

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Badania wpływu zastosowania preparatu eksploatacyjnego na stan powierzchni kół zębatach z wykorzystaniem profilografometru

ANDRZEJ WIECZOREK

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ GÓRNICTWA I GEOLOGII, INSTYTUT MECHANIZACJI GÓRNICTWA

Słowa kluczowe: smarowanie, zużycie, preparat eksploatacyjny

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki przeprowadzonych doświadczalnych badań porównawczych wpływu dodania preparatu eksploatacyjnego do oleju smarującego na stan współpracujących powierzchni zębów. W ramach pracy przeprowadzono pomiary chropowatości powierzchni współpracujących kół zębatach. Wykazano, że zastosowanie olejów mineralnych i syntetycznych skojarzonych z preparatem eksploatacyjnym do eksploatacji wysoko obciążonych kół zębatach pozwala na zmniejszenie chropowatości współpracujących powierzchni kół zębatach w porównaniu z powierzchniami smarowanymi tylko czystymi olejami mineralnymi.

Studies on the impact of the use of a metal conditioner on the condition of the gear surface, performed using a surface profiler

Keywords: lubrication, wear, exploitation supplement

ABSTRACT

The paper presents the results of the experimental comparative studies on the impact of addition of a metal conditioner to the lubricating oil on the condition of the mating surfaces of the teeth. The studies included measurements of the roughness of surfaces of the mating gears. It has been shown that the use of mineral and synthetic oils together with a metal conditioner for highly loaded gears allows reducing the roughness of the mating surfaces of the gears as compared with the surfaces lubricated only with pure mineral or synthetic oils.

1. WPROWADZENIE

W chwili obecnej obserwuje się tendencję dodawania preparatów eksploatacyjnych do olejów smarujących odpowiedzialne zespoły napędowe maszyn, w szczególności dotyczy to branży maszyn górniczych. Według S. Laber [1] preparaty eksploatacyjne (PE) są to związki chemiczne lub mieszaniny związków chemicznych przygotowane do jakiegoś określonego celu. np. do polepszenia warunków pracy węzłów tarcia poprzez zwiększenie trwałości warstwy granicznej. Preparaty te są wprowadzane do węzłów tarcia za pośrednictwem olejów i w wyniku adsorpcji fizycznej i chemisorpcji modyfikują warstwę przypowierzchniową tworząc na powierzchniach trących zmodyfikowaną, bardziej odporną na działania obciążeń dynamicznych i temperaturowych warstwę graniczną [1].

W wielu pracach [m.in. 1-3], na podstawie badań doświadczalnych, wykazano bardzo korzystne właściwości tribologiczne preparatu eksploatacyjnego składającego się ze związków: grupy ditiofosforanów cynku, alkilowych, pierwszo- i drugorzędowych oraz arylowych, alkilofenolowych, aromatycznych amin, siarczków organicznych, nadzasadowych sulfonianów magnezu, kwasów alkenobursztynowych, siarkowanych kwasów tłuszczowych, polimetylosiloksanów, alkilometakrylanów, kopolimerów etylenowo-propylenowych, mieszaniny syntetycznych estrów polioliowych wywodzących się z alkoholi wielowodorotlenowych, inhibitorów korozji, inhibitorów utlenienia (preparat występuje pod nazwą handlową Motor Life Professional). Szczególnie należy podkreślić obserwowane zmniejszenie ubytków masy badanych próbek w przypadku smarowania olejami skojarzonymi z rozpatrywanym preparatem eksploatacyjnym.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych, stanowiących poszerzenie już opublikowanych wyników analiz [4, 5], ukierunkowanych na wykazanie wpływu stosowania preparatów eksploatacyjnych na powierzchnię współpracujących elementów zespołów napędowych. Jako najbardziej reprezentatywne elementy wybrano koła zębate poddane nawęglaniu i szlifowaniu.

2. OPIS METODY BADAWCZEJ

W celu określenia wpływu zastosowania preparatu eksploatacyjnego do smarowania w skojarzeniu z olejami: mineralnym i syntetycznym, na chropowatość powierzchni kół zębatach wykorzystano stanowisko badawcze pracujące w układzie mocy zamkniętej. Wykorzystanie tego stanowiska pozwala na prowadzenie eksploatacji kół zębatach w identycznych kontrolowanych warunkach. Tym samym uzyskane wyniki pozwalają na jakościowe porównanie stanu powierzchni kół zębatach.

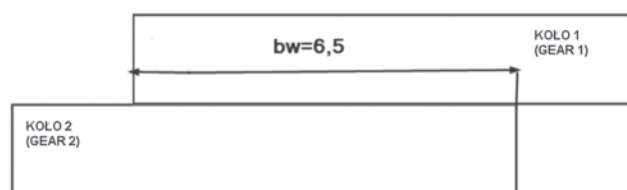
Widok stanowiska mocy zamkniętej przedstawiono na Rysunku 1.



Rysunek 1 Widok stanowiska mocy zamkniętej

Figure 1 View of the closed-loop power test rig

W założonym eksperymencie postanowiono świadomie wywołać sytuację bardzo często występującą w rzeczywistości, czyli pracę krawędziową współpracujących powierzchni bocznych kół zębatach (Rys. 2), które to warunki uzyskano poprzez przesunięcie wzajemne kół zębatach.



Rysunek 2 Schemat współpracy flanak zębów kół.

Figure 2 Diagram of the gear tooth flank mating

W ramach badań zrealizowano cztery warianty smarowania:

1. Smarowanie olejem mineralnym klasy lepkościowej 220 (badany olej był w postaci gotowej).
2. Smarowanie olejem mineralnym klasy lepkościowej 220 w skojarzeniu z preparatem eksploatacyjnym (udział preparatu wynosił 5% w mieszaninie).

3. Smarowanie czystym olejem syntetycznym klasy lepkościowej 220 (badany olej również był w postaci gotowej).

4. Smarowanie olejem syntetycznym klasy lepkościowej 220 w skojarzeniu z preparatem eksploatacyjnym (udział preparatu wynosił 5% w mieszaninie).

Czas eksploatacji kół zębatach dla każdego przyjętego wariantu smarowania wynosił 50 godzin. Koła zębata poddane badaniom eksploatacyjnym obciążono momentem statycznym $M_{st}=80$ Nm, natomiast prędkość obrotowa koła napędzającego wynosiła $n_1=1500$ obr/min.

Z uwagi na fakt, że rzeczywiste naprężenia w zębie zależą od parametrów geometrycznych, wyznaczono wskaźniki [6] charakterystyczne:

– nominalny wskaźnik jednostkowy Q określony wzorem

$$Q = \frac{2 \cdot M_{st}}{b_w d_{t1}^2} \quad (1)$$

gdzie: M_{st} – moment statyczny, którym obciążono układ, b_w – wspólna szerokość kół zębatach ($b_w=6,5$ mm)

– wskaźnik Qb określony wzorem:

$$Q_b = \frac{F}{b_w} \quad (2)$$

gdzie: F – nominalna siła międzyzębna.

Wprowadzone obciążenie odpowiadało wskaźnikowi obciążenia $Q=2,3$ MPa, natomiast wskaźnik $Q_b=236$ N/mm. Wartości wskaźników, zwłaszcza wskaźnika Q_b , świadczą o dużym wyężeniu eksploatowanych kół zębatach (bardzo zbliżone wartości wskaźnika Q_b występują na stopniach wyjściowych przekładni zębatach dużych mocy stosowanych w przemyśle górniczym).

W Tabeli 1 zestawiono parametry charakteryzujące badania doświadczalne przeprowadzone w ramach realizacji założonych celów pracy.

3. WYNIKI POMIARÓW CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI KÓŁ ZĘBATYCH PODDANYCH EKSPLOATACJI NA STANOWISKU MOCY ZAMKNIĘTEJ

Dla miarodajnej oceny stanu powierzchni kół zębatach przyjęto parametry charakteryzujące chropowatość powierzchni: Ra, Rz i Rt. Do określenia parametrów chropowatości zgodnie z Normami PN-EN ISO 4287 i PN-ISO 4288 wykorzystano urządzenie Taylor Hobson FORM TALYSURF 120.

Tabela 1 Parametry charakteryzujące warunki badań doświadczalnych

Table 1 Parameters characterizing the conditions of the experimental studies

Smarowanie	Czas próby, h	Wskaźniki obciążenia		
		M_{st} , N	Q, MPa	Q_b , N/mm
Olej mineralny klasy 220	50	80	2,3	236
Olej mineralny klasy 220+5% PE				
Olej syntetyczny klasy 220				
Olej syntetyczny klasy 220 + 5% PE				

Pomiary chropowatości zostały wykonane w akredytowanym laboratorium chropowatości.

Na Rysunku 3 przedstawiono profilogramy chropowatości wyznaczone dla przypadku smarowania olejem mineralnym czystym i po dodaniu preparatu eksploatacyjnego, natomiast na Rysunku 4 – olejem syntetycznym (z grupy polialfaolefinów). Na obu rysunkach przedstawiono wyniki z pomiaru powierzchni:

- nie eksploatowanych,
- w miejscu styku powierzchni bocznych zębów,
- poddanej eksploatacji.

W Tabeli 2 zestawiono wyznaczone dla rozpatrywanych wariantów smarowania parametry charakteryzujące chropowatość powierzchni: Ra, Rz i Rt.

Na podstawie wyników pomiarów chropowatości i uzyskanych profilogramów można zauważyć, że chropowatość obciążonych powierzchni (poza obszarem styku krawędzi) kół zębatach smarowanych czystymi olejami mineralnymi i syntetycznymi klasy lepkościowej 220 była wyższa w porównaniu z obciążonymi powierzchniami (poza obszarem styku krawędzi) kół zębatach smarowanych olejami mineralnymi i syntetycznymi klasy lepkościowej 220 w skojarzeniu z preparatem eksploatacyjnym (udział preparatu 5%). Świadczy to o dogodniejszych warunkach docierania się powierzchni kół zębatach w obecności preparatu eksploatacyjnego.

Chropowatość obciążonych powierzchni w obszarze styku krawędzi zewnętrznych flanek kół zębatach smarowanych czystymi olejami mineralnymi i syntetycznymi klasy lepkościowej 220

Tabela 2 Zestawienie parametrów charakteryzujących chropowatość powierzchni: Ra, Rz i Rt dla rozpatrywanych wariantów smarowania

Table 2 Summary of the parameters characterizing the surface roughness: Ra, Rz and Rt for the lubrication options considered

Obszar pomiaru	Olej mineralny		Olej mineralny + 5%PE	
Powierzchnia nie-współpracująca	Ra, μm	0,2264	Ra, μm	0,1202
	Rz, μm	2,4452	Rz, μm	1,4115
	Rt, μm	4,6217	Rt, μm	2,8448
Powierzchnia w miejscu styku krawędzi	Ra, μm	0,5037	Ra, μm	0,1776
	Rz, μm	5,6271	Rz, μm	1,2121
	Rt, μm	16,8839	Rt, μm	2,0172
Powierzchnia współpracująca	Ra, μm	0,2064	Ra, μm	0,0701
	Rz, μm	1,4692	Rz, μm	0,6771
	Rt, μm	1,5817	Rt, μm	1,2803
Obszar pomiaru	Olej syntetyczny		Olej syntetyczny + 5%PE	
Powierzchnia nie-współpracująca	Ra, μm	0,1173	Ra, μm	0,1325
	Rz, μm	0,9572	Rz, μm	1,6328
	Rt, μm	2,0512	Rt, μm	2,1991
Powierzchnia w miejscu styku krawędzi	Ra, μm	0,4532	Ra, μm	0,1578
	Rz, μm	3,9495	Rz, μm	2,0305
	Rt, μm	14,6752	Rt, μm	4,5322
Powierzchnia współpracująca	Ra, μm	0,1305	Ra, μm	0,1286
	Rz, μm	1,2337	Rz, μm	1,1433
	Rt, μm	1,9669	Rt, μm	1,4869

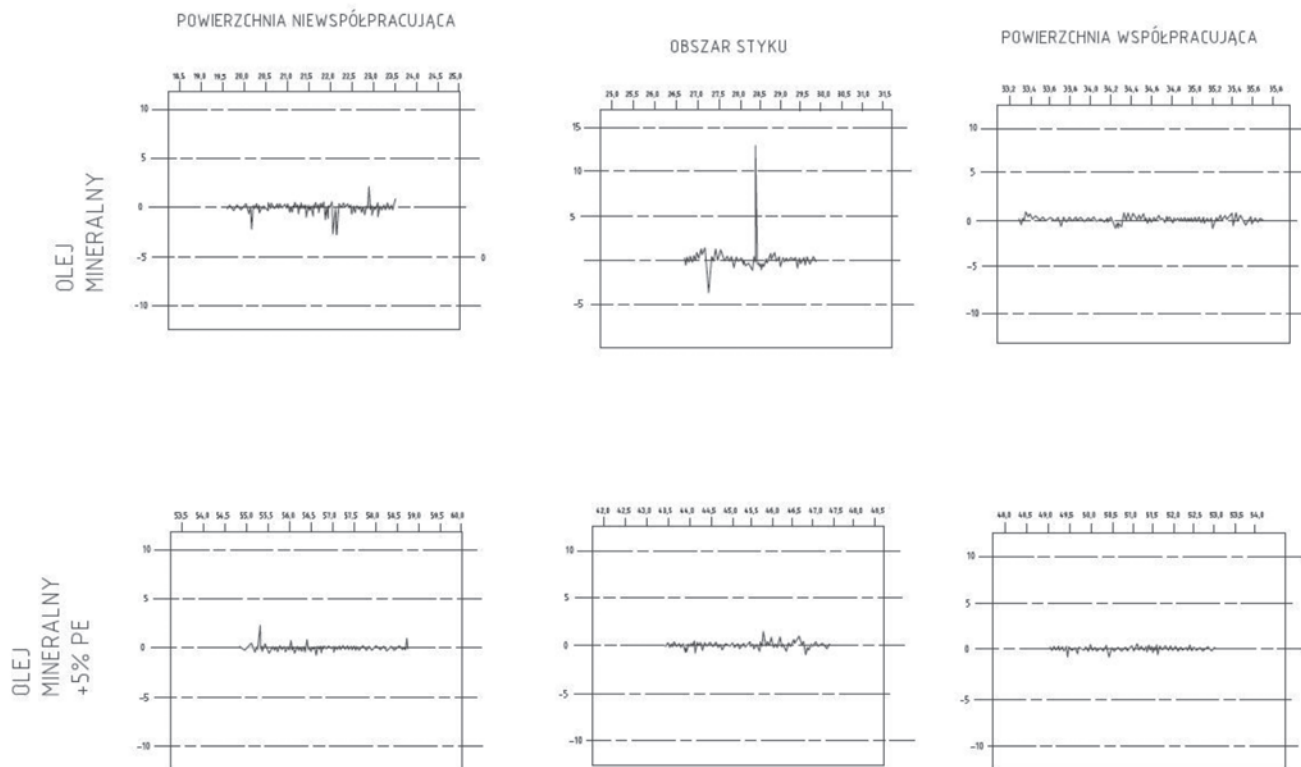
była znacząco wyższa w porównaniu z obciążonymi powierzchniami w obszarze styku krawędzi zewnętrznych flanek kół zębatych smarowanych olejami mineralnymi i syntetycznymi klasy lepkościowej 220 w skojarzeniu z preparatem eksploatacyjnym (udział preparatu 5%).

Na profilogramie powierzchni w obszarze styku krawędzi zewnętrznych flanek kół zębatych smarowanych czystymi olejami mineralnymi i syntetycznymi klasy lepkościowej 220 można zauważyć odkształcenia plastyczne powstałe w wyniku

oddziaływania krawędzi flanek zęba (Rys. 2 i 3). Podobnego efektu nie zauważono w przypadku smarowania olejami w skojarzeniu z preparatem eksploatacyjnym.

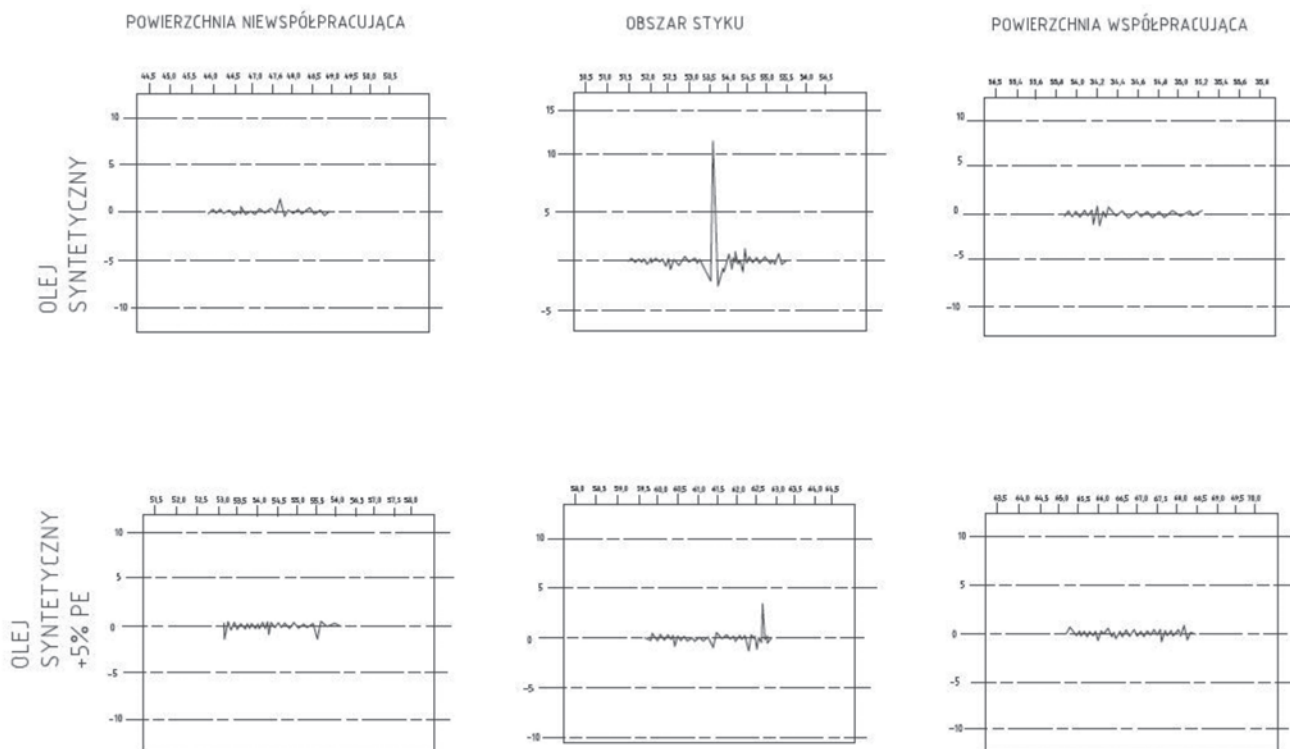
4. PODSUMOWANIE

W pracy rozpatrzono wpływ preparatu eksploatacyjnego powszechnie stosowanego w przemyśle górniczym przez czołowe firmy tej branży na stan współpracujących powierzchni zębów. Pre-



Rysunek 3 Profilogramy chropowatości powierzchni smarowanych olejem mineralnym klasy lepkościowej 220 oraz olejem mineralnym z preparatem eksploatacyjnym (udział preparatu 5%)

Figure 3 Profilograms of the roughness of the surfaces lubricated with mineral oil (viscosity class 220) and with mineral oil with addition of a metal conditioner (share of the metal conditioner: 5%)



Rysunek 4 Profilogramy chropowatości powierzchni smarowanych olejem syntetycznym klasy lepkościowej 220 oraz olejem syntetycznym z preparatem eksploatacyjnym (udział preparatu 5%)

Figure 4 Profilograms of the roughness of the surfaces lubricated with mineral oil (viscosity class 220) and with mineral oil with addition of a metal conditioner (share of the metal conditioner: 5%)

parat ten był także przedmiotem badań (w skojarzeniu z olejami silnikowymi) przedstawionych w pracach [1-3]. Informacje uzyskane od użytkowników świadczą o celowości stosowania preparatów eksploatacyjnych w węzłach tarciovych wysoko obciążonych maszyn i urządzeń, szczególnie pracujących w warunkach dużego zapylenia. Należy także dodać, że przesłanką skłaniającą Autora pracy do rozpoczęcia badań właściwości użytkowych preparatów eksploatacyjnych była chęć poznania tych właściwości przez faktycznych użytkowników, którymi są najczęściej kierownicy działów energomechanicznych kopalń węgla kamiennego i rud miedzi.

Na podstawie powyższych spostrzeżeń można sformułować wniosek ogólny:

– zastosowanie olejów mineralnych i syntetycznych skojarzonych z preparatem eksploatacyjnym do eksploatacji wysoko obciążonych kół zębatych pozwala na zmniejszenie chropowatości współpracujących powierzchni kół zębatych w porównaniu z powierzchniami kół zębatych smarowanych tylko czystymi olejami mineralnymi.

Należy dodać, że wartość chropowatości powierzchni jest ważnym parametrem, wpływającym istotnie na warunki smarowania. Zagadnienie to będzie tematem kolejnych opracowań dotyczących poprawy warunków eksploatacji maszyn i urządzeń pracujących w warunkach charakteryzujących się silnym zapyleniem.

LITERATURA

- [1] Laber S.: Badania własności eksploatacyjnych i smarnych uszlachetnicza metalu MOTOR-LIFE PROFESSIONAL. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2003.
- [2] Laber S., Laber A., Niedziela A.: Ocena zmian w procesie eksploatacji wybranych własności oleju silnikowego CE/SF SAE 15W/40 modyfikowanego dodatkiem niskotarciowym MOTOR-LIFE. TRIBOLOGIA nr. 6/1999, 901-910.
- [3] Laber S., Laber A.: Badania wpływu niekonwencjonalnych dodatków niskotarciowych na trwałość warstwy granicznej oleju silnikowego CE/SF SAE 15W/40. Materiały konferencji n.t. Problemy niekonwencjonalnych układów łożyskowych. Sekcja Podstaw Eksploatacji KBM PAN, Polskie Towarzystwo Tribologiczne, Politechnika Łódzka, Łódź 1997.
- [4] Wieczorek A.: Badanie wpływu dodania preparatu MOTOR-LIFE PROFESSIONAL do olejów na ubytek masy współpracujących elementów. Napędy i Sterowanie, 7-8 2011, 82-84.
- [5] Wieczorek A.: Badania wpływu dodania preparatu eksploatacyjnego na zużycie węzłów tarciovych. Tribologia V43, nr 2, (242), 2012, 97-106.
- [6] Spałek J.: Problemy inżynierii smarowania maszyn w górnictwie. Monografia 57. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.