

# PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź, 12 – 14 maja 1999 r.

Jan Burcan<sup>\*)</sup>, Lucjan Józefowicz<sup>\*)</sup>, Ewa Burcan<sup>\*\*)</sup>, Radosław Bednarek<sup>\*)</sup>  
<sup>\*)</sup> Politechnika Łódzka, <sup>\*\*)</sup> Szpital Wojewódzki w Zgierzu

## WPLYW CIECZY MAGNETYCZNIE AKTYWNEJ NA WARUNKI PRACY WĘZŁA Z TARCIEM WIERTNYM

**Słowa kluczowe:** ciecz ferromagnetyczna, roztwór ferrocenu w cieczy bazowej, uporządkowanie struktury smaru, koloidalna zawiesina, sterowanie polem magnetycznym

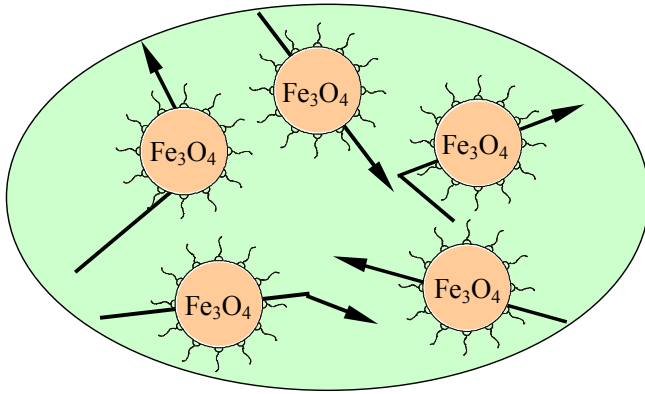
**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu smaru magnetycznie aktywnego na opory ruchu małogabarytowych węzłów łożyskowych pracujących w warunkach skąpego smarowania. Badano łożysko wzdlużne typu: powierzchnia płaska - czasza kulista, z tarciem wiertnym, pracujące w zakresie małych prędkości czopa. Celem badań małogabarytowych łożyskowań jest przede wszystkim ustalenie wpływu obciążenia, prędkości wirowania, rodzaju materiału, wymiarów geometrycznych stykających się elementów na zmianę wartości oporów ruchu węzła łożyskowego. Porównanie wyników badań łożysk smarowanych magnetycznie aktywnymi smarami, z wynikami uzyskanymi dla łożysk smarowanych czystym olejem, wykazuje znaczące zmniejszenie współczynnika tarcia na korzyść magnetycznie aktywnych cieczy.

### 1. WŁASNOŚCI CIECZY MAGNETYCZNIE AKTYWNYCH

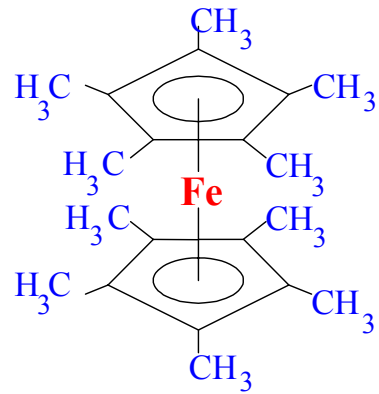
Ciecze ferromagnetyczne stanowią bardzo interesującą grupę, ponieważ mając właściwości cieczy oddziałują jak ferromagnetyczne materiały. Naturalne ciecze z właściwościami ferromagnetycznymi nie występują w przyrodzie. Wytwarzane przez człowieka stanowią trwałą koloidalną zawiesinę submikronowych magnetycznych cząsteczek, albo roztwór ferrocenu w cieczy bazowej.

Typowa ciecz ferromagnetyczna składa się z trzech podstawowych składników: cieczy bazowej lub inaczey nośnej, rozdrobnionych koloidalnie cząsteczek ferromagnetycznych (np.  $Fe_3O_4$ ) i stabilizatora utrzymującego koloidalną zawiesinę, w bardzo długich okresach czasu. Zdolność do rozwijania siły, mierzona w Gausach zmienia się, dla typowych cieczy, w granicach od stu do kilkuset Gausów. Lepkość, zależna głównie od cieczy bazowej, zmienia się od 100 do 6000 cP (zmiana w temp. 27<sup>0</sup>C).

Pod wpływem działania zewnętrznego pola magnetycznego następuje uporządkowanie struktury smaru. Własności cieczy ferromagnetycznej dobiera się w zależności od stawianych tej cieczy wymagań, wynikających z ich zastosowania. Ferromagnetyczne cząsteczki w koloidalnym rozproszeniu działają jak ferromagnetyczny materiał, taki jak kobalt, żelazo, nikiel lub materiał stopowy. Najczęściej używany jest magnetyt  $Fe_3O_4$  - (rys.1). Ciecze magnetycznie aktywne na bazie ferrocenu - rys 2 wymagają opracowywania ich składów, a po wytworzeniu, sprawdzenia ich przydatności.



Rys. 1. Schemat cieczy magnetycznie aktywnej [5]



Rys. 2. Przykładowy schemat ferrocenu [1]

Typowa ciecz ferromagnetyczna zawiera ponad 1000 (przeciętnie około 1020) cząsteczek magnetycznie aktywnych w 1 litrze zawiesiny. Małe wymiary cząsteczek są skutecznym gwarantem uniemożliwiającym ich oddzielenie i skupianie się pod wpływem sił pola grawitacyjnego. Ograniczeniem wielkości cząsteczek jest namagnesowanie cząsteczki materiału. Cząsteczki magnetytu są na ogół trzykrotnie większe niż cząstki czystego żelaza, ponieważ namagnesowanie czystego żelaza jest silniejsze niż namagnesowanie magnetytu. Wiele własności cieczy magnetycznie aktywnej jest podobnych do własności cieczy bazowej. Ponieważ koncentracja cząsteczek magnetycznych jest rzędu 3 ÷ 10 %, nie ma ona wpływu na lepkość, punkt parowania lub chemiczne właściwości cieczy [5].

Własności elektryczne cieczy magnetycznych są również podobne do elektrycznych własności cieczy bazowej. Oznacza to, że ciecz magnetycznie aktywna jest nieprzewodząca, z wyjątkiem gdy jest nią metal.

Własności ferrocenów użytych podczas badań zestawia tabela 1.

Tablica 1. Zestawienie najważniejszych własności magnetycznie aktywnych cieczy na bazie ferrocenu

Związek	wzór	Masa molowa M.	stężenie mol/litr	masa próbki/na litr oleju gram na 1 litr oleju
Ferrocen	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> Fe	186	0,025	4,65
Monoacetyloferrocen	C <sub>12</sub> H <sub>12</sub> FeO	228	0,025	5,7
di-acetyloferrocen	C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> FeO <sub>2</sub>	270	0,025	6,75
1,1'di-metylo2-thia[3]ferrocenofan	C <sub>14</sub> H <sub>17</sub> FeS	273	0,025	6,825

Hydrodynamiczne zachowanie się cieczy magnetycznie aktywnej opisuje z dobrym przybliżeniem zmodyfikowane równanie Bernoulliego, w którym dodany jest człon uwzględniający magnetyczne oddziaływanie. Równanie to mówi, że suma energii wynikającej z ciśnienia, potencjalnej energii i energii pola magnetycznego jest stała wzdłuż linii prądu.:

$$p + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h - \mu_0 \int_0^H M dH = \text{const}$$

Z powyższego równania wynika fakt, że w przypadku baraku oddziaływania pola magnetycznego nie występuje składowa sił magnetycznych. Pojawia się ona wraz z pojawieniem się pola magnetycznego.

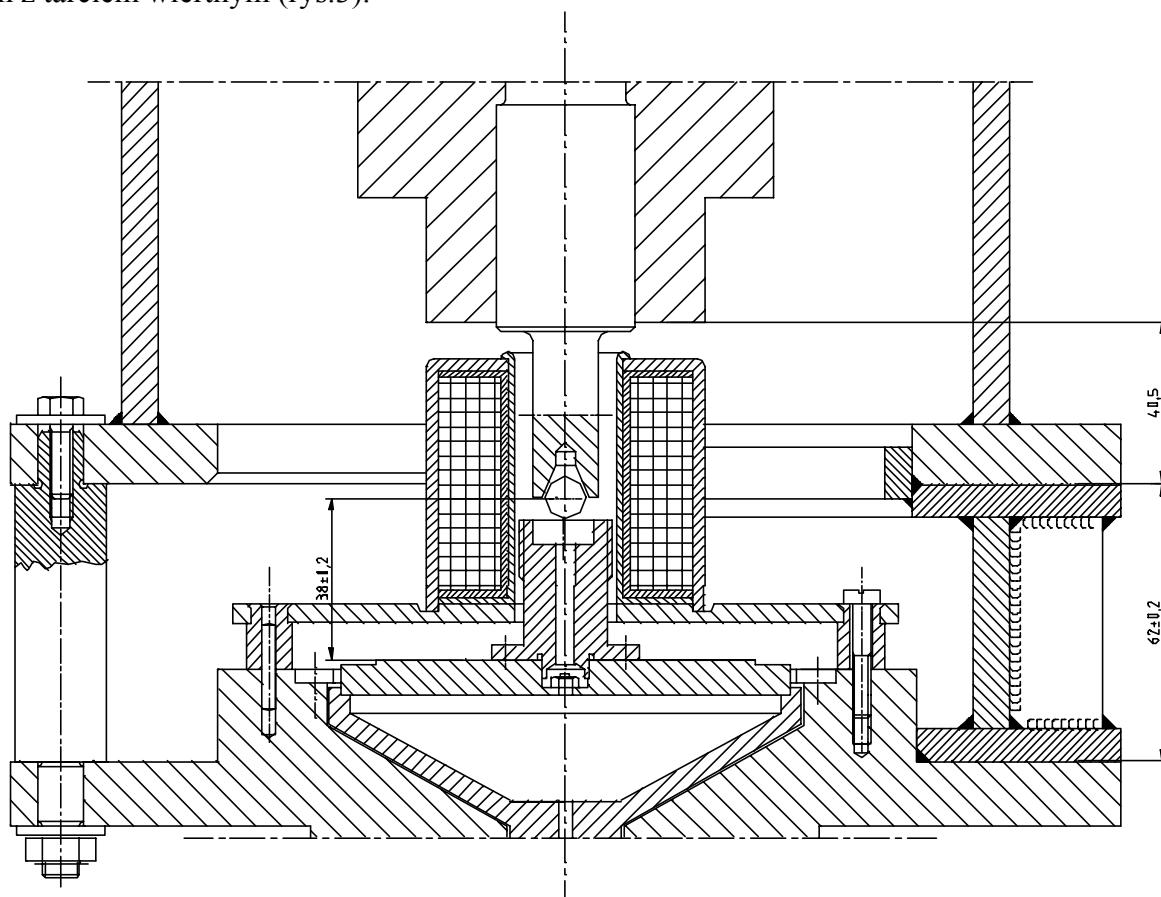
Sterowanie własności cieczy polem magnetycznym może dać szansę uzyskania smarowania podobnego do smarowania występującego w naturalnych węzłach organizmów żywych - stawach. W węzłach tych maż stawowa, np. zwiększa swoją lepkość wraz ze wzrostem obciążenia. Wydaje

się całkiem realny sztuczny węzeł tarcia z takim sposobem smarowania cieczą magnetyczną. Zmianę lepkości zamierzoną i wprowadzoną za pomocą układu sterującego polem magnetycznym można także wykorzystywać w sprzęgłach homokinetycznych.

## 2. BADANIA - WYNIKI, WNIOSKI

Zjawiska występujące podczas tarcia w polu magnetycznym mają bardzo złożony charakter. Wynika to z faktu nakładania się oddziaływania pola magnetycznego na i tak już bardzo złożony zespół zjawisk związanych z tarciem. Ciecze na bazie ferrytów zachowują się jak typowe ciecze nienewtonowskie, zaś ciecze ferrocenowe, w zależności od stężenia i stopnia namagnesowania mogą łatwo przechodzić w stan cieczy nienewtonowskiej. Tak więc, również nienewtonowskie właściwości cieczy smarowej zależne nieliniowo od wielu czynników, m. in. od ciśnienia, temperatury, zmieniają się wraz ze zmianą parametrów pola magnetycznego.

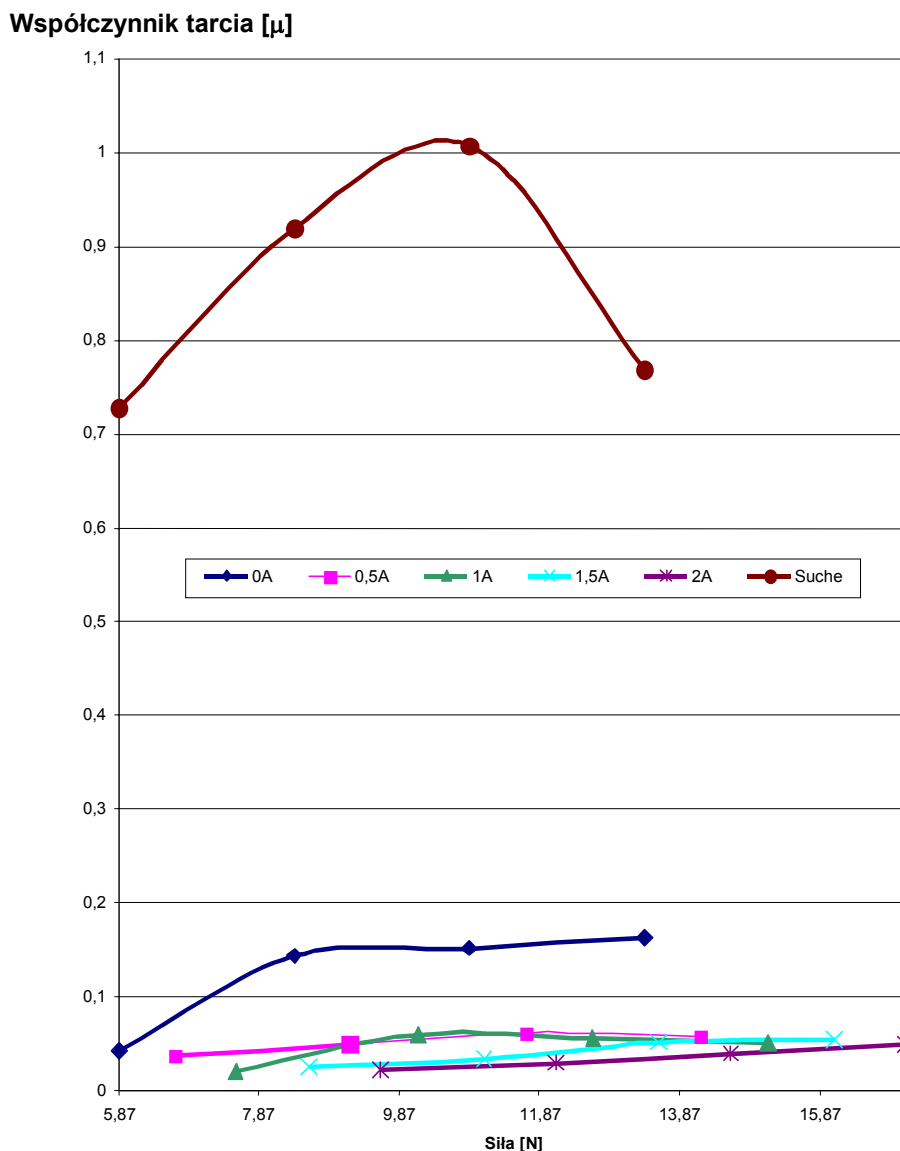
Generatorem pola w układzie badawczym była cewka solenoidalna. Została ona zamontowana na istniejących stanowiskach do pomiaru momentu tarcia w skoncentrowanym styku punktowym z tarciem wiertnym (rys.3).



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego

Przykładowe wyniki badań dla ferrocenowej cieczy magnetycznie aktywnej przedstawia rysunek 4. Zestawiono na nim wartości współczynnika tarcia węzła pracującego na sucho z wynikami węzła smarowanego smarem magnetycznie aktywnym dla różnych wartości prądu magnesującego strefę styku. Badania węzłów łożyskowych smarowanych magnetycznie aktywnymi cieczami, do tej pory mało udokumentowane w dostępnej literaturze, rozszerzają zespół zjawisk o nowe

warunki pracy w polu magnetycznym, co wymaga innego podejścia i opracowania nowych modeli strefy styku.



Rys. 4. Zależność współczynnika tarcia od siły obciążającej styk dla próbki nr. 1

Łatwo zauważyć, że pomiędzy stykiem pracującym na sucho a stykiem smarowanym występuje ogromna różnica ilościowa w odniesieniu do wartości współczynnika tarcia. Także łatwo zauważyć wpływ oddziaływania pola magnetycznego, sprowadzający się do zmniejszenia co najmniej o połowę wartości współczynnika tarcia w stosunku do jego wartości bez oddziaływania pola magnetycznego.

W węzłach, w których występuje punktowy styk z tarciem wiertnym, bez odpowiedniego ukształtowania roboczych powierzchni, jest niemożliwe uzyskanie warunków smarowania płynnego, niezależnie od wartości obciążenia, prędkości wirowania oraz od ilości i sposobu dostarczania do styku czynnika smarującego [2]. Może wystąpić tarcie graniczne ze smarowaniem mieszaniną tlenków, smaru, produktów zużycia i zanieczyszczeń. Wprowadzenie do strefy styku smaru magne-

tycznie aktywnego, na który czynnie oddziałuje pole magnetyczne, zmienia tę sytuację. Stwierdzono prawie we wszystkich badanych przypadkach, że użycie smaru magnetycznie aktywnego ponad dwukrotnie zmniejsza wartość współczynnika tarcia w odniesieniu do styku smarowanego bez oddziaływania pola magnetycznego i to niezależnie od tego czy płytką była wykonana z materiału ferromagnetycznego czy nie (materiał kulki nie ulegał zmianie).

Zmiana prędkości wirowania sfery ma wpływ na wartość oporów ruchu jedynie w przypadku pracy węzła niesmarowanego. W zakresie wartości obciążeń zadawanych podczas badań moment tarcia w smarowanym węźle praktycznie nie zależy od prędkości wirowania. Zapewne obecność smaru ułatwia poślizgi i usuwanie produktów zużycia na zewnątrz strefy styku, przez co sprzyja stabilizacji warunków tarcia.

W obecności smaru magnetycznie aktywnego także wartość współczynnika tarcia spoczynkowego jest mniejsza od wartości współczynnika tarcia kinetycznego. Jak wiadomo w styku sprężystym, w którym występuje tarcie technicznie suche, dla przypadku czystego ruchu wiernego, moment tarcia spoczynkowego jest równy momentowi tarcia kinetycznego, ponieważ podczas obrotu obciążonego czopa nie występują kolejne odkształcenia materiału [5]. Najprawdopodobniej namagnesowane cząstki, smaru przylegając przed rozpoczęciem ruchu, do współpracujących powierzchni, skutecznie je rozdzielają. Niszczenie i odbudowywanie warstwy smaru podczas pracy powoduje wzrost oporów ruchu.

W Zakładzie GW i RT Instytutu Konstrukcji Maszyn Politechniki Łódzkiej prowadzone są także badania *in vitro*, dotyczące możliwości utrzymywania leków w polu magnetycznym w określonym miejscu ludzkiego ciała [3]. Wpływ pola magnetycznego na szybkość przepływu i utrzymywanie leków, związanych z cząstkami magnetycznie aktywnymi, w określonym miejscu przewodów imitujących naczynia układu krążenia badany jest na stanowisku do modelowych badań *in vitro*, schematycznie przedstawionym na rysunku 15. Badania prowadzone są we współpracy z Uniwersytetem w Sheffield w Wielkiej Brytanii i Instytutem Fizyki Ciała Stałego Słowackiej Akademii Nauk w Koszycach [4]. Z ośrodków tych uzyskiwane są częściowo używane podczas badań ferrytyczne ciecze magnetycznie aktywne. Ciecze na bazie ferrocenów wykonywane są w zespole badawczym prowadzącego badania ramach niniejszego projektu. W chwili obecnej brak jest publikacji z innych ośrodków krajowych i zagranicznych na temat zastosowań ferrocenów jako cieczy magnetycznie aktywnych.

## LITERATURA

1. J. Burcan (1992): The investigation of magnetic bearing systems, *Sixth International Conference on Magnetic Fluids, July 20-24, 1992, Paris*, Programme and Abstracts, pp. 526 - 527,
2. J. Burcan (1994): Some problems of spinning friction in point contact, *ESDA, London, England, July 4-7, 1994*, Proceedings, Volume 8 - Part C, pp. 661-666,
3. J. Burcan (1995a): Some problems connected with the use of magnetically active lubricants, *7-th International Conference on Magnetic Fluids*, Bhavnagar University, Physics Department, India, 1995,
4. J. Burcan (1996): Magnetically active lubricant -capabilities, prospects, XXI Jesienna Szkoła Tribologiczna, Łódź-Arturówek, 9-12 września 1996 r., publikowane *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, No 765, Mechanika, z. 85*, s. 23-30,
5. J. Burcan, E. Burcan (1997): Investigation at magnetically active liquid in medical and biotechnological applications, *XIV Szkoła Biomechaniki, BIOMECHANIKA '97, Bulletin of Institute of Sport in Warsaw, BIOLOGY OF SPORT* (in print).
6. C.N. Ramchand, R.V. Mehta, R.V. Upadhyay, S.D. Telang, P. Kopcansky, J. Burcan (1997): Biomedical and Biotechnological Applications of Magnetic Particles, SYMPOSIUM ON

RECENT TRENDS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY OF MAGNETIC FLUIDS, October 16-18. 1997, *Narmada College of Science and Commerce Zadeshwar, Bharuch 392 011, India, publikowane w Abstract of Papers, s. 6-8*

7. J. Burcan (1997): Recent Trends in Use of Magnetic Fluids, SYMPOSIUM ON RECENT TRENDS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY OF MAGNETIC FLUIDS, October 16-18. 1j997, *Narmada College of Science and Commerce Zadeshwar, Bharuch 392 011, India, publik w Abstract of Papers, s. 29-32*
8. J. Burcan (1998): Ciecze magnetycznie aktywne – nowe tendencje zastosowań w tribologii i tribotechnice, Zebranie Naukowe nt: Nowe tendencje w tribologii i tribotechnice, Częstochowa, 08 01 1998, publik. w mat.
9. J. Burcan (1997): Recent Trends in Use of Magnetic Fluids, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, Vol. 5, December 1998, pp. 390-395*

#### THE EFFECT OF MAGNETICALLY ACTIVE LUBRICANT ON THE OPERATION OF A SMALL-SIZE BEARING UNDER SPINNING FRICTION REGIME

##### ABSTRACT

The authors present the results of the research on the influence of a magnetically active lubricant on the motion resistance of small-size bearings underlubricated with a magnetically active lubricant. The investigated bearing was a thrust bearing of the plane-sphere type, operating with spinning friction, working within the range of low velocities. The purpose of the investigation was, first of all, the determining of the influence of load, velocity, kind of material and dimensions of contacting elements on the changes in friction force. The comparison of the results obtained for a magnetically active lubricant with oil without additives, shows a significant reduction in the friction coefficient in the first case.

Badania do niniejszego referatu przeprowadzono w ramach *Projektu Badawczego KBN nr 3 0016 91 01 pt.: Badania oddziaływania pola magnetycznego na charakterystyki eksploatacyjne układów łożysk*

*Recenzent: Zbigniew Lawrowski*