

Romuald MAKOWSKI¹

EFEKTY MODYFIKACJI ŚRODKÓW SMAROWYCH CZĄSTKAMI MIEDZI

Autor przedstawia niektóre wyniki badań nad wpływem dodatku cząstek miedzi na własności olejowych środków smarowych w modelowym węźle tribologicznym.

EFFECTS OF LUBRICANTS MODIFICATION WITH COPPER POWDERS

The paper presents some results of investigation on influence of copper particles addition on lubricating oils properties shown in model friction pair.

1. UZASADNIENIE PODJĘCIA BADAŃ

Straty energetyczne w węźle kinematycznym powodowane są między innymi poprzez zastosowany środek smarowy. Własności chemiczne środka smarowego mają ogromny wpływ na te straty, jednakże nie mniej ważne są własności związane z całością systemu tribologicznego. Ważnym zagadnieniem jest więc możliwość przewidywania skutków zastosowania odpowiedniego środka smarowego w zależności od warunków użytkowania w konkretnym rozwiązaniu konstrukcyjnym. Jednym z kierunków badawczych w tym zakresie jest określenie wpływu zastosowania dyspersji cząstek miękkich metali (proszków) do środka smarowego w celu jego modyfikacji.

Badania w tym zakresie prowadzi się zasadniczo w dwóch kierunkach, a mianowicie:

- badanie właściwości tribologicznych kompozycji smarowych z dodatkami metaloorganicznymi,
- nad zastosowaniem zdyspergowanych cząstek miękkich metali jako dodatków do środków smarowych.

Dodatki te w obu przypadkach, służą do wytworzenia warstewek niskotarciowych w strefie tarcia ślizgowego. Jedną z hipotez dotyczących mechanizmu działania kompleksów metaloorganicznych zakłada, że podczas tarcia, pod wpływem wymuszeń zewnętrznych może nastąpić emisja swobodnych elektronów znajdujących się w paśmie przewodnictwa metalu. Elektrony te wpływają na mechanizm reakcji zachodzący między dodatkiem, a powierzchnią metalu. Dokładniejsze rozważania na ten temat znajdują się w literaturze [1-3], gdzie została również sformułowana przez C. Kajdasa teoria anionowo-rodnikowa. W przypadku zastosowania zdyspergowanych cząstek miękkich metali oddziaływanie

¹ Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Radomska, ul. Chrobrego 45, tel. 48/361 7667, poczta: makrom1@wp.pl

z powierzchniami tarcia jest oparte głównie na zjawiskach adhezyjnych oraz dyfuzji [4,9,10,11].

Problemem tym zajmuje się szereg krajowych jednostek badawczych jak również i zagranicznych [5-8]. W Politechnice Radomskiej realizowano projekty badawcze dotyczące zastosowania zdyspergowanych cząstek i nanocząstek metali w środkach smarowych stosowanych w parach kinematycznych i w środkach chłodząco-smarujących w obróbce skrawaniem metali [9,10]. Warunki wytwarzania warstewek niskotarciowych są głównym celem badań prowadzonych przez autora artykułu. Opierając się na publikacjach, między innymi A. Wilczka i S. Hofmana [12-15], przyjęto wstępną tezę, którą można sformułować następująco: właściwości cieplne powłok niskotarciowych uczestniczących w procesie tarcia z udziałem środka smarowego mogą istotnie zmieniać cechy filmu smarowego, a tym samym wpływać na opory ruchu w układzie tribologicznym. Udowodnienie tej tezy wymaga przeprowadzenia badań w szerokim zakresie, dlatego też autor artykułu publikuje tylko częściowe wyniki badań własnych.

2. BADANIA WŁASNE

2.1 Badania tribologiczne

Stanowisko badawcze: badania tribologiczne prowadzono na maszynie tarcowej T05, której opis techniczny znajduje się w literaturze [10].

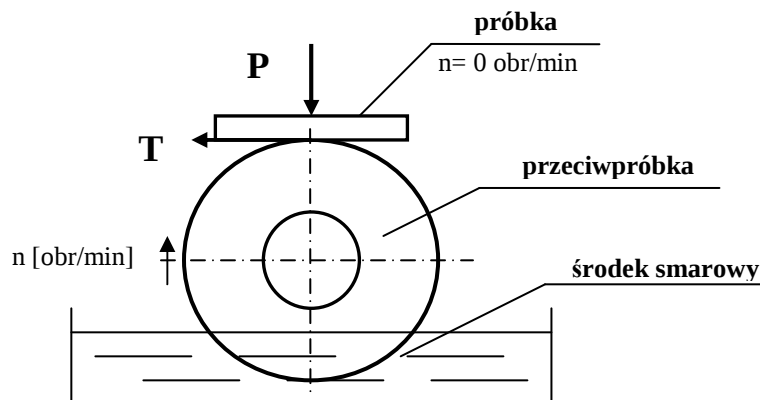
Materiały badawcze: materiał próbki i przeciwp próbki - stal 45 wg PN/H-84019, obrobiona cieplnie do ok. HRC 45-50. Powierzchnie robocze próbki i przeciwp próbki szlifowane do $R_a \sim 0,6 \mu\text{m}$.

Środki smarowe: oleje podstawowe (bazowe): SAE 10/95, SAE 30/95 i Hydrorafinat II.

SAE 10/95 – lepkość kinematyczna przy temperaturze $100^\circ\text{C} - \nu = 5,2 \div 5,9$,

SAE 30/90 – lepkość kinematyczna przy temperaturze $100^\circ\text{C} - \nu = 9,6 \div 12,9$,

Cząstki miedzi: produkcji f-my Aldricht o rozmiarach zewnętrznych ok. $3 \mu\text{m}$ oraz otrzymane metodą elektrochemiczną o rozmiarach ok. $2 \mu\text{m}$. Udział wagowy cząstek miedzi w olejach podstawowych $U_w = 0,25 \%$.

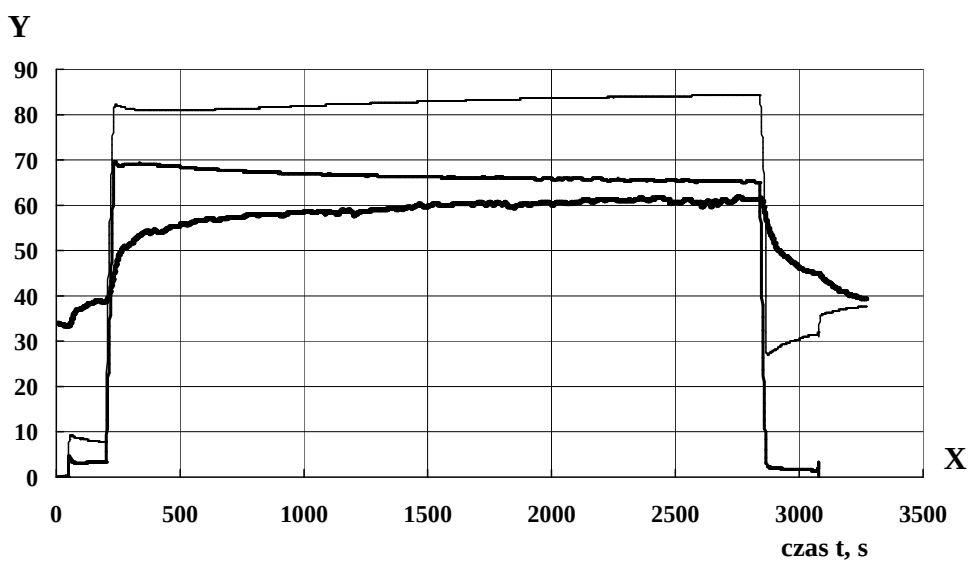
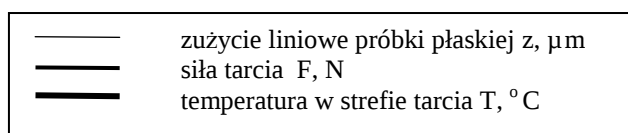


Rys.1. Schemat węzła tribologicznego maszyny tarcowej T05, gdzie: **P** - siła normalna obciążenia zewnętrznego węzła, **T** - siła tarcia.

Warunki badań: węzeł tribologiczny maszyny tarciowej przedstawiono na rysunku 1. Badania prowadzono przy prędkości obrotowej przeciwpróbki $n = 200$ obr/min, co odpowiada prędkości liniowej poślizgu $V = 0,4$ m/s. Obciążenie próbki przy wyznaczaniu charakterystyki czasowej wynosiło $P = 600$ N. Realizując badania tribologiczne wyznaczono zależności zmian siły tarcia „F”, zużycia próbki „z” i temperatury w strefie tarcia „T” od czasu trwania procesu tribologicznego przy stałym obciążeniu węzła siłą „P”.

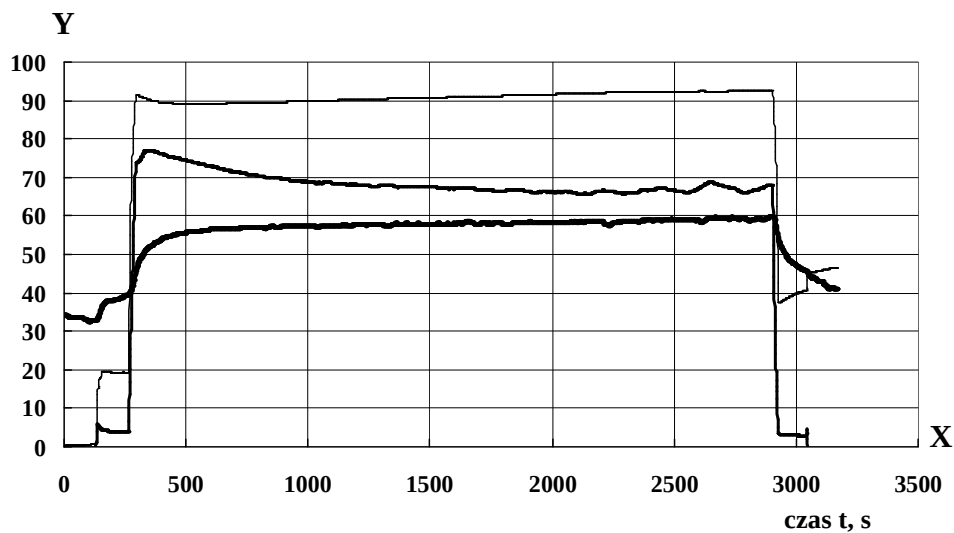
Charakterystyki te przedstawiono na rysunkach 2 – 5.

Na rysunkach 2 – 5 oś „Y” oznacza:



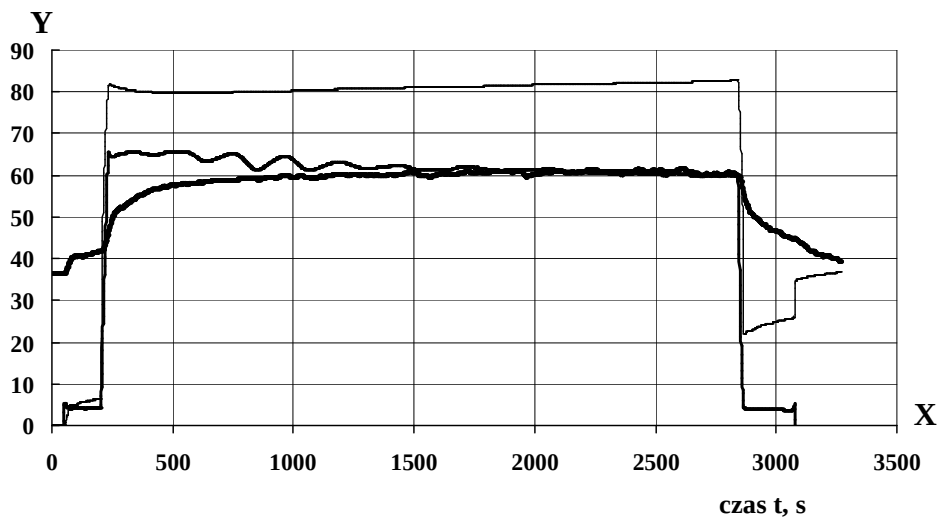
Rys.2. Charakterystyka zmian siły tarcia „F”, zużycia próbki „z” i temperatury w strefie tarcia „T” od czasu trwania procesu tribologicznego przy stałym obciążeniu węzła siłą normalną „P”.

Środek smarowy: olej SAE 10/95 bez dodatku cząstek miedzi



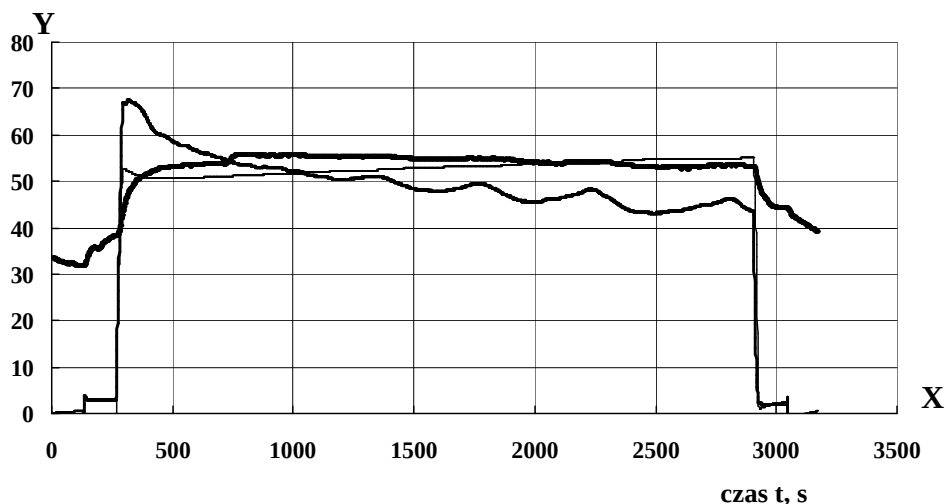
Rys.3. Charakterystyka zmian siły tarcia „F”, zużycia próbki „z” i temperatury w strefie tarcia „T” od czasu trwania procesu tribologicznego przy stałym obciążeniu wężła siłą normalną „P”.

Środek smarowy: olej SAE 10/95 z dodatkiem cząstek miedzi



Rys.4. Charakterystyka zmian siły tarcia „F”, zużycia próbki „z” i temperatury w strefie tarcia „T” od czasu trwania procesu tribologicznego przy stałym obciążeniu wężła siłą normalną „P”.

Środek smarowy: olej SAE 30/95 bez dodatku cząstek miedzi



Rys.5. Charakterystyka zmian siły tarcia „F”, zużycia próbki „z” i temperatury w strefie tarcia „T” od czasu trwania procesu tribologicznego przy stałym obciążeniu węzła siłą normalną „P”.

Środek smarowy: olej SAE 30/95 z dodatkiem cząstek miedzi

Badania tribologiczne prowadzono w następującym cyklu (rys. 2 – 5):

- | | | | | |
|------------|---|-----------------------|-----------------------------|----------------------|
| I | – | $P = 0 \text{ N}$, | $n = 0 \text{ obr/min}$, | $t = 60 \text{ s}$ |
| II | – | $P = 0 \text{ N}$, | $n = 200 \text{ obr/min}$, | $S = 50 \text{ m}$ |
| III | – | $P = 600 \text{ N}$, | $n = 200 \text{ obr/min}$, | $S = 1000 \text{ m}$ |
| IV | – | $P = 0 \text{ N}$, | $n = 200 \text{ obr/min}$, | $S = 50 \text{ m}$ |
| V | – | $P = 0 \text{ N}$, | $n = 0 \text{ obr/min}$, | $t = 60 \text{ s}$ |

gdzie: „S” oznacza drogę tarcia, a „t” czas tarcia.

Rejestracja wg podanych cykli widoczna jest na osi X załączonych rysunków. Pozwala to na analizę występowania filmu smarowego w strefie tarcia ślizgowego, oraz na rzeczywisty pomiar zużycia próbki płaskiej.

2.2 Badanie stanu naprężeń warstwy wierzchniej

Badanie stanu naprężeń warstwy prowadzono po procesie tarcia ślizgowego z użyciem Hydrorafinat II bez dodatków i z dodatkiem cząstek miedzi (otrzymanych metodą elektrochemiczną) o rozmiarach zewnętrznych ok. $2 \mu\text{m}$. Przygotowanie powierzchni do badań mikroskopowych wykonano na maszynie tarciowej 77 MT1 (ruch roboczy posuwisto-zwrotny). Dokładny opis metody badawczej i wyniki zawarte są w literaturze [9,17]. Badania tarciove wykonano w podobnych warunkach wymuszeń jak na maszynie T05. Badania stanu naprężeń przeprowadzono metodą „dyfrakcji promieni RTG”.

Stwierdzono, że naprężenia ściskające po procesie tarcia przy smarowaniu Hydrorafinatem II z dodatkiem cząstek Cu zwiększyły się o 73 MPa. Wykresy dyfraktometryczne posiadały postać, z której określenie położenia linii dyfrakcyjnych byłoby wysoce nieprecyzyjne czy wręcz niemożliwe i to pomimo stosowania metody skośnego padania wiązki pierwotnej promieniowania RTG. Przy grubości badanej warstwy do ok. 1 μm , odchylenie o kąt ∞ od kąta padania Θ promieni RTG, winno dać wg Rybakowej [16] rezultat w postaci otrzymania czytelnego zapisu dyfraktometrycznego badanej linii. **Stwierdzono, że metal dodatku (Cu) osadzony w procesie tarcia jest najprawdopodobniej w postaci bardzo bliskiej amorficznej.** Dowodem na powyższe stwierdzenie jest kształt linii dyfrakcyjnych o bardzo dużym kącie rozmycia i niskiej intensywności.

2.3 Badania powierzchni tarcia metodą mikroanalizy rentgenowskiej „RTG – MAR”

Celem badań było określenie występowania pierwiastka Cu (w postaci krystalicznej) na powierzchni tarcia metodą mikroanalizy rentgenowskiej. Badane powierzchnie były te same jak w przypadku badań stanu naprężeń. Dokonano oszacowania ilościowego obecności na powierzchni pierwiastka Cu. Wyniki badań potwierdziły wniosek z badań naprężeń o amorficznej postaci miedzi osadzonej na powierzchni tarcia. Dokładne wyniki badań znajdują się między innymi w literaturze [9,18].

3. PODSUMOWANIE

Analizując wartości parametrów przedstawione na rys. 2 – 5 można stwierdzić, że:

- siły tarcia po czasie $t = 400\text{ s}$ i $t = 2700\text{ s}$ dla olejów bez dodatków są prawie jednakowe - o wartości ok. $F = 60\text{ N}$,
- siła tarcia dla oleju SAE 30/95 z dodatkiem Cu po czasie $t = 2700\text{ s}$ przyjmuje zdecydowanie najmniejszą wartość, ok. $F = 44\text{ N}$, natomiast dla tych samych warunków siła tarcia dla oleju SAE 10/95 z dodatkiem Cu ma wartość $F = 65\text{ N}$. Siły tarcia po czasie $t = 400\text{ s}$ dla w/w olejów mają prawie tą samą wartość $F = 70\text{ N}$,
- na rysunkach 4 i 5 można zauważyć zmienność siły F w początkowej i końcowej fazie procesu tarcia. Świadczyć to może o różnych oporach tarcia w procesie tribologicznym, co może potwierdzać ścinanie warstwy niskotarciowej opartej na Cu. Tendencję tą można zauważyć także w przypadku oleju SAE 10/95 – falowanie jest tylko w oleju z dodatkiem Cu.

Na podstawie załączonych wyników badań można sformułować ogólne wnioski końcowe, a mianowicie:

- dodatki cząstek czystych metali do środków smarowych wpływają na proces tribologiczny w węzłach kinematycznych,
- potwierdzenie tezy o wpływie właściwości cieplnych powłok niskotarciowych na zmienność cech filmu smarowego wymaga jeszcze przeprowadzenia badań w szerszym zakresie, niemniej nawet na podstawie przedstawionych wyników można twierdzić, że obrany kierunek badań jest właściwy.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] M.W. Sułek, A. Bocho-Janiszewska: *Influence of organic complexes of metals on motion resistance and wear*. Tribologia nr 2/2003, s. 95-105.
- [2] M.W. Sułek, A. Bocho-Janiszewska: *Przeciwzatarciowe oddziaływanie smaru litowego z dodatkami organicznych kompleksów metali*. Inżynieria powierzchni nr 1/2003, s. 59-64.
- [3] C. Kajdas: *Importance of anionic reactive intermediates for lubricant component reactions with friction surfaces*. Lubrication Science nr 6/1994.
- [4] R. Marczak, D. Morozow: *Badania wpływu dodatku dyspersyjnych cząstek molibdenu na tribologiczne własności cieczy smarująco-chłodzących*. Tribologia nr 3/200, s. 467-474.
- [5] Liu G., Li X., Lu N., Fan R.: *Enhancing AW/EP property of lubricant oil by adding nano Al/Sn particles*. Tribology Letters. 2005, Vol. 18, nr 1, s. 85-90.
- [6] Liu G., Li X., Qin B., Xing D., Guo Y., Fan R.: *Investigation of the mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surface*. Tribology Letters. 2004, Vol. 17, nr 4, s. 961-966.
- [7] Hisakado T., Saitou K., Suda H.: *The effect of iron particles on the friction and wear mechanisms of ceramics in ethanol*. Wear. 1997, Vol. 210, s. 188-194.
- [8] Jingfang Zhou, Jianjun Yang, Zhijun Zhang, Weimin Liu, Qunji Xue: *Study on the structure and tribological properties of surface-modified Cu nanoparticles*. Materials Research Bulletin. 1999, Vol. 34, nr 9, s. 1361-1367.
- [9] Makowski R., Marczak R. i inni: *Dyspersje miedzi i innych metali w materiałach smarnych inicjujące niskotarciowe pokrycia roboczych powierzchni kinematycznych węzłów maszyn*. Projekt badawczy Komitetu Badań Naukowych /Nr 7 T08C 027 08/. Politechnika Radomska, Radom, 1998.
- [10] Kotnarowski A., Makowski R. i inni: *Ocena wpływu proszków metali, zawartych w cieczach smarująco – chłodzących, na zużycie narzędzi i opory tarcia podczas procesu skrawania*. Sprawozdanie z projektu badawczego nr 7 T08C 038 20. Radom, luty 2004.
- [11] Kotnarowski A., Makowski R., Morozow D.: *Badanie możliwości modyfikacji olejowych cieczy chłodząco – smarujących za pomocą proszków metali*. Tribologia 2/2004.
- [12] Wilczek A.: *Wpływ właściwości cieplnych powłok na opory ruchu w kontakcie EHD*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn Z.3 VOL. 41, 2006, s. 21-34.
- [13] Hofman S., Janczak K., Wilczek A.: *Evaluation of errors of temperature measurements with the aid of a thin-layer transducer in concentrated contacts*. Wear, 102 (1985), 271-293.
- [14] Wiśniewski M.: *Elastohydrodynamische Schmierung*. Handbuch der Tribologie und Schmierungstechnik. Band 9. Export Verlag, Renningen, 2000.
- [15] Krzemiński-Freda H.: *Elastohydrodynamiczna teoria smarowania – Bieżący stan wiedzy*. XXI Jesienna Szkoła Tribologiczna, Łódź-Arturówek, wrzesień 1996. Materiały konferencyjne.
- [16] Rybakowa L.M., Nazarov A.N.: *Osobiennosti strukturnych izmienenij mietałła pri trenii podvlijaniem aktiwnoj sriedy*. Fizika i Chimia obrabotki materialow, nr 2/1676.

-
- [17] Makowski R., Król J.: *Stan naprężeń warstwy wierzchniej po procesie tarcia ślizgowego z zastosowaniem cząstek metali jako dodatków do wybranych środków smarowych*. Tribologia nr 3/2000, s. 459 – 465.
- [18] Makowski R.: *Ocena wpływu cząstek metali wchodzących w skład środka smarowego na stan warstwy wierzchniej*. Tribologia, 4/2001 (178), s. 669 – 677.