

Alicja LABER* , Krzysztof ADAMCZUK*

POPRAWA WARUNKÓW PRACY WĘZŁA TARCIA POPRAWA WYKONANIA PRZEZ ZASTOSOWANIE PREPARATÓW EKSPLOATACYJNYCH DO OLEJU SMAROWEGO

IMPROVING THE WORKING CONDITIONS OF FRICTION BY USING OPERATION ADDITIVES TO LUBRICATING OIL

Słowa kluczowe:

warstwa graniczna, preparaty eksploatacyjne, właściwości smarne

Key words:

boundary layer, operation additives, lubricating properties

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i weryfikacyjnych na rzeczywistych obiektach technicznych dla oleju smarowego CE/SF SAE 15W/40 i modyfikowanego preparatami eksploatacyjnymi o działaniu chemicznym, na bazie metali miękkich i powodującymi efekt selektywnego przenoszenia. Badania laboratoryjne obejmowały wyznaczenie takich wskaźników charakteryzujących właściwości smarne jak: obciążenie zespawania, obciążenie niezacierające, wskaźnik zużycia pod obciążeniem, obciążenie zacierające oraz wyznaczenie zużycia poprzez pomiar średniej średnicy szkar na nieruchomych

* Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra, e-mail: a.laber@ibem.uz.zgora.pl.

kulkach biorących udział przy wyznaczeniu obciążenia zespawania. Po badaniach laboratoryjnych przeprowadzono badania weryfikacyjne na silnikach autobusów po eksploatacji około 20 tys. km. Po procesie eksploatacji silników autobusów wyznaczono właściwości smarne, fizykochemiczne oraz zawartość żelaza w środkach smarowych. Badania wykazały, że preparaty eksploatacyjne wprowadzone do oleju handlowego CE/SF SAE 15W/40 wpłynęły na wzrost własności przeciwzatarciowych i przeciwzużyciowych olejów przed i po procesie eksploatacji silników autobusów około 20 tys. km. Preparaty eksploatacyjne wpłynęły na mniejszy spadek lepkości olejów mierzonych w temperaturze 40°C i 100°C w porównaniu z olejem handlowym, zmniejszyły spadek liczby zasadowej oraz spowodowały mniejszy przyrost zawartości żelaza w olejach.

WPROWADZENIE

Poszukiwanie nowych metod badawczych umożliwiających badanie zjawisk zachodzących w węzłach tarcia, wpływu tych zjawisk na konstytuowanie się eksploatacyjnej warstwy wierzchniej (EWW) oraz związku między właściwościami tworzyw konstrukcyjnych a środkami smarowymi, stanowiąc jeden z najistotniejszych problemów współczesnej tribologii. Trwałość i niezawodność maszyn i urządzeń determinowana jest trwałością i niezawodnością pracy węzłów tarcia.

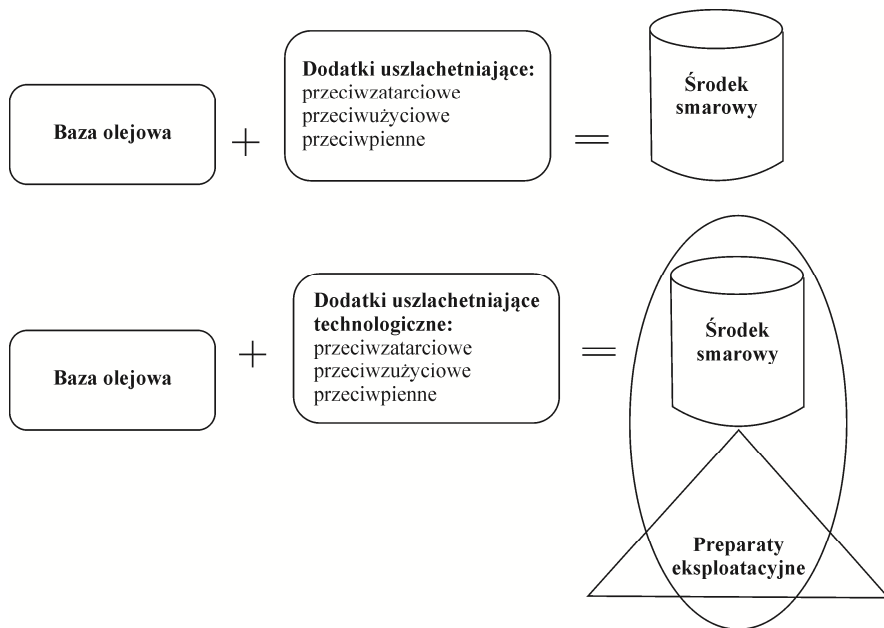
Procesy fizykochemiczne zachodzące w procesie tarcia, a w szczególności podczas tworzenia warstw granicznych, nie są do chwili obecnej dobrze poznane. Warstwa graniczna może być z natury organiczna lub nieorganiczna, ale dokładna natura tych warstw nie jest precyzyjnie zdefiniowana. Zmienia się w zależności od warunków pracy węzła tarcia, otoczenia, środka smarowego, składu chemicznego powierzchni oraz obciążenia [L. 21].

Przebieg procesów tribologicznych można przedstawić jako układ fizykochemiczny. Układ ten jest wieloelementowy, wielofazowy, zmienny w czasie, w którego każdym punkcie elementu oraz na granicy między elementami lub fazami odbywa się wymiana energii lub materii. Układ tribologiczny jako układ fizykochemiczny jest układem otwartym, tzn. że dokonuje się w nim wymiana materii i energii z otoczeniem pozostającym poza układem [L. 24].

T. Burakowski i R. Marczak w pracy [L. 2] wykazali, że w procesie tarcia technologiczna warstwa wierzchnia (TWW) przekształca się w EWW. Tworzącą się EWW cechuje zdolność zmniejszania skutków zadawanych bodźców. Szczególne znaczenie w tym zakresie ma warstwa graniczna, która powinna charakteryzować się dużą trwałością i odpornością na przerywanie, co podkreślają M. Hebda i A. Wachal [L. 8], Z. Lawrowski [L. 16], R. Marczak [L. 19], S. Płaza [L. 21], M. Szczerek i W. Tuszyński [L. 23].

Oleje smarowe, pomimo swych zalet i ciągłego ich doskonalenia, nie są w stanie, zwłaszcza w ekstremalnych warunkach pracy systemów tribologicznych, sprostać problemom niedosmarowania strefy tarcia współpracujących

elementów, czy likwidacji skutków tzw. „zimnego startu” występującego podczas rozruchu maszyn. W sytuacjach tych skutecznym według Z. Białka i W Zwierzyckiego [L. 1], S. Labera [L. 15], A. Laber i S. Labera [L. 13], A. Laber [L. 14], jest wtórne uszlachetnianie olejów smarowych przez wprowadzenie do węzłów tarcia preparatów eksploatacyjnych (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat wytwarzania środka smarowego w procesie technologicznym oraz jego modyfikowanie w procesie eksploatacji

Fig. 1. A diagram of lubricant production in a technological process and its modification when it is used

Preparaty eksploatacyjne są to związki chemiczne lub mieszaniny związków chemicznych przygotowane do jakiegoś określonego celu, np. do polepszenia warunków pracy węzłów tarcia w ekstremalnych warunkach pracy poprzez zwiększenie trwałości warstwy granicznej, odpornej na obciążenia dynamiczne i temperaturowe.

W celu zapobiegania występowaniu styku metal–metal w ekstremalnych warunkach pracy do środków smarowych są dodawane preparaty eksploatacyjne zwane PE. Preparaty te tworzą na powierzchni reakcyjne warstwy graniczne zmniejszające adhezję powierzchni tarcia, a w efekcie przeciwdziałają zacieraaniu węzłów tarcia.

Utworzona w procesie tarcia warstwa graniczna zmniejsza zużycie współpracujących elementów. Kiedy naprężenie ścinające jest dostatecznie duże, ścinana jest warstwa graniczna zamiast powierzchni materiału pary trącej [L. 21].

Badania warstw granicznych w warunkach laboratoryjnych prowadzili S. Granick i współautorzy [L. 5], D.Y.C Chan, R.G Horn [L. 4] oraz J.N. Israelachvili i współautorzy [L. 10, 27, 28], A.M Homola i współpracownicy [L. 9], G. Carson i współautorzy [L. 3], J.C. Enthoven, H.A. Spikes [L. 6]. Większość tych badań była prowadzona na modelowym materiale trącym i modelowym środku smarowym.

Podczas tarcia granicznej ilość zaadsorbowanego składnika smarowego w powierzchniowej warstwie adsorpcyjnej zależy od jego stężenia w środku smarowym, jego zdolności adsorpcyjnej i temperatury [L. 18].

Z przeglądu literatury wynika, że na tworzenie się warstw granicznych ma wpływ wiele czynników, wśród których najważniejszymi są: rodzaj stosowanych środków smarowych [L. 6, 20], kształt łańcucha warstewki molekularnie cienkich warstw [L. 21], adsorpcja [L. 11], temperatura [L. 7, 24, 21, 17], chemisorpcja [L. 10, 25, 26], obciążenie [L. 9], struktura technologicznej warstwy wierzchniej [L. 12], stopień pokrycia powierzchni cząsteczkami adsorbentu w zależności od ciśnienia i temperatury w strefie styku według Langmuira.

CHARAKTERYSTYKA BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Materiały przyjęte do badań

W celu zwiększenia zdolności do przenoszenia dużych obciążeń i odporności na przerywanie warstwy granicznej w ekstremalnych warunkach pracy (P , v , T), do oleju smarowego CE/SF 15W/40 zastosowano preparaty eksploatacyjne o działaniu chemicznym na bazie metali miękkich oraz powodujących efekt selektywnego przenoszenia, w ilości 5% w stosunku wagowym do ilości środka smarowego. Zawartość ta została ustalona na podstawie badań laboratoryjnych, biorąc pod uwagę efekty doświadczalne i ekonomiczne.

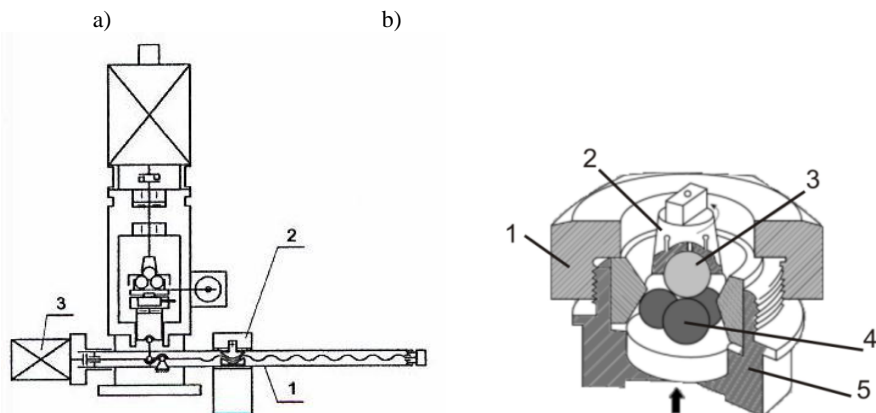
Badania wybranych własności fizykochemicznych olejów, tj. lepkości kinematycznej w 40 i 100°C, liczby zasadowej oraz zawartości żelaza w olejach wykonano na próbkach olejów pobranych z silnika po przebiegu autobusów 500, 10 tys. i 20 tys. km.

Obiekt badań eksploatacyjnych

Obiektem badań eksploatacyjnych były silniki czterech autobusów. Do układu smarowania tych silników zastosowano cztery środki smarowe (do każdego inny środek smarowy): olej handlowy CE/SF SAE 15W/40, olej handlowy modyfikowany preparatem eksploatacyjnym M, olej handlowy modyfikowany preparatem eksploatacyjnym R i olej handlowy modyfikowany preparatem eksploatacyjnym S.

Metodyka badań

Właściwości smarne środków smarowych wyznaczono według PN-76/C-04147 [L. 22] za pomocą aparatu czterokulowego – testera T0-2 produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego w Radomiu [L. 23]. Zasadniczą częścią testera jest skojarzenie trące w postaci czterech kulek (węzeł tarcia o styku punktowym), których środki tworzą czworościan regularny (Rys. 2).



Rys. 2. Tester T-02 (aparat czterokulowy): a) dźwignia (1), obciążenie (2), silnik (3), b) nakrętka dociskowa (1), uchwyt kulki górnej (2), kulka górna (3), kulki dolne nieruchome (4), uchwyt kulek dolnych i pojemnik na badany środek smarny (5) [L. 23]

Fig. 2. T-02 Tester (four-ball apparatus): a) lever (1), load (2), motor (3); b) pressure nut (1), ball chuck (2), top ball (3), lower stationary balls (4) lower ball holder with the container for tested lubricant (5) [L. 23]

Właściwości smarne rozpatrywanych środków smarowych charakteryzują następujące wskaźniki: obciążenie zespawania P_z , wskaźnik zużycia pod obciążeniem I_n , największe obciążenie niezacierające P_n i obciążenie zacierające P_i .

Pomiar lepkości kinematycznej olejów wyznaczono za pomocą wiskozymetru VT550 o następujących parametrach technicznych: czas pomiaru 2–3 minuty, zakres lepkości: 1–109 mPas, naprężenie ścinające 1–105 Pa, szybkość ścinania: 0,6–30000/s, szybkość obrotowa: 0,5–800 obr./min, temperatura: -50+250°C.

Pomiar liczby zasadowej przyrządem do automatycznego miareczkowania potencjometrycznego – titrator OH-407.

Pomiar zawartości żelaza wykonano metodą wirówkową wg PN-89/C-04087.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Badania laboratoryjne właściwości smarnych przed i po procesie eksploatacji

W Tab. 1 oraz na Rys. 3 przedstawiono wyniki badań właściwości smarnych środka smarowego CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanego przyjętymi do badań preparatami eksploatacyjnymi o działaniu: chemicznym (M), na bazie metali miękkich (R) oraz powodującego efekt selektywnego przenoszenia (S).

Tabela 1. Zestawienie wyznaczonych wskaźników P_z , P_n , I_h , P_t dla oleju CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanego preparatami eksploatacyjnymi M, R, S

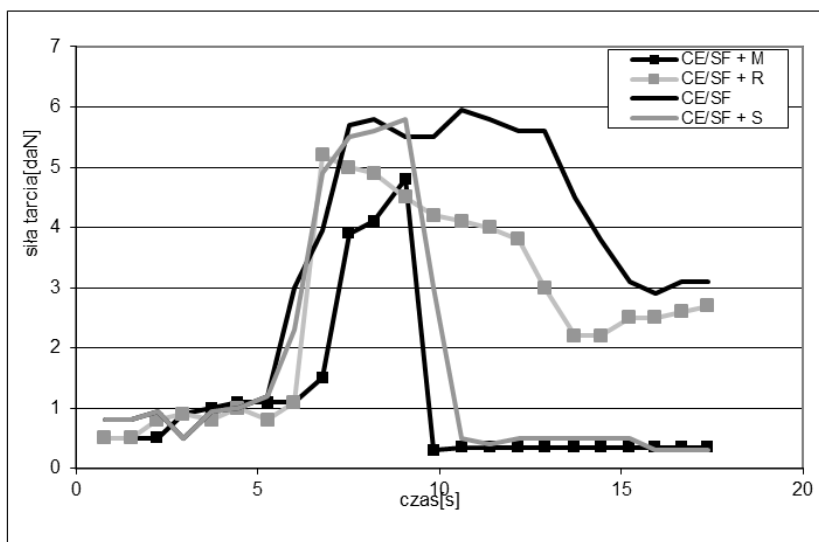
Table 1. P_z , P_n , I_h , P_t values obtained for oil CE/SF SAE 15W/40 and this oil modified with the operation additives M, R, S

Rodzaj środka smarowego	Wskaźniki wyznaczone, daN			
	P_z	P_n	I_h	P_t
CE SF SAE 15W/40	315	80	43,18	211,11
CE/SF SAE 15W/40 +5% M	500	100	52,2	251,56
CE/SF SAE 15W/40 +5% S	500	80	51,11	260,73
CE/SF SAE 15W/40 +5% R	500	100	50,42	244,75

Tabela 2. Średnice szkar kulek wyznaczone dla oleju CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanego preparatami eksploatacyjnymi M, R, S

Table 2. The wear scar diameters on tested balls obtained for engine oil CE/SF SAE 15W/40 and this oil modified with the operation additives M, R, S

Rodzaj środka smarowego	Średnica szkar, mm									
	Obciążenie wężła tarcia, daN									
	63	80	100	126	160	200	250	315	400	500
CE/SF SAE 15W/40	–	0,25	1,85	2,00	2,30	2,35	2,60	z	–	–
CE/SF SAE 15W/40 + M	–	0,20	0,40	1,85	2,00	2,00	2,30	2,40	3,0	z
CE/SF SAE 15W/40 + R	–	0,25	0,40	2,10	2,20	2,60	2,75	2,80	3,15	z
CE/SF SAE 15W/40 + S	0,20	0,40	1,20	1,90	2,00	2,05	2,35	2,45	3,25	z



Rys. 3. Przebieg siły tarcia dla szybkości narastania obciążenia 408,8 N/s wężła tarcia smarowanego olejem CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanym preparatami eksploatacyjnymi M, R, S

Fig. 3. The friction force curves during load increase of 408.8 N/s obtained for oil CE/SF SAE 15W/40 and this oil modified with the operation additives M, R, S

Z badań wynika, że każdy z zastosowanych preparatów eksploatacyjnych wpływa na poprawę właściwości smarnych środka smarowego CE/SF SAE 15W/40. Zastosowane preparaty eksploatacyjne poprawiły wskaźniki wyznaczające właściwości przeciwzatarciowe środka smarowego (P_z , I_h), jak również trwałość filmu olejowego (P_n , P_t) (**Tab. 1**), które wpłynęły na opóźnienie rozpoczęcia procesu zacierania (**Rys. 3**), jednak sytuacja ta nie została zaobserwowana dla wszystkich rozpatrywanych środków smarowych.

Modyfikacja środka smarowego CE/SF SAE 15W/40 preparatami eksploatacyjnymi M, R, S przyczyniła się do wzrostu następujących wskaźników właściwości smarnych: obciążenia zespawania P_z , wskaźnika zużycia pod obciążeniem I_h oraz obciążenia zacierającego P_t . Obciążenie niezacierające P_n po modyfikacji środka smarowego preparatem eksploatacyjnym nie uległo zmianie.

Najmniejszy przyrost średnicy skaz na kulkach uzyskano dla środka smarowego modyfikowanego preparatem eksploatacyjnym M (**Tab. 2**), a największy dla oleju niemodyfikowanego.

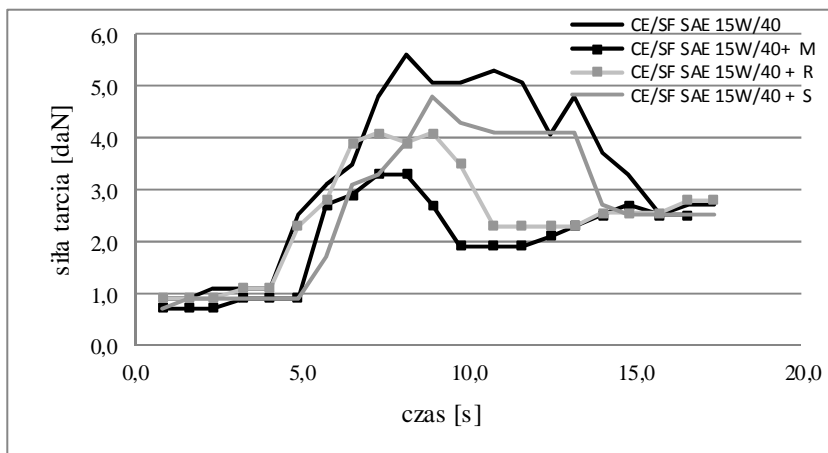
W **Tab. 3** i na **Rys. 4** przedstawiono wyniki właściwości smarnych olejów przyjętych do badań po przebiegu autobusów około 20 tys. km.

Badania eksploatacyjne przeprowadzono z zastosowaniem preparatów eksploatacyjnych M, R, S do smarowania silników autobusów. Po przebiegu autobusów około 20 tys. km przeprowadzono badania właściwości smarnych. Wskaźniki właściwości smarnych zmieniały się różnie w zależności od zastosowanego środka smarowego. Obciążenie zespawania miało taką samą wartość dla wszystkich zastosowanych do oleju handlowego preparatów eksploatacyjnych i było większe w porównaniu z olejem handlowym. Najmniejszą wartość obciążenia niezacierającego uzyskano dla PE R. Wskaźnik zużycia pod obciążeniem i obciążenie zacierające było większe przy zastosowaniu do oleju handlowego preparatów eksploatacyjnych. Największą wartość wskaźnika zużycia pod obciążeniem otrzymano przy zastosowaniu PE S, a najmniejszą przy PE R, natomiast obciążenie zacierające największą wartość miało, stosując PE M. Przy zastosowaniu PE M i PE S uzyskano podobną wartość obciążenia zacierającego.

Tabela 3. Zestawienie wyznaczonych wskaźników P_z , P_n , I_h , P_t dla eksploatowanego oleju silnikowego CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanego preparatami eksploatacyjnymi M, R, S po 20 tys. km

Table 3. P_z , P_n , I_h , P_t values obtained for oil CE/SF SAE 15W/40 and this oil modified with the operation additives M, R, S after 20 thousand km

Rodzaj środka smarowego	Wyznaczone wskaźniki, daN			
	P_z	P_n	I_h	P_t
CE/ SF SAE 15W/40	400 ± 57,9	63 ± 11,54	35,66 ± 0,776	134 ± 4,04
CE/ SF SAE 15W/40 + 5%M	500 ± 25,07	80 ± 9,43	46,32 ± 0,591	148,64 ± 1,42
CE /SF SAE 15W/40 + 5%S	500 ± 25,07	80 ± 5,01	47,8 ± 0,236	146,41 ± 1,17
CE/ SF SAE 15W/40 +5% R	500 ± 25,07	63 ± 10,00	39,38 ± 0,515	146,63 ± 0,913



Rys. 4. Przebieg siły tarcia dla szybkości narastania obciążenia 408,8 N/s węzła tarcia smarowanego olejem CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanym preparatami eksploatacyjnymi M, R, S po eksploatacji w silnikach autobusów około 20 tys. km

Fig. 4. The friction force curves during load increase of 408.8 N/s obtained for oil CE/SF SAE 15W/40 and this oil modified with the operation additives M, R, S after operation of the engines of buses about 20 thousand kilometres

Tabela 4. Średnice szkar kulek po badaniach właściwości smarnych środka smarowego oleju silnikowego CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanego preparatami eksploatacyjnymi M, R, S po eksploatacji w silnikach autobusów około 20 tys. km

Table 4. The wear scar diameters on tested balls obtained for engine oil CE/SF SAE 15W/40 and this oil modified with the operation additives M, R, S after operation of the engines of buses about 20 thousand kilometres

Rodzaj kompozycji smarowej	Średnica szkar, mm									
	Obciążenie węzła tarcia, daN									
	63	80	100	126	160	200	250	315	400	500
CE/SF SAE 15W/40	–	0,25 ±0,013	1,90 ±0,024	2,00 2,00 ±0,018	2,07 ±0,011	2,37 ±0,023	2,70 ±0,009	3,05 ±0,015	z	–
CE/SF SAE 15W/40 + M	–	0,25 ±0,013	1,68 ±0,020	1,85 ±0,018	1,95 ±0,019	1,95 ±0,019	2,10 ±0,013	2,50 ±0,011	2,95 ±0,019	z
CE/SF SAE 15W/40 + R	0,20 ±0,010	1,60 ±0,013	1,82 ±0,015	2,00 ±0,017	2,00 ±0,017	2,20 ±0,019	2,42 ±0,020	2,95 ±0,023	3,15 ±0,027	z
CE/SF SAE 15W/40 + S	0,20 ±0,010	0,40 ±0,027	1,20 ±0,014	1,90 ±0,017	2,00 ±0,017	2,05 ±0,023	2,35 ±0,025	2,45 ±0,027	3,25 ±0,030	z

Analizując średnicę szkar na kulkach po badaniach na aparacie czterokulowym, stwierdzono największy wzrost średnicy szkar przy zastosowaniu do smarowania silnika autobusu oleju handlowego z dodatkiem PE R, a mniejszą śred-

nicę skaz, stosując PE M i PE S. Przebieg siły tarcia przy narastającym obciążeniu 408,8 N/s węzła tarcia smarowanego olejem handlowym CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanym M, R, S po eksploatacji w silnikach autobusów po około 20 tys. km jest różny w zależności od użytych preparatów eksploatacyjnych. Korzystny przebieg siły tarcia uzyskano przy zastosowaniu PE M: przerwanie warstwy granicznej po 5 s i mała praca tarcia.

Przebieg procesu zacierania dla oleju przepracowanego modyfikowanego był łagodniejszy (**Rys. 4**) niż dla środków smarowych przed badaniami eksploatacyjnymi (**Rys. 3**).

Właściwości fizykochemiczne środków smarowych przyjętych do badań

Wyniki badań właściwości fizykochemicznych środków smarowych przyjętych do badań przedstawiono w **Tabelach 5 i 6**.

Tabela 5. Lepkość kinematyczna oleju handlowego CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanego preparatami eksploatacyjnymi M, R, S po eksploatacji w silnikach autobusów około 20 tys. km

Table. 5. Kinematic viscosity of engine oil CE/SF SAE 15W/40 and this oil modified with the operation additives M, R, S after operation of the engines of buses about 20 thousand kilometres

Rodzaj środka smarowego	Lepkość kinematyczna, mm ² /s							
	w temperaturze 40°C				w temperaturze 100°C			
	Przebieg autobusu, km				Przebieg autobusu, km			
	0	500	10000	20000	0	500	10000	20000
CE/SF SAE 15W/40	106,3	99,31	89,74	89,40	14,79	13,92	12,45	12,35 ± 0,024
CE/SF SAE 15W/40 +M	105,5	91,15	89,90	89,90	14,52	13,90	12,71	12,48 ± 0,013
CE/SF SAE 15W/40 + S	103,3	93,20	93,20	93,05	15,15	14,37	13,28	12,45 ± 0,008
CE/SF SAE 15W/40 + R	102,9	97,28	92,18	92,18	15,48	14,21	13,07	12,80 ± 0,016

Tabela 6. Liczba zasadowa i zawartość żelaza dla oleju CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanego preparatami eksploatacyjnymi M, R, S po eksploatacji w silnikach autobusów około 20 tys. km

Table. 6. Total basic number and iron content of engine oil CE/SF SAE 15W/40 and this oil modified with the operation additives M, R, S after operation of the engines of buses about 20 thousand kilometres

Rodzaj środka smarowego	Liczba zasadowa, mg KOH/g				Zawartość żelaza, ppm		
	Przebieg autobusu, km				Przebieg autobusu, km		
	0	500	10000	20000	500	10 000	20 000
CE/SF SAE 15W/40	12,73	11,08	11,81	10,63	16	34	56
CE/SF SAE 15W/40 + M	12,50	11,01	10,98	10,75	17	27	31
CE/SF SAE 15W/40 + S	12,42	11,15	11,01	10,92	13	25	33
CE/SF SAE 15W/40 + R	12,51	11,28	11,12	10,85	19	33	43

Badania wykazały, że lepkość kinematyczna mierzona w temp. 40°C zmienia się w zależności od zastosowanego środka smarowego i przebiegu autobusów. Największy spadek lepkości kinematycznej otrzymano dla oleju handlowego CE/SF SAE 15W/40 po przebiegu około 10 tys. km, natomiast najmniejszy – dla oleju modyfikowanego PE S i PE M. Lepkość kinematyczna mierzona w temperaturze 40°C dla przyjętych do badań środków smarowych po przebiegu 20 tys. km była porównywalna i zdecydowanie mniejsza niż po przebiegu 10 tys. km.

Lepkość kinematyczna mierzona w temp. 100°C była porównywalna dla wszystkich środków smarowych przyjętych do badań, przy czym większy spadek lepkości zaobserwowano po przebiegu 10 tys. km.

Liczba zasadowa olejów zmieniała się w zależności od zastosowanych środków smarowych i przebiegu autobusów. Największy spadek liczby zasadowej zanotowano po przebiegu 500 km, zwiększając przebiegi autobusów uzyskano zmniejszenie spadku liczby zasadowej dla oleju modyfikowanego M, R, S. Stwierdzono również, że po przebiegu 20 tys. km dla oleju niemodyfikowanego otrzymano najmniejszy spadek liczby zasadowej.

Zawartość żelaza w olejach rosła wraz ze wzrostem przebytych przez autobusy kilometrów. Największy przyrost żelaza był dla oleju handlowego CE/SF SAE 15W/40 a najmniejszy – dla oleju modyfikowanego PE M. Modyfikacja olejów wpłynęła na obniżenie zawartości żelaza w oleju.

PODSUMOWANIE

Zastosowanie preparatów eksploatacyjnych o działaniu chemicznym M, na bazie metali miękkich R i powodujące efekt selektywnego przenoszenia S do oleju CE/SF SAE 15W/40 przypuszczalnie przyczyniły się do utworzenia warstwy granicznej zdolnej do przenoszenia większych obciążeń i odpornej na przerywanie. Potwierdzeniem tego są wskaźniki właściwości smarnych P_z , P_n , I_h , P_t , które w wyniku modyfikowania środka smarowego uległy wzrostowi. (z wyjątkiem wskaźnika P_n , który dla preparatu eksploatacyjnego R nie uległ zmianie).

Zmiany fizykochemiczne oleju silnikowego modyfikowanego preparatami eksploatacyjnymi M, R, S ulegały zmianie wraz ze wzrostem przebiegu autobusów. Największą lepkość kinematyczną wyznaczono dla oleju modyfikowanego preparatami eksploatacyjnymi R i S, a najmniejszą lepkość kinematyczną dla oleju handlowego i modyfikowanego preparatem eksploatacyjnym M.

Liczba zasadowa zmieniała się wraz z przebiegiem autobusów, największy spadek liczby zasadowej uzyskano po przebiegu 500 km dla wszystkich badanych środków smarowych. Zastosowanie preparatów eksploatacyjnych powodowało mniejszy spadek liczby zasadowej w porównaniu z olejem niemodyfikowanym.

Modyfikowanie oleju smarowego preparatami eksploatacyjnymi M, R, S wpłynęło na obniżenie zawartości żelaza w oleju eksploataowanym. Najmniejszą zawartość żelaza uzyskano dla oleju modyfikowanego preparatem eksploatacyjnym M.

Na podstawie wyników badań stwierdzono, że:

1. W wyniku badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych uzyskano poprawę właściwości przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych oleju smarowego modyfikowanego.
2. W wyniku modyfikowania oleju smarowego w badaniach laboratoryjnych otrzymano najdłuższy czas do początku zacierania dla oleju smarowego z preparatami eksploatacyjnymi M i R, natomiast po eksploatacji oleju smarowego najdłuższy czas do początku zacierania zanotowano dla oleju smarowego z preparatami eksploatacyjnymi M i S.
3. Eksploatacja oleju stosowanego w autobusach nie wpłynęła na zmianę obciążenia zespawania P_z węzła tarcia. Pozostałe wskaźniki uległy zmniejszeniu ale były większe niż dla oleju smarowego handlowego.
4. Preparaty eksploatacyjne nie pogorszyły właściwości przeciwzużyciowych.
5. Spadek własności fizykochemicznych był mniejszy po zastosowaniu do oleju handlowego preparatów eksploatacyjnych M, R, S.

LITERATURA

1. Białka Z., Zwierzycki W.: Wpływ dodatków eksploatacyjnych na własności smarne olejów przekładniowych. *Tribologia* 2001;1: 89–113.
2. Burakowski T., Marczak R.: Wybrane procesy konstituowania się eksploatacyjnej warstwy wierzchniej. *Tribologia* 1999; 6: 757–765.
3. Carson G., HU H.N., Granick S.: Molecular tribology of fluid lubrication shear thinning. *Tribology Trans.* 1992; 35: 405–410.
4. Chan D.Y.C., Horn R.G.: The drainage of thin liquid films between solid surfaces. *J. Chem. Phys.* 1985;83: 5311–5324.
5. Cho Y.K., Cai L., Granick S.: Molecular tribology of lubricants and surfaces. *Tribology Int.* 1977; 12: 889–894.
6. Enthoven J.C., Spikes H.A.: Temperature profiling of EHD contacts prior to and during scuffing. Proc. XXith. Leeds-Lyon Conference; Leeds 1994; Dissipative processes in tribology, Elsevier, Science Publisher B.W. 73–80.
7. Forbes E. S., Reid A.J.D.: Liquid phase adsorption/reaction studies of argano-sulfur compounds and their load – carrying mechanism. *ASLE Trans.* 1973; 16: 50–60.
8. Hebda M., Wachal A.: *Tribologia*. WNT Warszawa, 1980.
9. Homola A.M., Israelachvili J. N., Gee M.L., Mc Guiggan P.M.: Measurements of and relation between the adhesion and friction of two surfaces separated by molecularly thin liquid films. *ASME J. Tribology* 1989; 111: 675–682.
10. Israelachvili J.N., Guiggan P.M. Mc, Homola A.M.: Dynamic properties of molecularly thin liquid films. *Science* 1988; 240: 189–191.
11. Jahanmir S., Beltzer M.: An adsorption model for friction in boundary lubrication. *ASLE Trans.*, 1986; 29: 423–430.

12. Kula P., Pietrasik R.: Mikromechanika i fizykochemia oddziaływania struktury warstwy wierzchniej na tarcie graniczne. *Tribologia* 1999; 6: 857–863.
13. Laber A., Laber S.: Niekonwencjonalne dodatki smarne. *Tribologia* 1999; 6: 865–885.
14. Laber A.: Ocena stanu geometrycznego powierzchni przed i po procesie tarcia skojarzenia trącego smarowanego olejem silnikowym modyfikowanym preparatem eksploatacyjnym o działaniu chemicznym. *Tribologia* 2008; 6: 59–71.
15. Laber S.: Preparaty eksploatacyjne o działaniu chemicznym. Wydawnictwo Uniwersytet Zielonogórski, 2004 .
16. Lawrowski Z.: Technika smarowania. PWN, Warszawa 1980.
17. Lee S.C., Cheng H.S.: Experimental validation of critical temperature-pressure theory of scuffing. *Tribology Trans.* 1995; 38: 738–742.
18. Lee S.C., Cheng H.S.: Scuffing theory modeling and experimental correlations. *ASME J. Tribology* 1991; 113: 327–334.
19. Marczak R.: Niskotarciowe dodatki do oleju a eksploatacyjna warstwa wierzchnia. *Tribologia* 1998; 2:131–136.
20. Ozimina D., Scholl H., Błaszczak T.: Modelowe badania procesów warstw granicznych na stali łożyskowej ŁH15 (100Cr6). *Tribology* 1996; 4: 423–436.
21. Płaza S.: Fizykochemia procesów tribologicznych. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego 1997 .
22. PN-76/C-04147: Badanie własności smarnych olejów i smarów.
23. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. Zacieranie. Wydawnictwo ITeE, Radom 2000.
24. Szczerek M., Wiśniewski M.: Tribologia i Tribotechnika. SIMP – PTT – ITeE Radom 2000.
25. Tomkins F.C.: Chemisorpcja gazów na metalach. PWN, Warszawa 1985.
26. Wachal A., Kulczycki A.: Derywatograficzne badania sorpcji dodatków siarkowych na powierzchni żelaza. *Tribologia* 1988; 1: 15–18.
27. Yozhizawa H., Chen Y.L., Israelachvili J.N.: Fundamental mechanisms of interfacial friction. I: Relation between adhesion and friction. *Phys. Chem.* 1993; 97: 4128–4110.
28. Yozhizawa H., Chen Y.L., Israelachvili J.: Recent advances in molecular level understanding of adhesion, friction and lubrication. *Wear* 1993;168: 161–166.

Summary

This paper presents the results of laboratory testing and verification on the actual technical facilities for lubricating oil CE/SF SAE 15W/40 and modified operational preparations with chemicals based on solid lubricants and causing a selective transfer effect. Laboratory tests included the appointment of indicators characterizing the lubricating properties, which are weld load, no scuffing load, wear under load, and scuffing load consumption, by measuring the average diameter of the flaws in the balls still involved in the determination of welding load. After laboratory tests

were carried out, verification tests were made on the engines of buses after the operation about 20 thousand kilometres. After the trial operation of bus engines, designated lubricating and physicochemical properties and iron content in the lubricants were determined.

Studies showed that preparations made to the oil supplies (commercial CE/SF SAE 15W/40) influenced the growth of antiseizure properties and anti-oil before and after the operation of the engines of buses for about 20 thousand kilometres. Preparation supplies contributed to a smaller decrease in oil viscosity measured at 40°C and 100°C, compared to the trade-grade oil, reduced the decline in the alkaline level, and resulted in a smaller increase in the iron content in oils.

