

Ryszard Marczak, Miłosz Marczak
Ryszard Ludew, Jan Guzik, Małgorzata Wojtyniak

METODY BADANIA SMARNOŚCI I ICH ROZDZIELCZOŚĆ

LUBRICITY ESTIMATION METHODS AND THEIR DISCRIMINATION POWER

Słowa kluczowe:

smarność, badania laboratoryjne, aparat czterokulowy, dodatki smarnościowe

Key words:

lubricity, laboratory tests, four-ball apparatus, lubricity additives

Streszczenie

Artykuł prezentuje wyniki badań oleju napędowego, zawierającego dodatek estru metylowego kwasów oleju rzepakowego (RME) oraz handlowego dodatku smarnościowego, uzyskane za pomocą opracowanej w Politechnice Radomskiej metody oceny właściwości smarnych. Koncepcja metody opiera się na fizykochemicznym modelu procesów zacierania i docierania w układzie: metal – środek smarujący – metal, zachodzących w styku skoncentrowanym, w aparacie czterokulowym. Wyniki uzyskane za pomocą prezentowanej metody pozwoliły na rozróżnienie wszystkich badanych kompozycji: bazowy olej napędowy - dodatek pod względem właściwości smarnych.

WPROWADZENIE

Pojęcie „smarność” pojawiło się, gdy do smarowania elementów maszyn zaczęto stosować oleje mineralne zamiast dotychczas stosowanych olejów roślinnych. Termin ten został wprowadzony po koniec dziewiętnastego wieku przez A. Kingsburry’ego jako właściwość smaru niezależna i odmienna od lepkości, polegająca na zmniejszaniu oporów tarcia w warunkach tarcia półsuchego. Wraz z rozwojem nauki pojęcie to uległo pewnym zmianom, a samo zjawisko znalazło częściowe wyjaśnienie w badaniach modelowych adsorpcji i chemisorpcji cząsteczek polarnych na powierzchni smarowanego metalu, tworzących tzw. warstwę graniczną. Mimo wielu prac z tej dziedziny, do dnia dzisiejszego, nie opracowano jednak jednoznacznej definicji smarności i miary tej wielkości. Według R. Marcza [1] na smarność składa się zespół zjawisk i procesów zachodzących w obszarze tarcia, których przebieg zależy od rodzaju: cieczy smarującej, trących ciał stałych i atmosfery. Przez własności smarne należy rozumieć zdolność materiałów pary trącej do zapobiegania szczeniom adhezyjnym. Smarność nie jest cechą fizyczną substancji smarującej. Jest to cecha zespołowa - cecha systemu tribologicznego, gdyż zależy od zespołu zjawisk zachodzących w obszarze tarcia. Smarowanie jest niedostateczne, gdy nie wytwarza się odpowiednio wytrzymały film graniczny zdolny całkowicie oddzielić przemieszczające się względem siebie powierzchnie.

Przez kilkadziesiąt lat problem smarności dotyczył jedynie systemów tribologicznych, w których substancję smarującą stanowiły oleje smarowe. W latach sześćdziesiątych po raz pierwszy pojawił się problem smarności spowodowany stosowaniem paliw – na początku dotyczył tylko paliwa lotniczego. Na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych, najpierw w Kalifornii a potem w Szwecji, po wprowadzeniu na rynek niskosiarkowego oleju napędowego, pojawiły się problemy związane ze zwiększonym zużyciem elementów aparatury wtryskowej wynikające z obniżonej smarności takiego paliwa. Stosunkowo niedawno pojawił się także problem smarności benzyn [2], a spowodowało go zaostrzenie wymagań co do zawartości siarki w benzynach oraz wzrost zainteresowania silnikami z wtryskiem bezpośrednim.

Problem niedostatecznych właściwości smarnych oleju napędowego został pośrednio spowodowany działaniami proekologicznymi

zmierzającymi do ograniczenia emisji toksycznych składników spalin z pojazdów. W ramach tych działań dąży się, między innymi, do obniżenia zawartości siarki i węglowodorów aromatycznych (głównie dwu- i trójpierścieniowych) w oleju napędowym. W procesie hydorafinacji, stosowanym powszechnie przez przemysł rafineryjny do usuwania związków siarki z oleju napędowego, usuwane są również naturalnie występujące w tym paliwie związki nadające mu odpowiednie właściwości smarne. Negatywnym skutkiem takich działań jest więc obniżenie smarności [3]. Stosowanie takiego oleju powoduje przedwczesne zużywanie aparatury wtryskowej silników wysokoprężnych, głównie – pomp wtryskowych rozdzielaczowych [4]. Aby temu zapobiec wprowadza się do oleju napędowego dodatki smarnościowe [5]. Konieczne jest więc stosowanie metod oceny skuteczności działania tych dodatków.

Do laboratoryjnej oceny właściwości smarnych oleju napędowego stosuje się tribometry. Najczęściej stosowane urządzenia noszą nazwy SLBOCLE [6] oraz HFRR [7]. Niestety, często wyniki uzyskiwane za pomocą tych urządzeń nie pokrywają się z wynikami badań na stanowiskach z pompami wtryskowymi oraz z wynikami badań eksploatacyjnych w pojazdach. Stosując istniejące metody nie zawsze można rozróżnić oleje napędowe pod względem właściwości smarnych, szczególnie jeżeli oleje te zawierają niewielkie ilości dodatków smarnościowych. Wiele laboratoriów prowadzi badania zmierzające do opracowania nowych metod, których wyniki będą wykazywały większą korelację z rzeczywistością.

LABORATORYJNE METODY BADANIA SMARNOŚCI PALIW Z WYKORZYSTANIEM APARATU CZTEROKULOWEGO

Ze względu na to, że ocenę właściwości smarnych oleju napędowego przeprowadza się powszechnie, nie bez znaczenia jest dostępność aparatury badawczej oraz koszt i łatwość prowadzenia badań. Czynniki te powinny być również brane pod uwagę przy opracowywaniu nowej metody badania właściwości smarnych oleju napędowego.

Aparat czterokulowy jest jednym z najbardziej znanych i rozpowszechnionych tribometrów stosowanych do badania olejów smarowych. Szeroki zakres wymuszeń możliwy do realizacji w tym urządzeniu pozwala na prowadzenie badań różnych olejów oraz ocenę

skuteczności działania dodatków smarowościowych. Metody badania właściwości smarnych olejów i smarów za pomocą tego aparatu są znormalizowane (PN-76/C-04147) [8].

Metody opracowane do badania właściwości smarnych olejów i smarów próbowano wykorzystać również do oceny paliw – głównie oleju napędowego; np. badanie smarności metodą Lucas Four-Ball jest przeprowadzane zgodnie z normą ASTM D 2783 w aparacie czterokulowym [9]. Jeden bieg badawczy trwa 10 sekund, a prędkość obrotowa kulki górnej wynosi 1425 obr/min. Przyjęte w badaniu obciążenia węzła tarcia wynoszą: 58,86, 78,48, 98,10, 127,53, 156,96, 196,20, 235,44 i 313,92 N. Wyniki przedstawia się w postaci maksymalnych obciążeń, przy których nie występują jeszcze objawy zatarcia oraz nacisków jednostkowych przy tych obciążeniach. Test ten obecnie nie jest stosowany.

Wprowadzane są różne modyfikacje testu w aparacie czterokulowym; jak, na przykład, test BOTD [10]. Jest to zmodyfikowana (przez firmę Falex) wersją powszechnie znanego testu w aparacie czterokulowym. Zamiast trzech nieruchomych kul stosuje się w nim trzy krążki stalowe. W początkowej wersji urządzenie to nosiło nazwę BOTS (Ball-on-Three Seats) i nieruchome kulki były w nim zastąpione specjalnymi sferycznymi wkładkami. Ze względu na trudności związane z uzyskaniem odpowiedniej geometrii wkładek w zmodyfikowanej wersji urządzenia zastosowano stalowe krążki. Krążki te są dociskane do obracającej się ceramicznej kulki. Miarą smarności jest średnica śladu zużycia krążków. Test ten jest najbardziej popularny w Stanach Zjednoczonych. Norma ASTM opisująca oznaczanie smarności oleju napędowego za pomocą testu BOTD jest obecnie opracowywana.

METODA BADANIA WŁAŚCIWOŚCI SMARNYCH OLEJU NAPĘDOWEGO

Istotą smarności jest trwałość warstw granicznych tworzących się na powierzchniach elementów współpracujących i ich zdolność do odbudowywania się. O tej trwałości można wnioskować pośrednio, na przykład analizując proces zacierania i docierania [11-13]. Dlatego też, koncepcja opracowanej metody wykorzystuje fizykochemiczny model procesów zacierania i docierania w układzie: metal – środek smarujący – metal, zachodzących w styku skoncentrowanym,

w aparacie czterokulowym, do oceny właściwości smarnych oleju napędowego. W metodzie tej przyjęto dwa kryteria oceny właściwości smarnych olejów napędowych: trwałość warstwy granicznej oraz zdolność warstwy granicznej do odbudowywania się w węźle tarcia aparatu czterokulowego. Badania przeprowadzono za pomocą aparatu T-02 produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji. Istota metody polega na bezpośrednim pomiarze wartości siły niezbędnej do przerwania ciągłości warstwy granicznej (inaczej – wyznaczeniu wartości obciążenia zacierającego) oraz skutków procesu zużywania pod tym obciążeniem, wyrażonych wielkością średnicy skazy zużycia po zakończonym biegu badawczym. Metodę nazwano Metodą Fizycznego Przerwania Ciągłości Warstwy Smarnej w Styku Skoncentrowanym. Wartość obciążenia zacierającego wyznaczano zgodnie z normą PN-76/C-04147. Podczas badań rejestrowano: współczynnik tarcia, moment tarcia, obciążenie nadane oraz temperaturę badanej próbki. Wielkość zużycia elementów węzła tarcia aparatu czterokulowego T-02 powstającego wskutek prowadzenia procesu tarcia przy stałym obciążeniu nadanym równym obciążeniu zacierającemu wyznaczano prowadząc badania w czasie 30 sekund. Dla każdej próbki wykonywano po trzy biegi badawcze. Po ich zakończeniu mierzono średnice skaz kulek w kierunku prostopadłym i równoległym do śladów tarcia. Pomiarów dokonywano za pomocą mikroskopu optycznego, z dokładnością do 0.001 mm. Średnicę skaz kulek obliczano jako średnią z trzech pomiarów.

Miarą smarności, według opracowanej metody, jest nacisk nominalny w strefie kontaktu po dotarciu układu przy obciążeniu nadanym równym obciążeniu zacierającemu. Im wyższy nacisk nominalny tym lepsza (wyższa) smarność. Nacisk ten obliczano ze wzoru 1:

$$p = 0.52 \frac{P_t}{d^2} \quad (1)$$

w którym: d – średnica śladu zużycia [mm]; P_t – obciążenie zacierające [N].

Współczynnik 0,52 wynika z rozkładu sił w węźle tarcia aparatu czterokulowego.

CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

Materialy

Jako olej bazowy wybrano do badań hydrowrafinowany olej napędowy (HON II), którego właściwości fizykochemiczne przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne oleju HON II

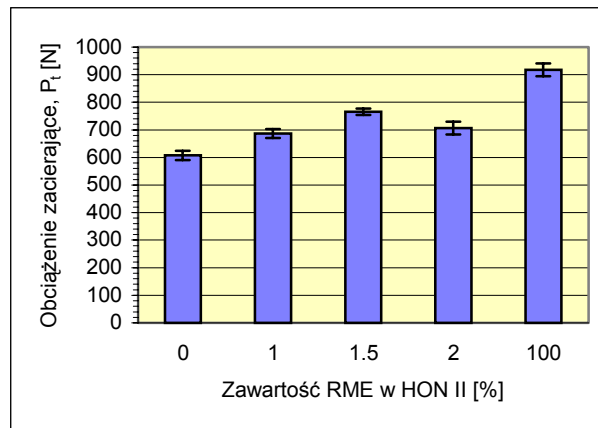
Table 1. Physico-chemical properties of the diesel oil HON II

Parametr	Wartość
Zawartość siarki, ppm	3
Temperatura zapłonu, °C	71
Korozja Cu, stopień korozji	1
Destylacja, °C	0
początek destylacji	186
5% destyluje do temperatury,	203
50% destyluje do temperatury,	232
95% destyluje do temperatury,	285
koniec destylacji	298

Olej ten jest składnikiem służącym do komponowania olejów napędowych w Polskim Koncernie Naftowym „Orlen”. Olej ten zawierał 3 ppm siarki. Jako dodatek smarnościowy zastosowano ester metylowy kwasów oleju rzepakowego (RME) oraz typowy, handlowy dodatek smarnościowy (oznaczony jako A).

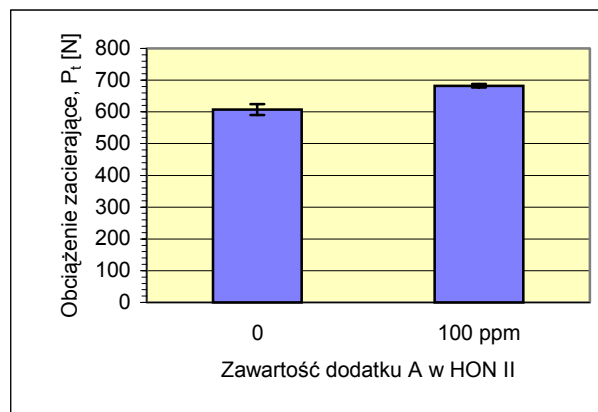
WYNIKI BADAŃ

Badano olej bazowy (HON II) czysty oraz zawierający: 1, 1,5 i 2% RME a także czysty RME. Wpływ dodatku A na właściwości smarne oleju HON II badano dla stężenia 100 ppm. Uzyskane wartości obciążenia zacierającego przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Zależność obciążenia zacierającego od stężenia RME w hydrowerfinowanym oleju napędowym HON II

Fig. 1. Scuffing load versus RME concentration in the hydrorefined diesel oil HON II

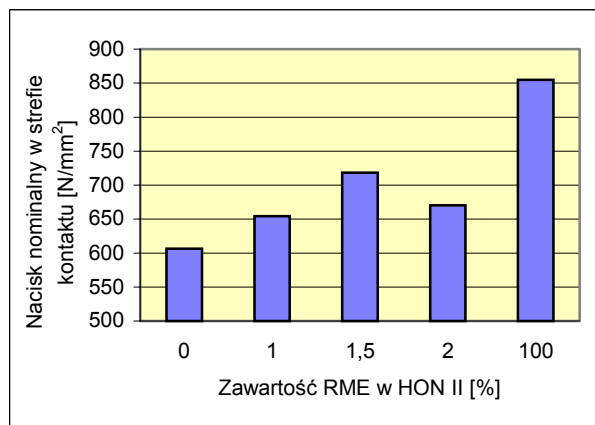


Rys. 2. Wpływ dodatku A na obciążenie zacierające hydrowerfinowanego oleju napędowego HON II

Fig. 2. Influence of additive A on the scuffing load of the hydrorefined diesel oil HON II

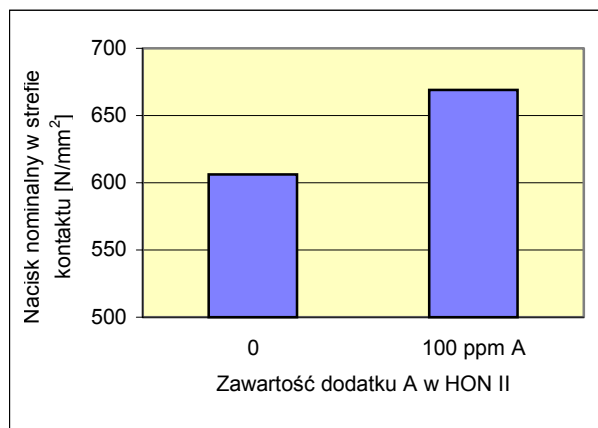
Największy (dla badanego zakresu stężeń) wzrost wartości obciążenia zacierającego oleju bazowego HON II spowodował dodatek RME w stężeniu 1,5%. Wartość P_t zwiększyła się z 607 N do 765 N. Dodatek A, wprowadzony do oleju bazowego w stężeniu 100 ppm, spowodował podwyższenie wartości P_t z 607 N do 682 N.

Wartości nacisków nominalnych w strefie kontaktu po dotarciu układu przy obciążeniu nadanym równym obciążeniu zacierającemu dla badanych olejów przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Nacisk nominalny w strefie kontaktu po dotarciu układu przy obciążeniu zacierającym dla oleju HON II z różną zawartością RME

Fig. 3. Nominal pressure in the contact zone after the running-in process under the scuffing load for HON II diesel oil containing various amounts of RME



Rys. 4. Nacisk nominalny w strefie kontaktu po dotarciu układu przy obciążeniu zacierającym dla oleju HON II czystego i z zawartością 100 ppm dodatku A

Fig. 4. Nominal pressure in the contact zone after the running-in process under the scuffing load for HON II diesel oil and the oil containing 100 ppm A additive

Z uzyskanych danych wynika, że RME spowodował podwyższenie właściwości smarnych oleju HON II w każdym z badanych stężeń; największe – w stężeniu 1,5%. Czysty RME wykazał bardzo dobre właściwości smarne. Podwyższenie właściwości smarnych oleju bazowego spowodował też dodatek A w stężeniu 100 ppm.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Opracowana metoda Fizycznego Przerwania Ciągłości Warstwy Smarnej w Styku Skoncentrowanym może być wykorzystywana do oceny właściwości smarnych olejów napędowych.
2. Zastosowanie opracowanej metody umożliwiło na rozróżnienie wszystkich badanych kompozycji: bazowy olej napędowy - dodatek pod względem trwałości warstwy granicznej i jej zdolności do odbudowywania się, a więc – pod względem właściwości smarnych.

LITERATURA

1. Marczak R.: Trybologiczne własności materiałów łożyskowych. Praca habilitacyjna. Informator WITPiS nr 21/77, Sulejówek 1977.
2. Wei D.P., Spikes H.A., Korcek S.: The lubricity of gasoline. Tribology Transactions 1999, Vol. 42, p. 813-823.
3. Wei D., Spikes H.A.: Fuel lubricity – fundamentals and review. Fuels International, October 2000, Vol. 1, No. 1, p. 45-65.
4. Tucker R.F., Stradling R.J., Wolveridge P.E., Rivers K.J., Ubbens A.: The lubricity of deeply hydrogenated diesel fuels – the Swedish experience. SAE Paper 942016, Diesel fuel: additives and performance, Warrendale, PA, Society of Automotive Engineers p. 1617-1633.
5. Kudowicz A.: Dodatki smarowości do niskosiarkowych olejów napędowych i metody oceny ich działania. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 2001, Nr 87, s. 28-33.
6. ASTM D 6078-99. Evaluating lubricity of diesel fuels by the scuffing load ball-on-cylinder lubricity evaluator (SLBOCLE).
7. PN-EN-ISO 12156. Przetwory naftowe. Oleje napędowe. Ocena smarowości przy zastosowaniu aparatu o ruchu posuwisto-zwrotnym wysokiej częstotliwości (HFRR). Część 1. Metoda badawcza. Część 2. Wartość graniczna.
8. PN-76/C-04147 Badanie własności smarnych olejów i smarów.
9. Oleksiak S., Skręt I.: Własności smarne olejów napędowych w świetle najnowszych wymagań europejskich i amerykańskich. Materiały konferencyjne. KONMOT '96, s. 159-168.
10. www.falexint.com
11. Marczak R.: Badania materiałów tribologicznych. W zbiorze: „Wybrane problemy tribologii”. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1990, s. 449-464.
12. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. Zacieranie. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2000.

13. Wachal A.: Zjawiska fizyko-chemiczne w aparacie czterokulowym. Materiały XXI Jesiennej Szkoły Tribologicznej: „Smarowanie węzłów tarcia maszyn i urządzeń. Współczesne tendencje rozwoju teorii i badań”. Łódź – Arturówek, 9-12.09.1996, s. 229-235.

Recenzent:
Marian SZCZEREK

Summary

The paper presents results of investigation on diesel oil containing rape methyl ester (RME) and commercial additive obtained using a lubricity estimation method elaborated at Radom Technical University. Idea of the method is based on a physico-chemical model of the running-in processes in the system: metal – lubricant – metal, that occur in the frictional pair of the four-ball apparatus. The obtained results allowed to discriminate all investigated compositions: base diesel oil – lubricity additive from the point of their lubricity properties.

Praca wykonana w ramach realizacji projektu badawczego nr 5T12C 058 23