

Alicja LABER*

**MODYFIKOWANIE WARUNKÓW PRACY WĘZŁA
TARCIA OLEJAMI Z DODATKAMI
EKSPLOATACYJNYMI NA BAZIE ŚRODKÓW
SMARNYCH STAŁYCH**

**MODIFYING THE OPERATING CONDITIONS
OF FRICTION PAIRS WITH SOLID LUBRICANT BASED
ADDITIVES**

Słowa kluczowe:

własności smarne, oleje smarowe, dodatki eksploatacyjne

Key words:

lubricating properties, lubricants additives

Streszczenie

W artykule przedstawiono rezultaty badań stosowania w czasie eksploatacji dodatków na bazie środków smarnych stałych miedzi i ołowiu oraz dwusiarczku molibdenu do oleju smarowego AN68 i CE/SF SAE 15W/40. Rezultaty badań wyznaczono za pomocą aparatu czterokulowe-

* Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn, ul. Prof. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra.

go testera T-02 poprzez następujące wskaźniki własności smarnych: obciążenie zespawania Pz, obciążenie niezacierające Pn, wskaźnik zużycia pod obciążeniem Ih oraz obciążenie niezacierające Pt. Wskaźniki pozwoliły na określenie pozytywnego lub negatywnego wpływu dodatków eksploatacyjnych na właściwości przeciwzatarciowe i przeciwzużyciowe.

WPROWADZENIE

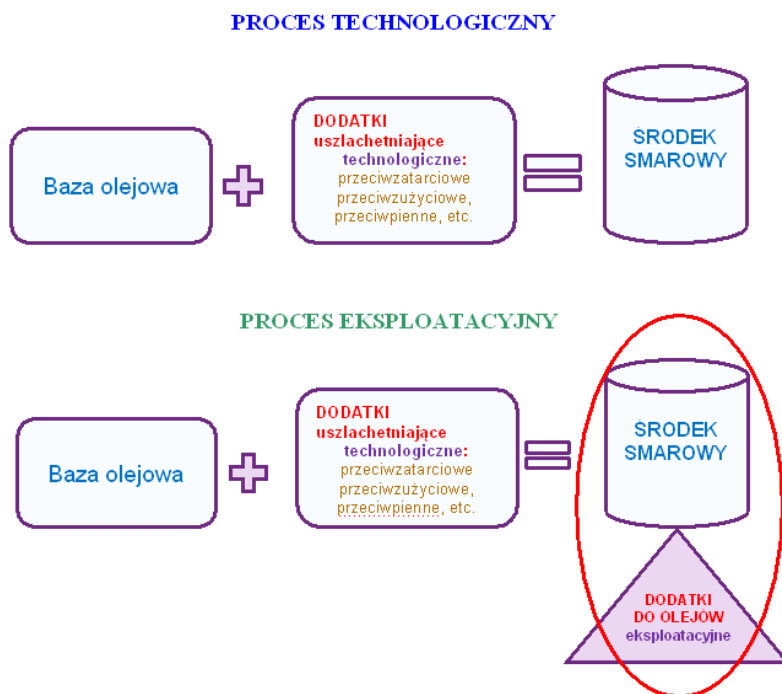
Ruchome elementy obiektu technicznego podlegają procesowi tarcia, który obniża sprawność mechaniczną układu. Według [L. 1] około $1/2 \div 1/3$ całkowitej ilości energii wytwarzanej w skali światowej jest zużywana na pokonanie oporów tarcia, np. w samochodach na tarcie zużywa się około 30% mocy silnika. Literatura [L. 2] podaje, że 50% paliwa pobieranego przez samochody i inne środki transportu zostaje zużyta na tarcie w ich ruchomych węzłach. Główną przyczyną utraty zdolności produkcyjnej maszyn i urządzeń (85÷90%) jest zużycie wywołane tarciami [L. 3].

Na zużycie węzłów tarcia ma wpływ wiele czynników. Według [L. 4] zużycie węzła tarcia w istotny sposób zależy od rodzaju materiałów współpracujących w danym skojarzeniu. Modyfikując własności warstw wierzchnich elementów węzła tribologicznego możemy zwiększyć odporność na ich zużycie. Tworzenie cienkich warstw przeciwzużyciowych może spowodować zmniejszenie zużycia [L. 5, 6]. Wdrożenie wyników badań tribologicznych może wpłynąć na oszczędność 11% zużywanej energii [L. 7].

Ważnym elementem węzła tarcia jest środek smarowy, który powinien być traktowany jako pełnowartościowy materiał konstrukcyjny, co nie zawsze jest uznawane przez konstruktorów. Rodzaj środka smarowego, jego skład chemiczny w różnym stopniu wpływają na wartość współczynnika tarcia i zużycie. Wiele prac naukowych poświęconych jest modyfikowaniu środków smarowych za pomocą makro- i nanocząstek metali [L. 8, 9, 10, 11] w celu zmniejszenia zużycia węzła tarcia.

Środki smarowe mimo swych niewątpliwych zalet, w ekstremalnych warunkach pracy systemów tribologicznych (obciążenie, prędkość i/lub temperatura) nie rozwiązują problemów niedosmarowania strefy tarcia. Nie likwidują tzw. „zimnego startu”, który występuje przy rozruchu maszyn i urządzeń zwłaszcza w ujemnych temperaturach. W takich przypadkach skuteczne może okazać się stosowanie **dodatków** do olejów

smarowych na etapie eksploatacji **Rys. 1**, które wprowadzone za pośrednictwem środka smarowego do węzłów tarcia, w wyniku adsorpcji fizycznej i chemicznej, tworzą warstwę graniczną charakteryzującą się zwiększoną trwałością i odpornością na przerywanie. Warstwa ta w sposób trwały związana jest ze współpracującymi powierzchniami i powoduje, że w strefie tarcia występują warunki odpowiadające tarcu granicznemu lub płynnemu [L. 12–15].



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

W artykule przedstawiono wpływ na własności smarne dodatku eksploatacyjnego na bazie środków smarnych stałych miedzi i ołowiu oraz dwusiarczku molibdenu. Uzyskane wyniki badań pozwolą wyznaczyć wpływ dodatków dodawanych w czasie eksploatacji do oleju smarowego na właściwości tribologiczne węzła tarcia.

EKSPERYMENT

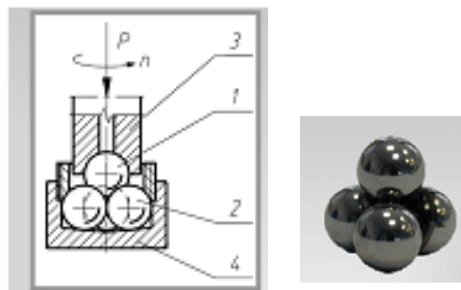
Metody eksperymentu

Badania własności smarnych oleju smarowego i smarowego z dodatkiem dodawanym w czasie eksploatacji wyznaczono za pomocą testera T-02 według PN-76/C-04147.

Wyznaczono następujące wskaźniki własności smarnych: obciążenie zespawania P_z , wskaźnik zużycia pod obciążeniem I_h , obciążenie niezacierające P_n , obciążenie zacierające P_t . Wyznaczenie wskaźników P_z , P_n , I_h odbywało się przy narastającym skokowo obciążeniu do momentu zespawania węzła tarcia. Wyznaczenie wskaźnika P_t odbywało się przy narastającym obciążeniu węzła tarcia od 0 do 800 daN z prędkością 408,8 N/s.

Próbka i środki smarowe

Podczas badań własności smarnych węzeł tarcia składał się (**Rys. 2**) z czterech kulek ze stali 100Cr6 o średnicy 12,7 mm, chropowatości powierzchni $R_a = 0,032 \mu\text{m}$ i o twardości według Rockwella 60 HRC. Badania przeprowadzono dla oleju maszynowego AN-68 (lepkość kinematyczna w 40°C $65,8 \text{ mm}^2/\text{s}$, wskaźnik lepkości 95) oraz oleju silnikowego CE/SF SAE 15W/40 (lepkość kinematyczna w 100°C $16,3 \text{ mm}^2/\text{s}$, wskaźnik lepkości 130). Oleje te modyfikowano 5% w stosunku objętościowym dodatkiem eksploatacyjnym na bazie środków smarnych stałych, miedzi i ołowiu oraz dwusiarczku molibdenu. Dodatek na bazie metali miękkich składa się z mikroskopijnych cząstek miedzi i ołowiu o wielkości od 5 do $15 \mu\text{m}$ znajdujących się w cieczy węglowodorowej.



Rys. 2. Węzeł tarcia podczas badań własności smarnych [16]

Fig. 2. Friction pair during lubricant properties tests [16]

Dodatek eksploatacyjny do oleju silnikowego na bazie dwusiarczku molibdenu o wielkości cząstek około $0,5 \mu\text{m}$, lepkości według Redwooda przy 21°C 313 s, i przy 60°C 67 s. Dodatek eksploatacyjny na bazie dwusiarczku molibdenu do olejów przekładniowych o wielkości cząstek około $0,5 \mu\text{m}$, lepkości według Redwooda przy 60°C 449 s, i przy 93°C 124 s.

WYNIKI BADAŃ

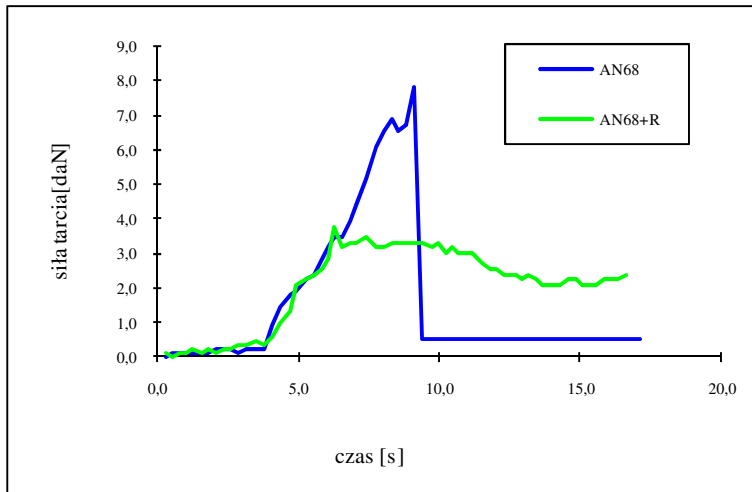
Modyfikowanie oleju maszynowego AN-68 wpłynęło na poprawę wszystkich wskaźników własności smarnych (**Tabela 1**). Badane dodatki eksploatacyjne nie wpłynęły jednocześnie na poprawę wszystkich wskaźników własności smarnych. Znaczny wzrost obciążenia zespawania uzyskano podczas zastosowania do oleju smarowego AN-68 dodatku eksploatacyjnego na bazie miedzi i ołowiu. Zastosowanie natomiast do oleju smarowego dodatku zawierającego dwusiarczki molibdenu wpłynęło na znaczną poprawę obciążenia niezacierającego P_n i obciążenia zacierającego P_t . Modyfikowanie oleju silnikowego CE/SF SAE 15 W/40 poprawiło wszystkie wskaźniki własności smarnych (**Tabela 1**). Porównując modyfikowanie dodatkiem eksploatacyjnym na bazie miedzi i ołowiu oraz dwusiarczkiem molibdenu stwierdzono porównywalne wyniki obciążenia zespawania P_z , wskaźnika zużycia pod obciążeniem I_h . Znaczna różnica wystąpiła dla obciążenia zacierającego P_t podczas stosowania do oleju smarowego dwusiarczku molibdenu – **Tabela 1, Rys. 4 i 6**.

Stosowane dodatki eksploatacyjne łagodziły proces zacierania – **Rys. 3, 4, 5 i 6**.

Tabela 1. Własności smarne badanych środków smarowych

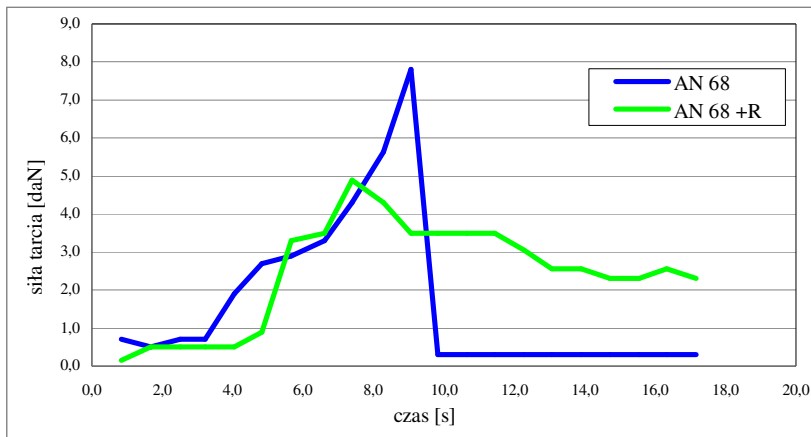
Table 1. Lubricant properties of tested lubricants

Lp.	Środki smarowe	Własności smarne [daN]			
		P_z	I_h	P_n	P_t
1	olej maszynowy AN-68	160	26,6	43	151,1
	olej maszynowy AN-68 +R	400	33	50	162,9
	olej maszynowy AN-68+ MoS ₂	200	33,53	80	193,0
2	Olej silnikowy CE/SF SAE15W40	315	43,18	80	211,11
	Olej silnikowy CE/SF SAE15W40+R	500	50,42	100	244,75
	Olej silnikowy CE/SF SAE15W40+MoS ₂	500	50,20	100	272,00



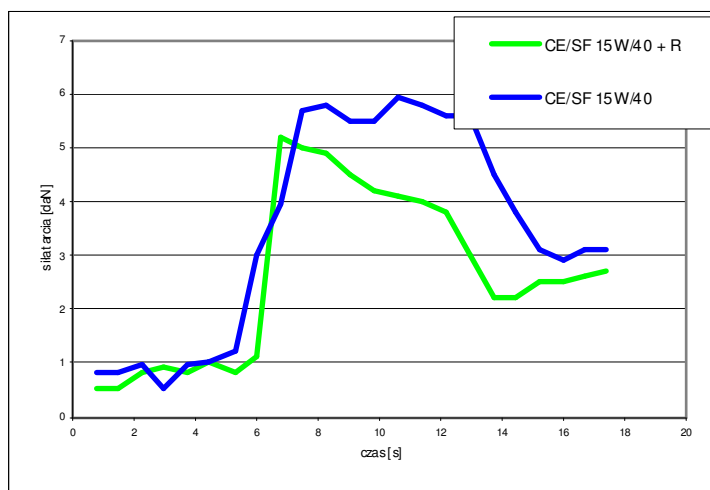
Rys. 3. Przebieg zmienności siły tarcia dla narastającego obciążenia 408,8 N/s węzła tarcia smarowanego olejem maszynowym AN-68 oraz modyfikowanym dodatkiem eksploatacyjny R na bazie metali miękkich

Fig. 3. The variability of friction force for an increasing load 408.8 N/s of the friction pair lubricated with AN-68 engine oil and modified with a soft metal based additive R



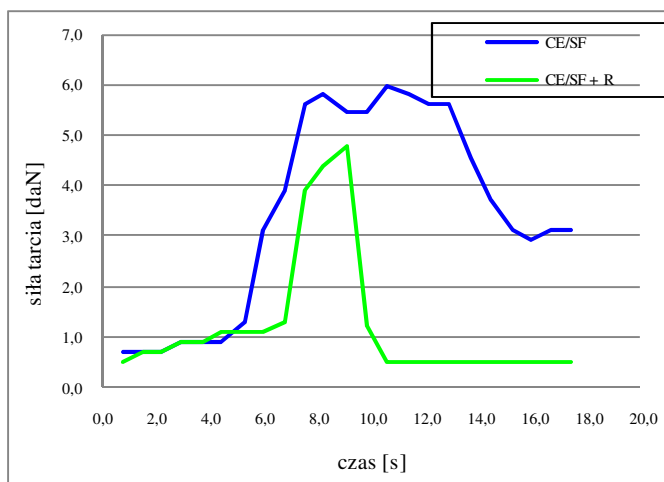
Rys. 4. Przebieg zmienności siły tarcia dla narastającego obciążenia 408,8N/s węzła tarcia smarowanego olejem maszynowym AN-68 oraz modyfikowanym dodatkiem eksploatacyjnym R na bazie dwusiarczku molibdenu MoS₂

Fig. 4. The variability of friction force for an increasing load 408.8 N/s of the friction pair lubricated with AN-68 engine oil and modified with a molybdenum disulphide MoS₂ based additive R



Rys. 5. Przebieg zmienności siły tarcia dla narastającego obciążenia 408,8 N/s wężła tarcia smarowanego olejem CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanym dodatkiem eksploatacyjnym R, na bazie metali miękkich

Fig. 5. The variability of friction force for an increasing load 408.8 N/s of the friction pair lubricated with CE/SF SAE 15W/40 oil and modified with a soft metal based additive R



Rys. 6. Przebieg zmienności siły tarcia w funkcji narastającego obciążenia 408,8 N/s, wężła tarcia smarowanego olejem silnikowym CE/SF SAE 15W/40 oraz modyfikowanym dodatkiem eksploatacyjnym na bazie dwusiarczku molibdenu MoS₂

Fig. 6. The variability of friction force for an increasing load 408.8 N/s of the friction pair lubricated with CE/SF SAE 15W/40 engine oil and modified with a molybdenum disulphide MoS₂ based additive

WNIOSKI

1. Modyfikując dodatkiem eksploatacyjnym olej maszynowy AN-68 i olej silnikowy CE/SF SAE 15W/40 uzyskano poprawę wszystkich wskaźników własności smarnych,
2. Modyfikując olej maszynowy AN-68 dodatkiem eksploatacyjnym na bazie cząstek miedzi i ołowiu oraz dwusiarczkiem molibdenu stwierdzono, że w różnym stopniu wzrastały wskaźniki własności smarnych, silniej przy dodatku.
3. Modyfikując olej silnikowy CE/SF SAE 15W/40 dodatkiem eksploatacyjnym na bazie cząstek miedzi i ołowiu oraz dwusiarczkiem molibdenu uzyskano porównywalne wyniki dla obciążenia zespawania P_z , wskaźnika zużycia pod obciążeniem I_h , obciążenia niezacierającego P_n . Znaczną różnicę uzyskano dla obciążenia niezacierającego P_t na korzyść stosowania dwusiarczku molibdenu.

LITERATURA

1. Hebda M., Janecki M.: Tarcie, smarowanie i zużycie części maszyn. WNT, Warszawa 1972.
2. Krawiec S.: Wpływ synergizmu wybranych napełniaczy w smarze na zwiększenie trwałości ślizgowych węzłów maszyn. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1998.
3. Гаркунов Д.Н.: Триботехника. М: Машиностроение, 1985.
4. Vergleichende oekologische Betrachtung unschiedlicher Systeme zum Abtrocknen der Haende. Umweltbundesamt. Berlin 1993.
5. Przepiórka J., Szczerek M.: The modification of metal- polimer friction pair. World Tribology Congress, 2001 Vienna.
6. Yamamoto K., Matsukado K.: Effect hydrogenated DLC coating hardness on the tribological properties under water lubrication. Tribology Intern. 39, 2006, p. 1609–1614.
7. Kłos Z., Kurczewski P., Kasprzak J.: Środowiskowe charakteryzowanie maszyn i urządzeń. Podstawy ekologiczne, metody i przykłady. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 2005.
8. Hernández Battez A. et al.: Cu, ZrO₂ and ZnO nanoparticles as antiwear additive in oil lubricants., Wear 2008, Vol. 265, Issues 3–4, p. 422–428.
9. Kotnarowski A.: Selective Transfer Phenomenon in Copper- Steel Tribological Systems., Solid State Phenomena 2009, Volume 147–149, p. 558–563.

10. Lesnikovich A.I., Shpenkov G.P.: Ultra Dispersed Metals and Oxides as Perspective Additives for Metal- plating lubricants., Conference Proceedings, Taganrog. 1991.
11. Li. B., et al.: Tribochemistry and antiwear mechanizm of organic-inorganic nanoparticles as lubricant additives., Tribology Letters 2006, Vol. 22, Issue 1, p.79–84.
12. Laber S., Laber A.: Badania wpływu niekonwencjonalnych dodatków niskotarciowych na trwałość warstwy granicznej oleju silnikowego CE/SF SAE 15W/40. Materiały konferencji nt. Problemy niekonwencjonalnych układów łożyskowych. Sekcja Podstaw Eksploatacji KBM PAN, Polskie Towarzystwo Tribologiczne, Politechnika Łódzka, Łódź 1997.
13. Wiślicki B.: Niekonwencjonalne dodatki do olejów smarowych. Paliwa, Oleje i Smary 17/95.
14. Laber S., Laber A.: Modyfikowanie warunków pracy węzłów tarcia niekonwencjonalnymi dodatkami smarnymi – mechanizmy działania. Materiały z Zebrania Plenarnego Sekcji Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn PAN. Zielona Góra 1998.
15. Laber A.: Ocena właściwości smarnych oleju przekładniowego AN-68 modyfikowanego preparatem eksploatacyjnym. Hydraulika i Pneumatyka – 4/2002.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

The article presents the results of tests into the application of additives based on solid lubricants of copper, lead, and molybdenum disulphide to AN68 and CE / SF SAE 15W/40 lubricating oils. The test results were collected with a four-ball T-02 tester, which determined the following indicators of lubricating properties: weld load Pz, non-seizure load Pn, load wear index Ih and seizure load Pt. The indicators were used to determine a positive or negative effect of additives on anti-seizure and anti-wear properties.