2-\text{P}^--\text{CH}_2(\text{CH}_2)_{12}\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3 \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{P}-\text{O}^- \\ \\ \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	
Alyva 95 %	Joninis skystis 5 %	Alyva 95 %	Joninis skystis 5 %
5W-40	IL-A1	5W-40	IL-PP

Tepamųjų medžiagų kiekiai bei priedų koncentracijos nustatytos sveriant analitinėmis svarstyklėmis KERN- 420N, 0,001gramo tikslumu. Paruošimui ir temperatūros palaikymui buvo naudojamas magnetinis maišytuvas (2 pav.).



a)



b)

2 pav. Naudojama įranga: a) analitinės svarstyklės KERN- 420N; b) magnetinis maišytuvas
Fig. 2. Equipment used: a) analytical scales KERN-420N; b) magnetic stirrer

Bandymas buvo atliekamas taip: specialus indas, į kurį yra įpilama variklinė alyva ir JS, dedama ant magnetinio maišytuvo, kuris yra pašilęs iki 70 °C temperatūros ir matuoja indo temperatūrą su įpilta alyva. Uždėtas skystis ant maišyklės, įdedamas magnetas, kurį naudojant bus sumaišomi skysčiai. Maišymo trukmė 420 min.

Trinties poroje rutulys-plokštuma naudotas 6 mm skersmens rutulys (pagamintas iš guolių plieno E-52100, kietumas HRC 58–66, paviršiaus šiurkštumas Ra 0,05μm) ir to paties plieno plokštuma (kietumas HV 30 190–120, paviršiaus šiurkštumas Ra 0,02μm) (3 pav.)

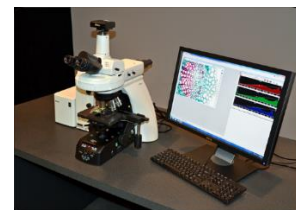
Prieš tyrimą rutuliai, plokštumos ir kitos su tiriamą alyva sąveikaujančios detalės plaunamos ultragarsinėje vonelėje 8 min. toluene, 5 min. acetone (4 pav.).



3 pav. Rutulys guolių plieno E-52100
Fig. 3. Bearing steel ball E-52100



4 pav. Ultragarasinė vonelė
Fig. 4. Ultrasonic bath



5 pav. Mikroskopas
Fig. 5. Microscope

Po bandymų įvertinamas nudilimas, NIKON ECLIPSE MA 100 mikroskopu, matuojant ant rutuliuko susidariusį dilimo pėdsako skersmenį (5 pav.).

Viso tyrimo metu registruojamas susidarantis trinties koeficientas.

Tyrimų atlikimo sąlygos pateiktos 2 lentelėje. Nustatyta tyrimo temperatūrai pasiekti prieš kiekvieną tyrimą trinties pora 30 min. išlaikoma tyrimų temperatūroje.

2 lentelė. Tribologinių tyrimų atlikimo sąlygos
Table 2. Conditions for conducting tribological tests

Tyrimo sąlygos	Vertė
Apkrova, N	1
Judėjimo amplitudė, mm	1
Kontaktinis slėgis, MPa	max - 659, min. - 439
Judėjimo dažnis, Hz	15
Tyrimo trukmė, min.	30
Tyrimo temperatūra, °C	30
Alyvos kiekis, ml	2

Tiriamos *fizinės ir cheminės savybės*: klampa, klampos indeksas, tankis, rūgštingumas, koroziškumas.

Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

Atlikus tribologinius tyrimus su šiais dviem skysčiais, dviem skysčių mišiniais bei varikline alyva, nuspręsta neatlikti bandymo su kitais joninių skysčių ir alyvos mišinių skysčiais, kadangi ne visi JS lengvai tirpsta alyvoje (maišosi). Taip pat buvo išmatuoti rutuliukų nudilimai, 3 lentelėje matyti, kad šiuo atveju mažiausias nudilimas gaunamas su IL-A1 joniniu skysčiu, o didžiausias nudilimas gaunamas su IL – PP joniniu skysčiu. Lyginant skysčius ir jų mišinius tribologinių savybių skirtumo didelio nėra.

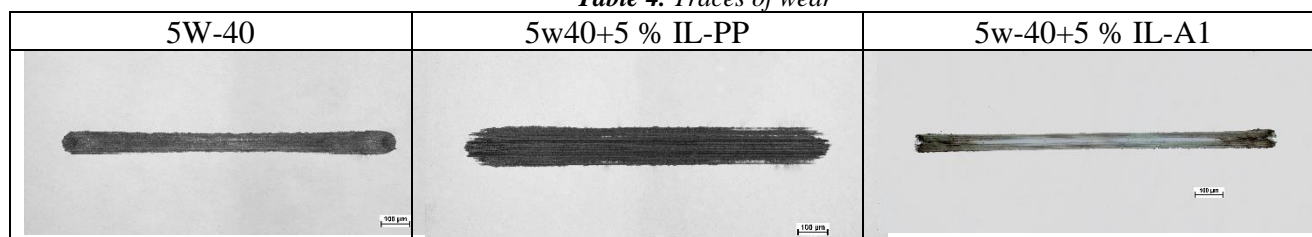
Analizuojant dilimo pėdsakus nustatyti skirtingi jų vaizdai 3 lentelė. Bandant skysčius IL-PP ir 5w-40 1 N apkrova 30 °C, nudilusio paviršiaus pėdsakai yra lygūs su ryškiais kraštais, o tepant su IL-A1 pėdsako paviršius padengtas apsaugine plėvele.

3 lentelė. Nudilimo pėdsakai
Table 3. Traces of wear

5W-40	IL-PP	IL-A1

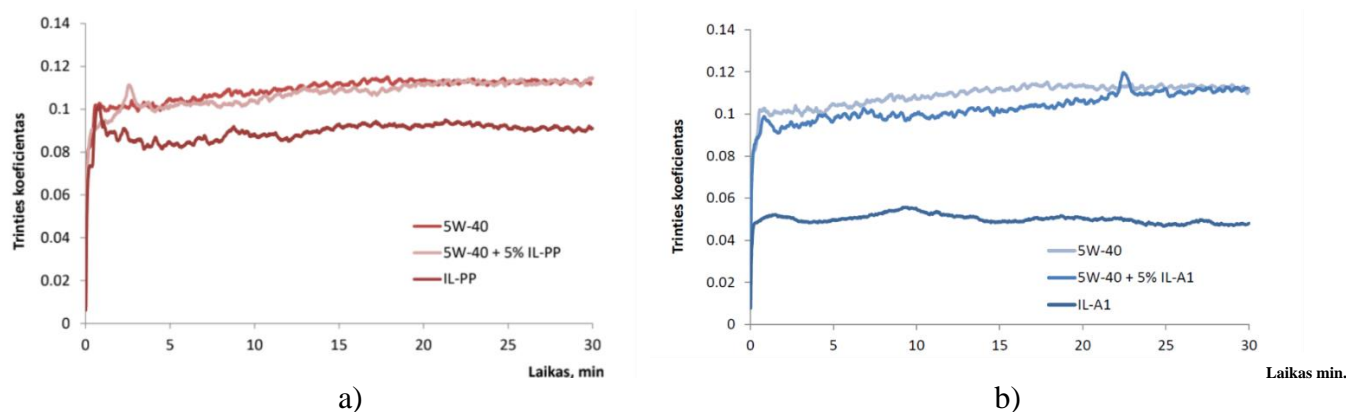
4 lentelė. Nudilimo pėdsakai

Table 4. Traces of wear



Analizuojant dilimo pėdsakus yra nustatyti skirtingi jų vaizdai 4 lentelė. Bandant skysčių mišinius 5W-40+5 % IL-PP, 5W-40+5 % IL-A1 ir 5W-40 1 N apkrova 30 °C, nudilusio paviršiaus pėdsakai yra lygūs su ryškiais kraštais, o tepant su 5W-40+5 % IL-A1 pėdsako paviršius padengtas apsaugine plėvele, pėdsako dydis labai mažas.

Tyrimo metu, lyginant grynus JS ir jų mišinius, galima lyginti trinties koeficiento reikšmes. Pateikti rezultatai 6 pav. Alyvos 5W-40, JS – IL-PP ir alyvos bei skysčio mišinio (6 pav. a) grafinio vaizdo galima matyti, kad mažiausias trinties koeficientas 0,08 yra JS IL-PP, o didžiausias variklinės alyvos 0,1.



6 pav. Trinties koeficiento reikšmės

Fig. 6. Friction coefficient values

Analizuojant alyvos 5W-40, JS IL-A1 ir 5W-40+5 % IL-A1 rezultatus (6 pav. b) akivaizdžiai matome, kad JS IL-A1 turi mažiausią trinties koeficientą 0,05, o didžiausią variklinė alyva 5W-40. Lyginant JS IL-PP ir IL-A1 tai geresnis rezultatas matomas IL-A1 skysčio, taip pat su šiuo joniniu skysčiu esantis mišinys turi mažesnę trinties koeficientą.

Atliktų tyrimų duomenimis 5W-40+5 % IL-A1 alyvos JS mišinys, lyginant su analogiškos paskirties mišiniu 5W-40+5 % IL-PP, pasižymėjo geresnėmis tepamosiomis savybėmis. Šios koncentracijos 5 % ir mišinio IL-A1 alyva, lyginant su IL-PP, efektyviau slopino dilimą (pagal dilimo dėmės skersmenį apie 15 %) ir užtikrina mažesnius ir stabilesnius trinties nuostolius (pagal vidutinį trinties koeficientą 25–30 %).

Išvados

1. Iš atliktų tyrimų galima teigti, kad variklinės alyvos 5W-40 ir mišinių 5W-40+5 % IL-A1, 5W-40+5 % IL-PP tribologinės savybės priklauso nuo mišinio koncentracijos.
2. Trintį ir dilimą nepagerina variklinės alyvos mišiniai su JS 5W-40+5 % IL-A1, 5W-40+5 % IL-PP, taip ir jų tribologinių savybių: nudilimas ir trinties nuostoliai pasikeičia vos 1 %.
3. Trintį ir dilimą slopinančio JS IL-A1 skystis pasižymi geromis tribologinėmis savybėmis.
4. Mišiniai pasižymi žymiai efektyvesnėmis tribologinėmis savybėmis (mažesni trinties nuostoliai ir nudilimas) lyginant su varikline alyva.

5. Geriausiomis tribologinėmis savybėmis pasižymėjo IL-A1 joninis skystis. Šis skystis, lyginant su varikline alyva, efektyviai slopino dilimą (pagal dilimo dėmės skersmenį apie 15 %) ir mažino bei stabilizavo trinties nuostolius bandymų metu (pagal vidutinį trinties koeficientą 25–30 %). JS IL-A1 ne tik labiausiai mažina trintį, bet ir bandymų metu šie nuostoliai turi tendenciją mažėti.
6. Iš atliktų rezultatų galima teigti, kad nėra naudinga maišyti JS ir varklinę alyvą ne tik ekonominiu atžvilgiu, bet ir dėl tribologinių savybių rodiklių.

Literatūra

1. Amiril, S.A.S., Rahim, E.A., Syahrullail S. (2017). A review on ionic liquids as sustainable lubricants in manufacturing and engineering: Recent research, performance, and applications. *Journal of Cleaner Production* 2017, 1571-1589.
2. Antonietti, M., Kuang, D., Smarsly, B., and Zhou, Y. (2004). Ionic liquids for the convenient synthesis of functional nanoparticles and other inorganic nanostructures. *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 43, no. 38, pp. 4988–4992.
3. Fuller, J., Breda, A. C., and Carlin, R. T. (1998). Ionic liquid-polymer gel electrolytes from hydrophilic and hydrophobic ionic liquids. *J. Electroanal. Chem.*, vol. 459, no. 1, pp. 29–34.
4. Jun, Q., Dinesh, G. Bansal, and others (2012). *Antiwear Performance and Mechanism of an Oil-Miscible Ionic Liquid as a Lubricant Additive*. American Chemical Society.
5. Koel (2009). Ionic Liquids in Chemical Analysis. *Crit. Rev. Anal. Chem.*, vol. 35, no. 3, pp. 177–192, Jul.
6. Lewandowski, A. and Świdarska-Mocek, A. (2009). Ionic liquids as electrolytes for Li-ion batteries—An overview of electrochemical studies. *J. Power Sources*, vol. 194, no. 2, pp. 601–609, Dec.
7. MacFarlane, D. R., Tachikawa, N., Forsyth, M., and others (2014). Energy applications of ionic liquids. *Energy Environ. Sci.*, vol. 7, no. 1, p. 232.
8. Mora-Pale, M., Meli, L., Doherty, T. V., Linhardt, R. J., and Dordick, J. S. (2011). Room temperature ionic liquids as emerging solvents for the pretreatment of lignocellulosic biomass. *Biotechnol. Bioeng.*, vol. 108, no. 6, pp. 1229–1245.
9. Somers, A., Khemchandani, B. and others (2013). *Ionic Liquids as Antiwear Additives in Base Oils: Influence of Structure on Miscibility and Antiwear Performance for Steel on Aluminum*. American Chemical Society.
10. XuQing, L., Feng, Z., YongMin, L., WeiMin, L. (2006). Tribological performance of phosphonium based ionic liquids for an aluminum-on-steel system and opinions on lubrication mechanism. *Wear*. 1174–1179.

The Study of the Tribological Characteristics of Ionic Liquids that Improve the Lubricating Characteristics of Oils

(Received in January, 2020; Accepted in March, 2020; Available Online from 11th of May, 2020)

Summary

The favorable lubricants used in recent years are of great importance to the environment, as they are new and effective, affecting the increase in use and interest in this fluid. More importantly the effective development of the use of this fluid is a huge leap in technology in various fields of engineering and production. Ionic liquids (IL), which have so far been investigated as lubricants, play an important role in enhancing the tribological interaction between materials. Ongoing researches focus on new applications and new fields of using IL as new advanced lubricants. The characteristics of IL, including their physical and chemical characteristics, are better in accordance to conventional lubricants.

Ionic liquids have a number of unique characteristics including low volatility, non-flammability, high heat resistance, low melting temperature, a wide range of liquids and controlled mixing with organic compounds that meet high quality requirements. Recently it has been discovered that alkyylimidazolium ionic liquid acts as a universal lubricant for various moving pairs and has excellent friction reduction, corrosion protection, performance and high load capacity.

Analysis of traces of abrasion revealed different images. When tested with IL-PP and 5W-40 1 N at 30°C, traces of the abrasive surface are smooth with sharp edges, and when with IL-A1, the surface of the trace is covered with a protective surface. When testing liquid mixtures 5W-40 + 5% IL-PP, 5W-40 + 5% IL-A1 and 5W-40 1 N at a load of 30°C, traces of the abrasive surface are smooth with sharp edges and when applied 5W-40 + 5 % the surface of the IL-A1 footprint is also covered with a protective surface with a very small print.

According to studies, a mixture of 5W-40 + 5% IL-A1 with IL oil had better lubricating properties compared to a mixture of 5W-40 + 5% IL-PP. These concentrations of 5% and oil mixed with IL-A1 more effectively inhibited abrasion (about 15% of the diameter of the abrasive spot) than IL-PP, and provided lower and more stable friction losses (25-30% on average friction).