

Marian Włodzimierz SUŁEK*, **Tomasz WASILEWSKI***,
Marta OGORZAŁEK*, **Anna BAŁK***, **Przemysław SKRZEK***,
Juliusz PERNAK**, **Filip WALKIEWICZ****

WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE WYBRANYCH CIECZY JONOWYCH W SKOJARZENIACH MATERIAŁOWYCH: STAL-PA6 I STAL-PMMA

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF SELECTED IONIC LIQUIDS IN THE MATERIAL PAIRS: STEEL-PA6 AND STEEL-PMMA

Słowa kluczowe:

ciecze jonowe, współczynnik tarcia, zużycie

Key-words:

Ionic liquids, friction coefficient, wear

Streszczenie

Jednym z kierunków poszukiwań nowych baz substancji smarowych lub dodatków do baz są ciecze jonowe. Rekomendowane są one jako należą-

* Politechnika Radomska, Katedra Chemii, Zakład Chemii Fizycznej i Nieorganicznej, ul. Chrobrego 27, 26-600 Radom.

** Politechnika Poznańska, Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zakład Technologii Chemicznej, pl. Skłodowskiej-Curie 2, 60-965 Poznań.

ce do tzw. „zielonej chemii”. Ciecze te osiągają temperaturę topnienia rzędu „temperatur pokojowych”.

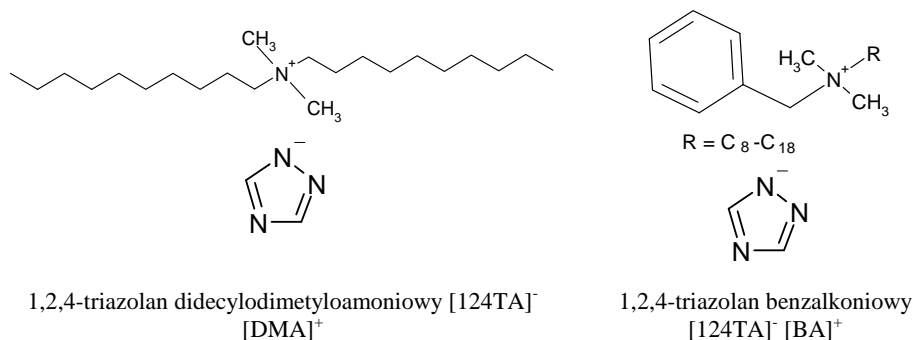
W pracy przedstawiono wyniki badań tribologicznych w skojarzeniu: stalowa kulka–tarcza wykonana alternatywnie z: poliamidu 6 oraz poli-metakrylanu (Tester T-11). Wyznaczono współczynnik tarcia i profile zużycia w warunkach tarcia suchego i w obecności: wody, oleju parafinowego oraz dwóch rodzajów cieczy jonowych. Stwierdzono, że ciecze jonowe charakteryzują się niskimi oporami ruchu i zużyciem porównywalnymi z olejem parafinowym, który jest stosowany jako standardowa baza. W związku z tym można postulować, że ciecze jonowe mogą być traktowane jako nowy rodzaj bazy substancji smarowych.

WPROWADZENIE

Jednym ze sposobów zapobiegania niekorzystnym skutkom tarcia jest zastosowanie substancji smarowych. Właściwy dobór substancji smarowych jest trudny, gdyż musi uwzględniać rodzaj materiału i geometrię pary cieiernej oraz wielkość i rodzaj wymuszeń zewnętrznych. Substancje smarowe są zazwyczaj skomplikowanymi kompozycjami wielu składników. Duża liczba prac naukowych dotyczących substancji smarowych koncentruje się na optymalizacji układu baza–pakiet dodatków [L. 1–9].

Od kilku lat w literaturze fachowej można zaobserwować wzrost zainteresowania cieczami jonowymi [L. 10–13]. Ważne jest z punktu widzenia przewidywanych aplikacji jako baz substancji smarowych, aby występowały one w stanie ciekłym w przedziale niskich temperatur, „temperatur pokojowych”. Ciecze jonowe o niskich temperaturach topnienia zawierają zazwyczaj w swoim składzie duży i niesymetryczny kation. Właściwości cieczy jonowych mogą być w miarę łatwo kształtowane poprzez dobór rodzaju kationu i anionu. Szacuje się, że liczba kombinacji, umożliwiająca powstanie niskotemperaturowych cieczy jonowych wynosi około 10^{18} [L. 14–15].

W prezentowanej pracy wytypowano dwie modelowe ciecze jonowe: 1,2,4-triazolan didecyldimetyloamoniowy ([124TA][DMA]) i 1,2,4-triazolan benzalkoniowy ([124TA][BA]), które poddano testom tribologicznym (Tester T-11). Wzory strukturalne molekuł tych cieczy przedstawiono na **Rys. 1**.



Rys. 1. Wzory wykorzystywanych w badaniach cieczy jonowych

Fig. 1. Formulas of ionic liquids used for the tests

Ciecze jonowe syntezowano w Zakładzie Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Badania prowadzono w skojarzeniu materiałowym stal–poliamid 6 (PA6) i stal–polimetakrylanmetylu (PMMA). Dla tych skojarzeń wykonywano testy: bez obecności substancji smarowej, w obecności tradycyjnych baz – wody i oleju parafinowego oraz w obecności badanych cieczy jonowych.

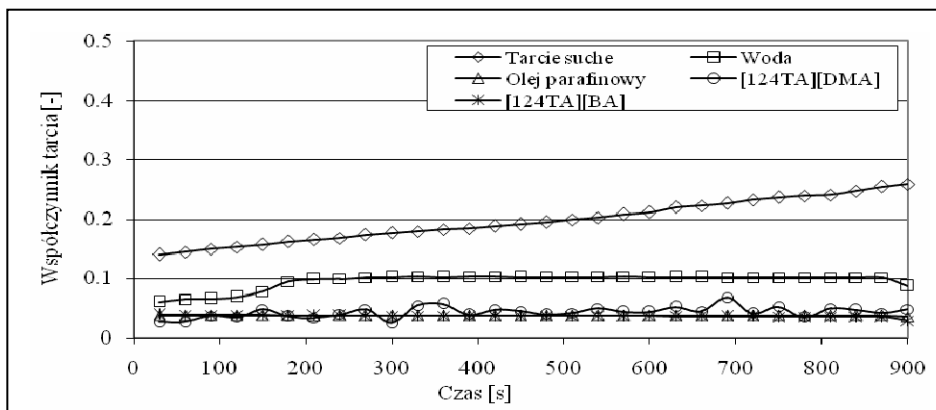
WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE CIECZY JONOWYCH W SKOJARZENIACH MATERIAŁOWYCH STAL–PA6 I STAL–PMMA

Do badań wykorzystywano aparat T-11 produkcji ITeE – PIB Radom¹. Badania prowadzono w skojarzeniu kulka–tarcza, przy obciążeniu 50 N, zgodnie z metodyką opracowaną przez M. Szczerka i wsp. [L. 3]. Na wykresie ilustrującym zmiany współczynnika tarcia w czasie (Rys. 2–3) poszczególne punkty są uśredniane po czasie, w przedziałach 30-sekundowych i z 3 niezależnych pomiarów. W tabeli (Tab. 1) przedstawiono wartości współczynników tarcia uśrednione z całego, 900-sekundowego testu, z trzech niezależnych serii pomiarowych. Do obliczenia granic przedziału ufności wartości średnich wykorzystano rozkład t-Studenta. Dla poziomu ufności 0,90 wyznaczono przedziały ufności, które stanowiły błąd pomiarowy.

Przykładowe zależności współczynnika tarcia (μ) od czasu dla skojarzeń materiałowych stal–PA6 i stal–PMMA przedstawiono odpowiednio

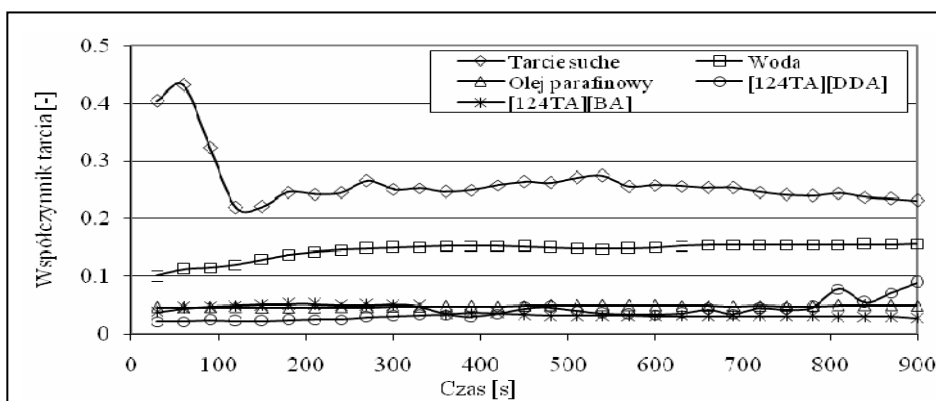
¹ Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom.

na **Rys. 2** i **Rys. 3**. Uśrednione wartości współczynnika tarcia zaprezentowano w **Tab. 1**.



Rys. 2. Przykładowe zależności współczynnika tarcia od czasu w skojarzeniu kulka stalowa–tarcza wykonana z PA6

Fig. 2. Examples of dependences of friction coefficient on time for a steel ball–PA6 disc



Rys. 3. Przykładowe zależności współczynnika tarcia od czasu w skojarzeniu kulka stalowa–tarcza wykonana z PMMA

Fig. 3. Examples of dependences of friction coefficient on time for a steel ball–PMMA disc

Współczynnik tarcia w skojarzeniu stal–PA6 (tarcie suche) systematycznie wzrasta, osiągając w 900 sekundzie wartość około 0,25. Zastosowanie wody jako substancji smarowej spowodowało, że nastąpił spadek wartości μ do około 0,1. W obecności cieczy jonowych oraz oleju parafinowego uzyskiwano wartości współczynnika tarcia na poziomie 0,04.

Tabela 1. Wartości współczynnika tarcia i głębokości śladów zużycia po tarcniu

Table 1. Values of friction coefficient and depth of wear tracks

	Współczynnik tarcia [-]		Głębokość śladu zużycia tarczy [μm]	
	stal – PA6	stal - PMMA	stal – PA6	stal – PMMA
Tarcie suche	$0,20 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,03$	4 ± 3	38 ± 5
Woda	$0,10 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,02$	6 ± 2	13 ± 2
Olej parafinowy	$0,04 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$	<1	<1
[124TA][DMA]	$0,04 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$	<1	<1
[124TA][BA]	$0,04 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$	<1	<1

Dla skojarzenia materiałowego stal–PMMA (tarcie suche) współczynnik tarcia w początkowej fazie testu przyjmował wartość około 0,4, po czym po przekroczeniu 100 s testu zmniejszał się do wartości około 0,25. Do końca testu nie odnotowywano znaczących zmian. Obecność w węzle tarcia wody wpływała na redukcję μ do wartości około 0,15. Natomiast, zastosowanie cieczy jonowych i oleju parafinowego wpływa na zdecydowane zmniejszenie oporów ruchu. Wartości μ kształtowały się, podobnie jak dla skojarzenia stal–PA6, na poziomie 0,04–0,05.

Po testach tarciovych wykonywano profile śladów zużycia tarcz. Do badań wykorzystywano profilometr TOPO 01 produkcji IZTW Kraków². Wykonywano badania, w których igła skanująca z prędkością 0,5 m/s pokonywała odcinek 2,5 mm. Przykładowe profile przedstawiono na **Rys. 4**, a maksymalne głębokości skaz odnotowane po poszczególnych testach przedstawiono w **Tab. 1**.

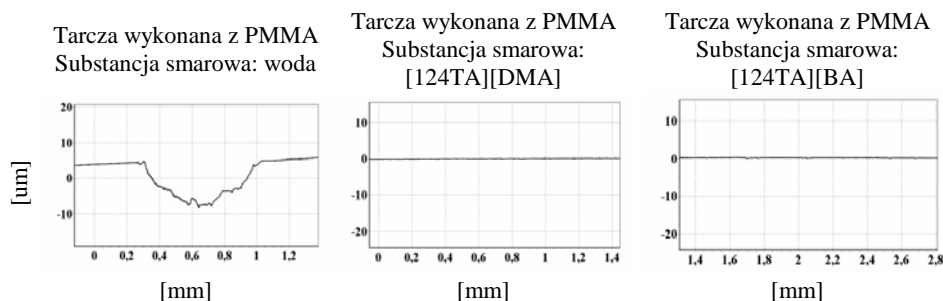
**Rys. 3. Przykładowe profile śladów zużycia tarcz**

Fig. 3. Examples of profiles of disc wear scar

² Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków.

W warunkach tarcia suchego, odnotowywano dość znaczące odkształcenia tarcz po procesie tarcia. Dla skojarzenia stal-PA6 uzyskiwano głębokości skazy na poziomie 4–6 μm . W obecności wody zużycie w niewielkim stopniu wzrosło w porównaniu ze zużyciem bez środka smarowego. Zastosowanie jako substancji smarowej cieczy jonowej lub oleju parafinowego powoduje, że zużycie tarcz jest bardzo małe, praktycznie nie przekracza 1 μm .

Dla tarcia w skojarzeniu stal-PMMA (tarcie suche) obserwowane zużycie było bardzo duże – głębokość skazy wynosiła 38 μm (**Rys. 3**). W przypadku smarowania wodą zużycie zmniejszyło się do 13 μm . W skojarzeniu stal-PA6, także i w skojarzeniu stal-PMMA, obecność cieczy jonowych lub oleju parafinowego obserwowano niskie zużycie, a głębokości skaz nie przekraczały 1 μm (**Rys. 3**).

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono rezultaty badań nad wykorzystaniem cieczy jonowych jako potencjalnych substancji smarowych dla mieszanych skojarzeń stal-polimer. Do testów wytypowano dwie ciecze jonowe: 1,2,4-triazolan didecyldimetyloamoniowy ([124TA][DMA]) i 1,2,4-triazolan benzalkoniowy ([124TA][BA]). Badania prowadzono w skojarzeniu materiałowym stal-PA6 i stal-PMMA w warunkach tarcia suchego oraz w obecności: wody, oleju parafinowego i 2 rodzajów cieczy jonowych. Wyniki odnoszono do testów, prowadzonych bez substancji smarowej i testów, gdzie jako substancje smarowe wykorzystywano wodę lub olej parafinowy.

Stwierdzono, że zastosowanie cieczy jonowych jako substancji smarowych wpływa na 5÷6-krotne lub 2÷3-krotne zmniejszenie oporów ruchu w porównaniu z, odpowiednio, tarcie suchym lub tarcie w obecności wody. Wartości współczynników tarcia uzyskane dla cieczy jonowych są porównywalne z uzyskiwanymi dla oleju parafinowego. Podobną tendencję zaobserwowano w przypadku zużycia. Zarówno ciecze jonowe, jak i olej parafinowy praktycznie zabezpieczyły elementy pary ciernej przed zużyciem. Uzyskane rezultaty są obiecujące i potwierdzają celowość prowadzenia prac nad wykorzystaniem cieczy jonowych jako nowoczesnych, funkcjonalnych substancji smarowych.

Praca finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2008–2010 – Grant Nr N507 373535.

LITERATURA

1. Rudnick L.R.: *Lubricant Additives: Chemistry and Applications*, Marcel Dekker Inc., New York, 2003.
2. Rudnick L.R.: *Lubricant Additives: Chemistry and Applications*”, Wyd. CRC (Taylor & Francis), New York 2009.
3. Szczerek M., Tuszyński W.: A method for testing lubricants under conditions of scuffing. Part I. Presentation of the method, *TriboTest* 2002, 8(4), pp. 273–284.
4. Sułek M.W.: Aqueous solutions of oxyethylated fatty alcohols as model lubricating substances, rozdział w książce pt. *Surfactants in Tribology*, Ed. G. Biresaw, K.L. Mittal, Wyd. CRC (Taylor & Francis), New York 2008, s. 325–353.
5. Wasilewski T.: Aqueous solutions of the mixtures of nonionic surfactants as modern ecological lubricants, rozdział w książce pt. *Surfactants in Tribology*, Ed. G. Biresaw, K.L. Mittal, Wyd. CRC (Taylor & Francis), New York 2008, s. 355–388.
6. Sułek M.W., Wasilewski T.: Antiseizure properties of aqueous solutions of compounds forming liquid crystalline structures, *Tribology Letters*, 18, 2005, 197–205.
7. Sułek M.W., Wasilewski T.: Tribological properties of aqueous solutions of alkyl polyglucosides, *wear*, 260, 2006, 193–204.
8. Wasilewski T., Sułek M.W.: Paraffin oil solutions of the mixture of sorbitan monolaurate – ethoylated sorbitan monolaurate as lubricants, *Wear* 261 (2006), 230–234.
9. Sułek M.W., Wasilewski T.: Influence of critical micelle concentration (CMC) on tribological properties of aqueous solutions of alkyl polyglucosides, *Tribology Transaction*, 2009, 52, 2009, 12–20.
10. Bermúdez M.-D. and Jiménez A.-E.: Surface interactions and tribochemical processes in Ionic Liquid lubrication of aluminium-steel contacts, *Int. J. Surface Science and Engineering*, Vol. 1, No. 1, 2007.
11. XuQing Liu, Feng Zhou, YongMin Liang, WeiMin Liu: Tribological performance of phosphonium based ionic liquids for an aluminum-on-steel system and opinions on lubrication mechanism, *Wear* 261 (2006) 1174–1179.
12. Jiménez A.E., Bermúdez M.D., Carrion F.J., Martínez-Nicolas G.: Room temperature ionic liquids as lubricant additives in steel–aluminium contacts: Influence of sliding velocity, normal load and temperature, *Wear* 261 (2006) 347–359.
13. Zonggang Mu, Feng Zhou, Shuxiang Zhang, Yongmin Liang, Weimin Liu: Effect of the functional groups in ionic liquid molecules on the friction and wear behavior of aluminum alloy in lubricated aluminum-on-steel contact, *Tribology International* 38 (2005) 725–731.

14. Pernak J., Śmiglak M., Griffin S.T., Hough W.L., Wilson T.B., Pernak A., Zabielska-Matejuk J., Fojutowski A., Kita K. and Rogers R.D.: Long alkyl chain quaternary ammonium – based ionic liquids and potential applications, *Green Chem.*, 2006, 8, 798–806.
15. Pernak J.: Ciecze jonowe. Związki na miarę XXI wieku, *Przemysł Chemiczny*, 82/8–9, 2003, 521–524.

Recenzent:

Marian SZCZEREK

Summary

Ionic liquids are one of novel substances used as bases of lubricating oils or as additives. They are among so called “green chemistry” group of substances. Melting point of ionic liquids occurs at room temperatures.

Authors present research results of tribological tests at ball – on – disc tester. Balls were made of steel and discs alternatively: polyamide 6 and poly(methyl methacrylate) (PMMA).

Wear profiles and friction coefficients were researched during dry friction and in presence of water, paraffinic oil and two types of ionic liquids. According to paraffinic oil which is standard base oil ionic liquids have low motion resistance and wear. That is why it can be stated that ionic liquids can be treated as new type of base oils.