

Rafał KOZDRACH*, Jarosław MOLEND*

TESTOWANIE WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH EKOLOGICZNYCH SMARÓW PLASTYCZNYCH MODYFIKOWANYCH DODATKIEM POLIMEROWO-KRZEMIONKOWYM

THE TESTING OF EXPLOITATION PROPERTIES OF ECOLOGICAL GREASES MODIFIED WITH POLYMER-SILICA ADDITIVE

Słowa kluczowe:

ekologiczny smar plastyczny, powierzchniowa trwałość zmęczenia, dodatek polimerowo-krzemionkowy, aparat czterokulowy, pitting, krzywa Weibulla

Key words:

ecological grease, rolling contact fatigue, polymer-silica additive, four-ball test, pitting, Weibull curve

Streszczenie

W publikacji przedstawiono wyniki badań dotyczące wpływu opracowanego dodatku polimerowo-krzemionkowego na zmianę trwałości zmęczeniowej

* Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, tel. (048)36-442-41, fax (048) 36-447-65, e-mail: rafal.kozdrach@itee.radom.pl, jaroslaw.molenda@itee.radom.pl.

łożysk smarowanych ekologicznymi kompozycjami smarowymi. Ocenie poddano smary plastyczne niezawierające modyfikatora i zmodyfikowane polimerowo-krzemionkowym dodatkiem.

Wykonano badania powierzchniowej trwałości zmęczeniowej (pitting) łożysk smarowanych zarówno kompozycjami niezawierającymi modyfikatora, jak również kompozycjami smarowymi zmodyfikowanymi dodatkiem polimerowo-krzemionkowym. Następnie oceniono wpływ dodatku w testowanych smarach na zmiany powierzchniowego zużycia zmęczeniowego łożysk. Badania przeprowadzono na aparacie czterokulowym – typ T-03.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań zmęczeniowych stwierdzono, że nowo opracowany dodatek modyfikujący wpływa korzystnie na zmiany powierzchniowej trwałości zmęczeniowej węzłów tarcia smarowanych kompozycjami na bazie oleju mineralnego i roślinnego oraz niekorzystnie na zmiany powierzchniowej trwałości zmęczeniowej węzłów tarcia smarowanych kompozycjami na bazie oleju syntetycznego.

WPROWADZENIE

Właściwości smarów plastycznych są w głównej mierze kształtowane za pomocą odpowiednio dobranych dodatków uszlachetniających. Typowe pakiety dodatków uszlachetniających smary plastyczne zawierają między innymi: antyutleniające, dodatki przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe oraz dodatki przeciwkorozyjne i adhezyjne [L. 1–3].

Dobór odpowiednich dodatków jest determinowany obszarem aplikacji smaru oraz wymaganiami ekologicznymi, stawianymi tego typu produktom. Kluczowymi cechami eksploatacyjnymi smarów są właściwości smarne, ograniczające różne formy zużycia tribologicznego współpracujących elementów, co decyduje o trwałości węzłów tarcia.

Jedną z najczęstszych form zużycia tribologicznego, powodującego graniczne pogorszenie sprawności użytkowej elementów maszyn i urządzeń, jest powierzchniowe zużycie zmęczeniowe, czyli tzw. pitting. Występuje on w ruchu tocznym lub tocznym z niewielkim poślizgiem. Pitting jest związany ze zmęczeniem materiału warstwy wierzchniej, wywołanym ciągłym obciążeniem styku, w wyniku czego powstają mikropęknięcia, których ilość gwałtownie wzrasta, prowadząc do wykruszenia materiału. Zużycie zmęczeniowe jest uzależnione od wielu czynników takich, jak: właściwości materiału, warunki eksploatacji, konstrukcja węzła tarcia czy właściwości zastosowanych środków smarnych [L. 4–9]. W związku ze wzrastającą rolą ochrony środowiska naturalnego, należy stosować środki, które nie zawierają w swym składzie metali ciężkich, chlorowców, siarki czy fosforu, czyli pierwiastków odpowiedzialnych za podwyższenie efektywności smarowej [L. 10, 11]. Względy ekologiczne determinują więc zastosowanie innych dodatków modyfikujących, których

zadaniem jest poprawa odporności badanych kompozycji smarowych na procesy zużycia, w tym na powierzchniowe zużycie zmęczeniowe. Przykładem tego typu dodatków jest mieszanina polimerowo-krzemionkowa (AR), wykazująca dobre właściwości przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe [L. 12].

Celem pracy było zbadanie efektywności działania nowej generacji polimerowo-krzemionkowego dodatku smarnego w zakresie redukcji powierzchniowego zużycia zmęczeniowego wybranej grupy ekologicznych smarów plastycznych, opracowanych w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Opracowano grupę modelowych kompozycji smarowych z zastosowaniem nietoksycznych składników, stanowiących fazę dyspergującą i zdyspergowaną. Substancje stanowiące fazę dyspergującą podzielono na trzy grupy: mineralną, syntetyczną oraz roślinną. Z każdej grupy wytypowano olej o najlepszych właściwościach tribologicznych oraz fizykochemicznych, tj. parafinowy, rzepakowy oraz polialfaolefinowy (PAO-8) [L. 10–11,13–15]. Jako fazę zagęszczającą zastosowano stearynian litu. Wykorzystując wybrane składniki, wytworzono smary mieszczące się w drugiej klasie konsystencji, tj. w zakresie penetracji (265–295). Konsystencję wytworzonych smarów plastycznych zbadano zgodnie z wymaganiami normy PN-ISO 2137:2011 za pomocą penetrometru laserowego wytworzonego w ITeE – PIB. Przyjęto następujące oznaczenia wytworzonych kompozycji: olej mineralny (parafinowy) z zagęszczaczem litowym (smar A) [L. 16], olej roślinny (rzepakowy) z zagęszczaczem litowym (smar B) oraz olej syntetyczny (polialfaolefina) z zagęszczaczem litowym (smar C). Tak wytworzone smary plastyczne zmodyfikowano następnie nowym dodatkiem, będącym mieszaniną metylowanej krzemionki oraz politetrafluoroetyleny. Opracowany dodatek wytworzono poprzez wprowadzenie krzemionki amorficznej o wymiarach 7 nm do politetrafluoroetyleny w stosunku masowym 2:3. Przewiduje się, że właściwości jednego ze składników wyżej wymienionego dodatku, a mianowicie PTFE (czyli teflonu), pozwolą na poprawę odporności węzła tarcia na zużycie zmęczeniowe [L. 12].

We wszystkich kompozycjach smarowych wprowadzono 10% [m/m] dodatku polimerowo-krzemionkowego w stosunku do smarów wyjściowych. Taka ilość dodatku najskuteczniej modyfikowała inne, uprzednio zbadane właściwości użytkowe takie, jak: obciążenie zespawania, obciążenie zacierające, graniczne obciążenie zatarcia, graniczne obciążenie zużycia, graniczny nacisk zatarcia czy temperatura kroplenia [L. 12]. Zmodyfikowane w ten sposób smary wyjściowe o symbolach A, B, C oznaczono odpowiednio jako A1, B1, C1. Otrzymane smary poddano badaniom tribologicznym, a uzyskane wyniki porównywano następnie z wynikami produktów wyjściowych. Badania przeprowadzono według znor-

malizowanej procedury, opisanej w normie IP 300/82, z zastosowaniem aparatu czterokulowego T-03.

Wyznaczenie powierzchniowej trwałości zmęczeniowej tocznego wężła tarcia polegało na przeprowadzeniu 24 biegów pod stałym obciążeniem 5886 N i przy stałej prędkości obrotowej 1450 obr./min., zakończonych pittingiem na górnej kulce. W czasie badania prowadzono w sposób ciągły pomiar drgań wężła tarcia, a test był automatycznie przerywany po przekroczeniu przez węzeł tarcia dopuszczalnego poziomu drgań, wywołanego wykruszeniem materiału. Wynikiem pojedynczego biegu badawczego jest czas testu wyrażony w minutach. Wyniki otrzymane w poszczególnych biegach uszeregowano od najkrótszego do najdłuższego. Każdemu wynikowi przyporządkowana jest wartość będąca procentowym prawdopodobieństwem wystąpienia uszkodzenia kulek. W układzie współrzędnych Weibulla wykreślana jest zależność prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia od czasu trwania biegu. Z wykreślonej linii wyznaczono wartość L_{10} i L_{50} , które określają trwałość wężła tarcia przy 10% i 50% prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia wężła tarcia [L. 17–19].

Na podstawie uzyskanych wartości czasu do wystąpienia pittingu wyliczono prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia wyrażone wzorem:

$$\text{prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia} = \frac{i}{(n+1)} \cdot 100 [\%]$$

gdzie: i – numer biegu,

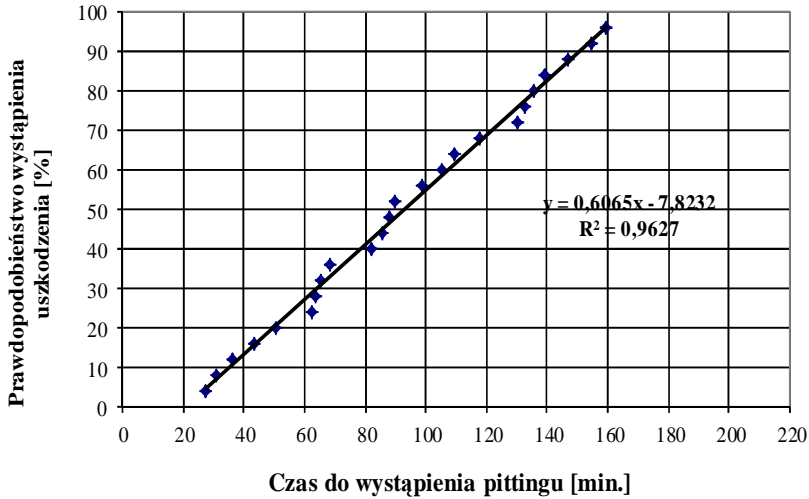
n – liczba biegów ważnych ($n = 24$).

WYNIKI BADAŃ TRWAŁOŚCIOWYCH SMARÓW PLASTYCZNYCH

Zestawienie wyników badań wpływu zastosowanego dodatku polimerowo-krzemionkowego na zmiany powierzchniowego zużycia zmęczeniowego dla wybranych kompozycji smarowych przedstawiono na **Rys. 1–6**.

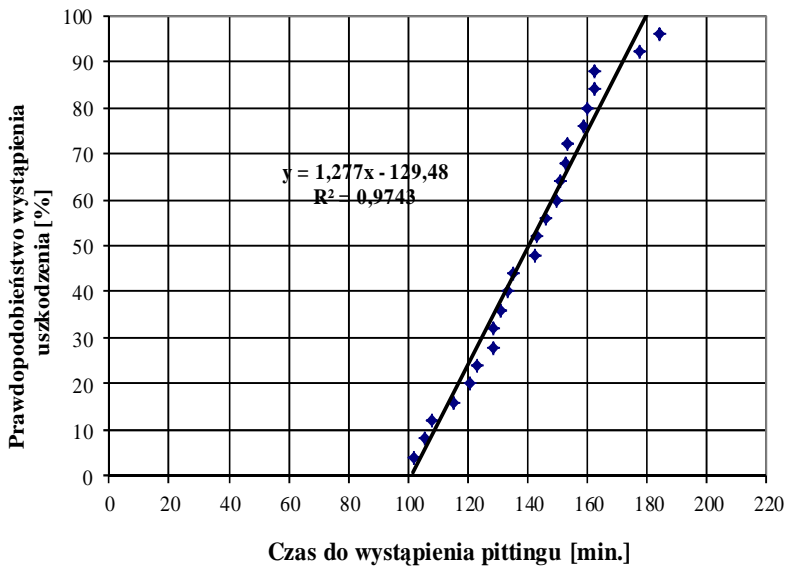
Zaprezentowane wykresy przedstawiają rozkłady Weibulla uzyskane dla podstawowych kompozycji smarowych oraz dla kompozycji zmodyfikowanych dodatkiem polimerowo-krzemionkowym. Podano również równania prostych oraz współczynniki korelacji R^2 .

Na **Rys. 1 i 2** przedstawiono wyniki badań trwałościowych wężła tarcia smarowanego podstawowym smarem mineralnym oraz smarem na bazie mineralnej, zmodyfikowanym dodatkiem polimerowo-krzemionkowym.



Rys. 1. Zależność prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia na kulce górnej dla wężła tarcia smarowanego smarem mineralnym (A) od czasu wystąpienia pitingu

Fig. 1. Dependence probability of failure of the upper ball for tribosystem lubricated non-modified mineral grease (A) from time of pitting

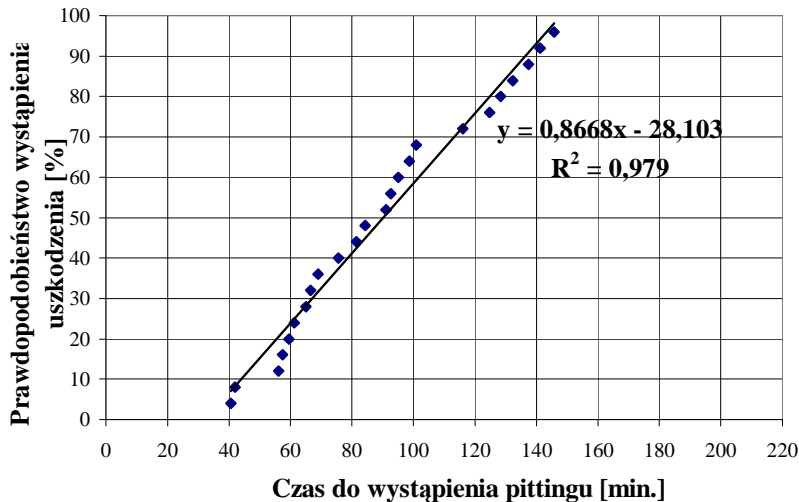


Rys. 2. Zależność prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia na kulce górnej dla wężła tarcia smarowanego zmodyfikowanym smarem mineralnym (A1) od czasu wystąpienia pitingu

Fig. 2. Dependence probability of failure of the upper ball for tribosystem lubricated modified mineral grease (A1) from time of pitting

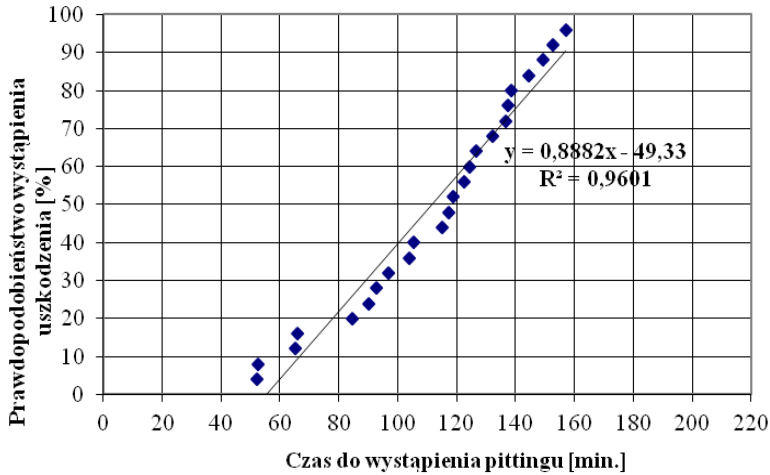
Analizując oba wykresy, stwierdzono, że powierzchniowa trwałość zmęczenia wężła tarcia smarowanego zmodyfikowanym smarem mineralnym, ulega znacznej poprawie w stosunku do kompozycji pozbawionej dodatku modyfikującego. Czas przy prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia, wynoszącym 10%, wzrósł z 35,39 min. dla smaru pozbawionego dodatku modyfikującego do 109,22 min. dla smaru zmodyfikowanego dodatkiem polimerowo-krzemionkowym. Zaobserwowano ponad 3-krotny wzrost trwałości wężła tarcia po zastosowaniu modyfikatora, natomiast przy 50% prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia, czas, po którym doszło do pittingu wzrósł z 95,34 min. dla smaru pozbawionego dodatku do 140,55 min. dla smaru zmodyfikowanego dodatkiem modyfikującym. W tym wypadku trwałość wężła tarcia wzrosła o 47%.

Na **Rys. 3 i 4** przedstawiono wyniki badań trwałościowych wężła tarcia smarowanego podstawowym smarem roślinnym oraz kompozycją smarową na bazie oleju roślinnego, zmodyfikowanego dodatkiem polimerowo-krzemionkowym.



Rys. 3. Zależność prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia na kulce górnej dla wężła tarcia smarowanego smarem roślinnym (B) od czasu wystąpienia pittingu

Fig. 3. Dependence probability of failure of the upper ball for tribosystem lubricated non-modified vegetable grease (B) from time of pitting



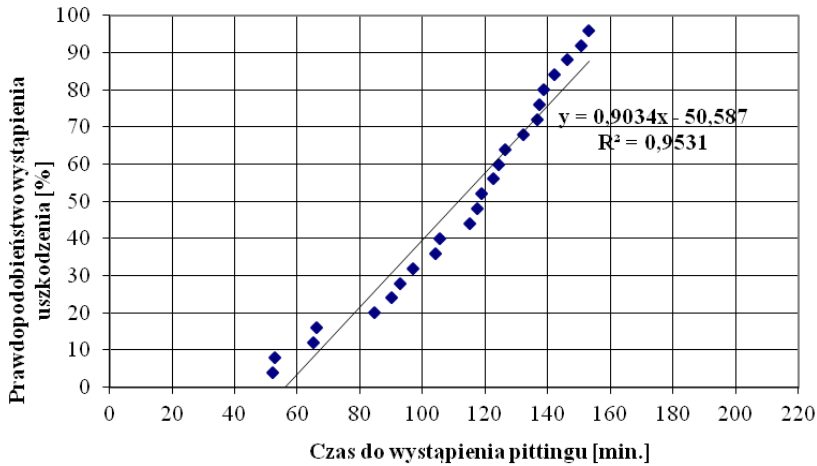
Rys. 4. Zależność prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia na kulce górnej dla węzła tarcia smarowanego zmodyfikowanym smarem roślinnym (B1) od czasu wystąpienia pittingu

Fig. 4. Dependence probability of failure of the upper ball for tribosystem lubricated modified vegetable grease (B1) from time of pitting

Analiza wykresów wskazuje, że powierzchniowa trwałość zmęczeniowa węzła tarcia smarowanego zmodyfikowanym smarem roślinnym uległa poprawie w stosunku do smaru pozbawionego dodatku modyfikującego. Czas przy prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia wynoszącym 10% wzrósł z 43,96 min. dla smaru pozbawionego dodatku modyfikującego do 66,80 min. dla smaru zmodyfikowanego dodatkiem polimerowo-krzemionkowym. Zaobserwowano wzrost trwałości węzła tarcia o 52% po zastosowaniu modyfikatora, natomiast przy 50% prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia, czas, po którym doszło pittingu, wzrósł z 90,10 min. dla smaru pozbawionego dodatku do 111,83 min. dla smaru zmodyfikowanego dodatkiem modyfikującym. W tym wypadku trwałość węzła tarcia wzrosła o 24%.

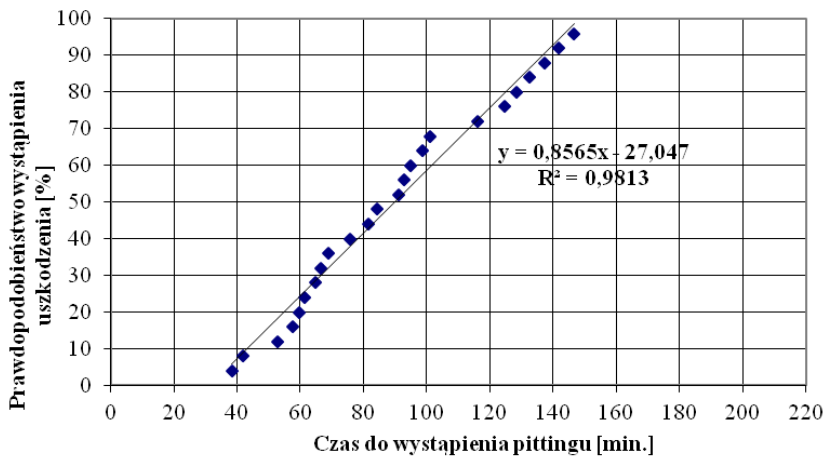
Natomiast na **Rys. 5 i 6** przedstawiono wyniki badań trwałościowych węzła tarcia smarowanego podstawowym smarem syntetycznym oraz kompozycją smarową na bazie oleju syntetycznego, zmodyfikowanego dodatkiem polimerowo-krzemionkowym.

W tym przypadku powierzchniowa trwałość zmęczeniowa węzła tarcia smarowanego zmodyfikowanym smarem syntetycznym ulegała niekorzystnym zmianom w stosunku do smaru pozbawionego dodatku modyfikującego. Czas przy prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia wynoszącym 10% spadł z 67,06 min. dla smaru pozbawionego dodatku modyfikującego do 43,25 min.



Rys. 5. Zależność prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia na kulce górnej dla wężła tarcia smarowanego smarem syntetycznym (C) od czasu wystąpienia pitingu

Fig. 5. Dependence probability of failure of the upper ball for tribosystem lubricated non-modified synthetic grease (C) from time of pitting



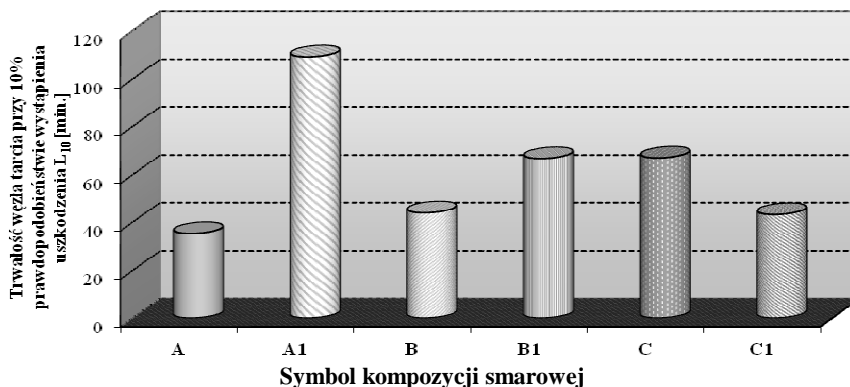
Rys. 6. Zależność prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia na kulce górnej dla wężła tarcia smarowanego zmodyfikowanym smarem syntetycznym (C1) od czasu wystąpienia pitingu

Fig. 6. Dependence probability of failure of the upper ball for tribosystem lubricated modified synthetic grease (C1) from time of pitting

dla smaru zmodyfikowanego dodatkiem polimerowo-krzemionkowym. Zaobserwowano pogorszenie trwałości wężła tarcia o 55% po zastosowaniu modyfikatora, natomiast przy 50% prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia, czas, po którym doszło do pitingu, obniżył się z 111,34 min. dla smaru pozbawio-

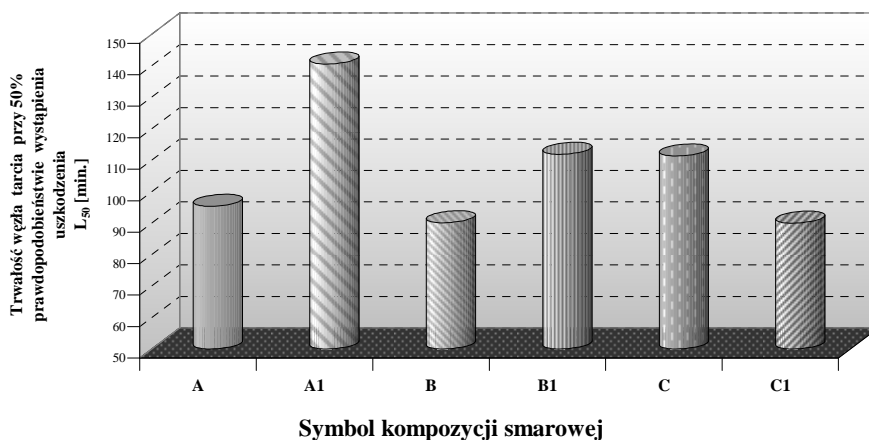
nego dodatku do 89,96 min. dla smaru zmodyfikowanego dodatkiem modyfikującym. W tym wypadku trwałość węzła tarcia spadła o 24%.

Na podstawie uzyskanych zależności wyznaczono czas, po upływie którego 10% i 50% badanych węzłów tarcia smarowanych kompozycjami smarowymi, biorącymi udział w eksperymencie, ulegnie uszkodzeniu – L_{10} i L_{50} . Uzyskane wyniki zamieszczono na **Rys. 7 i 8**.



Rys.7. Porównanie trwałości węzła tarcia przy 10% prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia łożyska dla badanych smarów plastycznych

Fig. 7. The comparison of fatigue live bearing – L_{10} – probability of failure of bearing for researches lubricating greases



Rys. 8. Porównanie trwałości węzła tarcia przy 50% prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia łożyska dla badanych smarów plastycznych

Fig. 8. The comparison of fatigue live bearing – L_{50} – probability of bearing for researches lubricating greases

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że dodatek modyfikujący, wytworzony na bazie polimerowo-krzemionkowej, wpływa korzystnie na zmiany trwałości zmęczeniowej podstawowych kompozycji smarowych wytworzonych na bazie oleju mineralnego i roślinnego. Nie zauważono tak korzystnych zmian powierzchniowej trwałości zmęczeniowej dla podstawowej kompozycji smarowej wytworzonej na bazie oleju syntetycznego. Zmiana trwałości zmęczeniowej badanych smarów plastycznych zależy od rodzaju oleju bazowego. Trwałości zmęczeniowe L_{10} i L_{50} węzła tarcia wskazują, że kompozycja smarowa wytworzona na bazie oleju roślinnego wykazuje słabsze oddziaływanie z wprowadzonym dodatkiem na powierzchniową trwałość zmęczeniową niż kompozycja wytworzona z wykorzystaniem oleju mineralnego. Natomiast dla kompozycji smarowej wytworzonej na bazie oleju syntetycznego zaobserwowano działanie antagonistyczne między zastosowanym modyfikatorem a komponentami wytworzonego smaru plastycznego, przejawiające się obniżeniem wartości wskaźników L_{10} i L_{50} , charakteryzujących poziom odporności smaru na powierzchniowe zużycie zmęczeniowe. Zaobserwowano, że zmiana trwałości zmęczeniowej nie jest we wszystkich przypadkach równomierna. Wielkość zmian powierzchniowej trwałości zmęczeniowej badanych smarów plastycznych zależy od budowy chemicznej zastosowanej fazy dyspergującej oraz oddziaływania między dodatkiem modyfikującym a składnikami kompozycji smarowej.

Rodzaj zastosowanego oleju bazowego w kompozycjach smarowych zmodyfikowanych dodatkiem mającym w składzie PTFE oraz krzemionkę modyfikowaną, a szczególnie jego lepkość, ma duży wpływ na wartość powierzchniowego zużycia zmęczeniowego badanych smarów plastycznych. Im wyższa lepkość fazy dyspergującej, tym mniejsza skłonność do zużywania zmęczeniowego. Można to tłumaczyć zwiększeniem grubości filmu olejowego, co pozwala zmniejszyć częstotliwość styku nierówności powierzchni. Ze względu na niską odporność na zużycie PTFE nie stosuje się w postaci monolitycznej, dlatego postanowiono połączyć politetrafluoroetylen z krzemionką amorficzną. Rozbudowana powierzchnia cząstek krzemionki amorficznej zapewnia wysoką absorbowalność faz olejowych, co sprzyja efektywności zagęszczania oraz skutecznemu modyfikowaniu właściwości tribologicznych.

Jako składnik dodatku zastosowano PTFE elektrycznie obojętny, który nie ma zdolności tworzenia na współpracujących powierzchniach metalowych warstewek o dużej trwałości i słabo adsorbuje się na powierzchniach metalowych. W węzłach tarcia spełniają one rolę łożysk kulkowych. Tarcie zachodzi w skjarzeniu metal-teflon-metal. Dodatki zawierające w swym składzie PTFE zabezpieczają smarowanie warstewką teflonu mikroobszarów współpracujących powierzchni pozbawionych warstewek filmu smarującego.

Duża skuteczność działania zastosowanego dodatku wynika z niskiej temperatury rozkładu politetrafluoroetyleny, a im łatwiejszy rozkład, tym większa

poprawa trwałości zmęczeniowej. Dodanie PTFE oraz krzemionki do badanych kompozycji smarowych powoduje znaczne uplastycznienie powierzchni, co wiąże się z dużą redukcją naprężeń, wynikającą z oddziaływań nierówności powierzchni i powoduje wzrost trwałości zmęczeniowej (za wyjątkiem kompozycji wytworzonej na oleju syntetycznym). Zastosowanie tego dodatku w większości przypadków zapewnia utworzenie warstw granicznych, zdolnych do regeneracji i wysoki stopień ochrony przed zużyciem.

Zmniejszenie trwałości zmęczeniowej dla kompozycji wytworzonych na oleju polialfaolefinowym, który zazwyczaj tworzy warstwy smarowe o bardzo dużej trwałości, może być spowodowane produktami reakcji tribochemicznych między kompozycją smarową, zastosowanym dodatkiem oraz powierzchnią wężła tarcia.

Dokładniejsze wyjaśnienie mechanizmu działania dodatku wymaga badań stanu warstwy wierzchniej oraz zmian zachodzących po testach tribologicznych w głębszych warstwach badanych kompozycji smarowych na spektrometrze fotoelektronowym XPS. Należy także przeprowadzić badania nad smarami zagęszczanymi, np.: 12-hydroksystearynianem litu, stearynianem wapnia czy politetrafluoroetylenem.

WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań tribologicznych pozwalają stwierdzić, że:

- modyfikacja kompozycji smarowej wytworzonej na bazie oleju syntetycznego dodatkiem polimerowo-krzemionkowym prowadzi do obniżenia wartości wskaźników L_{10} i L_{50} , charakteryzujących poziom odporności smaru na powierzchniowe zużycie zmęczeniowe,
- modyfikacja kompozycji smarowych wytworzonych na bazie oleju mineralnego i roślinnego dodatkiem polimerowo-krzemionkowym skutkuje podwyższeniem wartości wskaźników L_{10} i L_{50} , charakteryzujących poziom odporności smaru na powierzchniowe zużycie zmęczeniowe,
- zmiana trwałości zmęczeniowej badanych smarów plastycznych zależy od budowy chemicznej fazy dyspergującej oraz oddziaływań między składnikami kompozycji smarowej a komponentami dodatku modyfikującego,
- produkty reakcji tribochemicznych między kompozycją smarową, zastosowanym dodatkiem oraz powierzchnią wężła tarcia wpływają w znaczący sposób na wartość powierzchniowej trwałości zmęczeniowej,
- rodzaj zastosowanego oleju bazowego w kompozycjach smarowych zmodyfikowanych dodatkiem mającym w składzie PTFE oraz krzemionkę modyfikowaną, a szczególnie jego lepkość, ma duży wpływ na wartość powierzchniowego zużycia zmęczeniowego badanych smarów plastycznych,

- duża skuteczność działania zastosowanego dodatku wynika z niskiej temperatury rozkładu politetrafluoroetyleny, a im łatwiejszy rozkład, tym większa poprawa trwałości zmęczeniowej.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

LITERATURA

1. Czarny R., Smary plastyczne, WNT, Warszawa 2004.
2. Torrance A.A., Morgan J.E., Wang. T.Y., An additives influence on the pitting and wear of ball bearing steel, *Wear* 192/1996, pp. 117–123.
3. Korff J., Fessenbecker A., Additives for biodegradable lubricants, *NLGI Spokesman* 7/1993, pp. 19–24.
4. Hebda M., Wachal A., Trybologia, WNT, Warszawa 1980.
5. Lawrowski Z., Tribologia. Tarcie, zużywanie i smarowanie, PWN, Warszawa 1993.
6. Pytko S., Szczerek M., Pitting – forma niszczenia elementów tocznych, *Tribologia*, 4/5 1993, s. 317–333.
7. Szczerek M., Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych, wyd. ITeE, Radom 1996.
8. Krzemiński-Freda H., Łożyska toczne, PWN, Warszawa 1989.
9. Waligóra W., Warstwa wierzchnia elementów ze stali łożyskowej, a jej odporność na zmęczenie powierzchniowe, *Tribologia*, 2/1993, s. 199–219.
10. Arnsek A., Visintin J., Pitting resistance of rapeseed based oils, *Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineering*, 3/2001, pp. 926–938.
11. Piekoszewski W., Szczerek M., Wpływ olejów smarowych pochodzenia roślinnego na powierzchniową trwałość zmęczeniową, *Tribologia*, 1/2007, s. 127–135.
12. Kozdrach R., Drabik J., Pawelec E., Molenda J., Wpływ dodatku modyfikującego AR na właściwości tribologiczne ekologicznych smarów plastycznych, *Tribologia*, 1/2010, s. 27–39.
13. Piekoszewski W., Tuszyński W., Powierzchniowa trwałość zmęczeniowa elementów tocznych smarowanych olejami bazowymi mineralnymi i syntetycznymi, *Tribologia*, 3/2004, s. 351–361.
14. Buczyński P., Syntetyczne środki smarowe dla przemysłu, *Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji*, 5/1993, s. 5–7.
15. Wang Y., Fernandez J.E., Cuervo D.G., Rolling contact fatigue lives of steel AISI 52100 balls with eight mineral and synthetic lubricants, *Wear*, 196/1996, pp. 110–119.
16. Pawelec E., Drabik J., Janecki J., Trwałość zmęczeniowa łożysk smarowanych nietoksycznym smarem plastycznym, *Tribologia*, 2/2002, s. 555–561.
17. Rico J.E., Battez A., Cuervo D.G., Rolling contact fatigue in lubricated contacts, *Tribology International*, 36/2003, pp. 35–40.

18. Piekoszewski W., Szczerek M., Tuszyński W., Modyfikacja czterokulowego testu tribologicznego, *Tribologia* 5, 6/1997, s. 818–825.
19. Michalczewski R., Piekoszewski W., Wulczyński J., Metoda badania powierzchniowej trwałości zmęczeniowej elementów z powłokami przeciwzużyciowymi, *Tribologia*, 4/2003, s. 91–99.

Summary

In this article, the investigation results of the influence of developed additive AR (silica and polymer) on the change of rolling contact fatigue bearings lubricated with an ecological composition of grease are presented. Lubricating greases not containing the modified additive as well as modifying silica and polymer additives were investigated.

Rolling contact fatigue (pitting) for bearings were investigated for lubricated compositions not containing the modified additive and for compositions of grease modified with silica and polymer additives. Then to estimate the influence of the additive in tested lubricating greases on the change of rolling contact fatigue of bearings, tribological tests were carried out using T-03 four-ball machine under high load conditions.

The results indicate that modified additive of silica and polymer advantageously influences the change of rolling contact fatigue junction of the friction lubrication of lubricating compositions on base of mineral and vegetable oil and disadvantageously on change of rolling contact fatigue junction of friction for composition on base of synthetic oil.

