

Andrzej Kotnarowski*, Romuald Makowski*, Władimir F. Piczugin**

OSOBLIWOŚCI ODDZIAŁYWANIA MATERIAŁÓW SMAROWYCH NA POWIERZCHNIĘ METALU W PROCESIE TARCIA

FEATURES OF INTERACTION BETWEEN LUBRICANTS AND METAL SURFACE IN FRICTION PROCESS

Słowa kluczowe:

tarcie, materiał smarowy, dodatki, warstewki ochronne

Keywords:

friction, lubricant, additives, protective layers

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu materiałów smarowych o różnych własnościach fizyko-chemicznych na tworzenie warstewek ochronnych w procesie tarcia ślizgowego. Stosując współczesne metody analizy materiałowej zbadano: skład, budowę i grubość tych warstewek.

* Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Radom 26-600, ul. Chrobrego 45

** Rosyjski Państwowy Instytut Nafty i Gazu im. I.M. Gubkina w Moskwie

WPROWADZENIE

Fizyko-chemiczny stan warstewek powierzchniowych skojarzeń tribologicznych w istotny sposób wpływa na ich właściwości eksploatacyjne. Warstewki ochronne, zapewniające korzystny gradient własności mechanicznych w kierunku prostopadłym do powierzchni współpracujących tarciowo elementów, powstają w wyniku procesów mechanicznych i fizyko-chemicznych, przebiegających w systemach tribologicznych, a także na skutek oddziaływań środowiska.

Na podstawie dostępnej literatury można stwierdzić, że obecnie brakuje dokładnych danych dotyczących składu i budowy warstewek ochronnych na powierzchni tarcia smarowanych połączeń ruchowych. Omówione w niniejszym artykule badania stanowią próbę zmniejszenia obszaru niewiedzy w tym zakresie.

BADANIA I ICH WYNIKI

Badania tribologiczne wykonano przy użyciu maszyny tarciowej SMC-2 z modelowym węzłem tarcia „rolka – rolka”, przy obciążeniu $p = 8$ MPa, prędkości ślizgania $V = 1$ m/s, drodze tarcia $s = 2000$ m. Badano próbki ze stali 40HN, a jako substancję smarującą zastosowano mineralny olej przemysłowy I-40A.

Skład, grubość i budowę warstewek po procesie tarcia badano za pomocą spektrometru elektronów Augera firmy „Balzers”, według metody przedstawionej w pracy [1]. Badania te wykazały, że biorąc udział w tarcia warstwa powierzchniowa próbek zawiera, przede wszystkim, węgiel, którego koncentracja, po usunięciu warstewki o grubości 15 nm, ulega znacznemu zmniejszeniu, zaś koncentracja tlenu i żelaza wzrasta. Na głębokości tej żelazo występuje w związku chemicznym z tlenem, natomiast na głębokości 90 nm żelazo ma już postać metaliczną. Można na tej podstawie wnioskować, że grubość warstewki ochronnej, powstającej podczas tarciowej współpracy elementów stalowych w oleju mineralnym bez dodatków, jest rzędu 90 nm, a w jej skład wchodzi: węgiel, tlen i żelazo.

Celem zmniejszenia oporów tarcia i zwiększenia odporności na zużywanie skojarzeń ruchowych, jako dodatki do materiałów smarowych stosowane są różne związki chemiczne. Doświadczenia z ich stosowania dowodzą, że tradycyjne dodatki, takie jak związki siarki, fosforu i chloru oddziałują efektywnie dopiero przy stosunkowo wysokich stężeniach.

Powierzchnie metalowe, oddziałując w procesie tarcia z dodatkami, pokrywają się warstewkami ochronnymi, podwyższającymi trwałość skojarzeń tarciovych w przypadku, gdy szybkość ich tworzenia przewyższa intensywność zużywania [2]. W ujęciu ogólnym mechanizm działania rozpatrywanego typu dodatków (siarka, fosfor, chlor) składa się z trzech procesów: adsorpcji (lub chemisorpcji), przemian chemicznych (lub rozkładu dodatków) przy podwyższonej temperaturze w miejscach rzeczywistego kontaktu powierzchni tarcia oraz chemicznego wzajemnego oddziaływania najbardziej aktywnych produktów z metalem (modyfikacja chemiczna) [3].

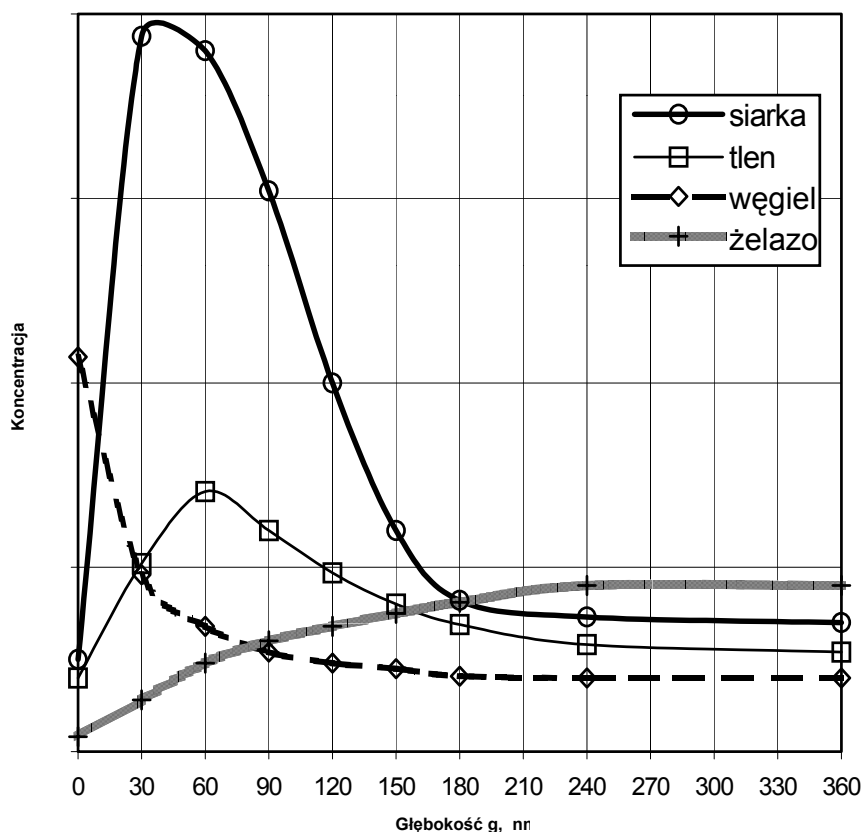
W przypadku wprowadzania do środka smarowego dodatku zawierającego chlor, na powierzchniach stalowych w procesie tarcia powstają warstewki chlorków żelaza o grubości $1,5 \div 19$ nm. W przypadku dodatków zawierających fosfor powstają warstewki ochronne o grubości $7 \div 28$ nm, zawierające fosforan żelaza [3]. Oddziaływanie dodatków zawierających siarkę w materiałach smarowych prowadzi do budowy w procesie tarcia warstewek o grubości $2 \div 4$ μm ($2000 \div 4000$ nm) [4].

Celem uzyskania informacji dotyczącej budowy i składu warstewek ochronnych na powierzchniach tarcia wykonano badania par stalowych, pracujących w oleju mineralnym z dodatkiem siarkowanych tetramerów polipropylenu, którego udział objętościowy wynosił 0,05%. Na rysunku 1 przedstawiono rezultaty badania warstwy wierzchniej stalowej próbki, pracującej uprzednio w układzie tribologicznym „klocek – rolka”, przy nacisku jednostkowym $p = 8$ MPa, prędkości poślizgu $v = 1$ m/s i drodze tarcia $l = 2000$ m.

Analiza danych przedstawionych na rysunku 1 pozwala wnioskować, że grubość warstewki ochronnej, utworzonej w takim procesie tribologicznym, wynosi ok. $0,3 \div 0,4$ μm ($300 \div 400$ nm). W skład tej warstewki wchodzi: siarka, węgiel i tlen. Wyniki badań metodą Augera świadczą o tym, że żelazo w strefie tarcia nie jest związane chemicznie z innymi pierwiastkami i występuje w postaci metalicznej. Obecność w materiale smarowym dodatków zawierających siarkę prowadzi do $2 \div 3$ krotnego obniżenia współczynnika tarcia i intensywności zużywania węzła tarciovego, w porównaniu z bazowymi materiałami smarowymi, przy takich samych warunkach wymuszeń.

Na podstawie analizy literatury można stwierdzić, że w przypadku wprowadzania do środka smarowego drobnodispersyjnych proszków

grafitu, dwusiarczku molibdenu, policzterofluoroetyleny, a także metali „niskotarciowych”, na powierzchniach tarcia powstają warstewki ochronne, sprzyjające podwyższeniu odporności na zużycie połączeń ruchowych, jak i obniżaniu strat energetycznych w węźle tarcia [5,6,7,8]. Grubość tych warstewek może dochodzić do $1 \div 2 \mu\text{m}$ [9]. Wyżej wymienione związki należą do grupy stałych materiałów smarowych. Mechanizm ich oddziaływania polega na skojarzeniu twardego podłoża o wysokiej wytrzymałości na obciążenia normalne z miękką warstewką, o niskiej wytrzymałości na ścinanie.



Rys. 1. Zależność koncentracji I wybranych pierwiastków, wyrażonej w jednostkach względnych, od odległości od powierzchni w głąb warstwy wierzchniej próbki po procesie tarcia w oleju mineralnym, zawierającym 0.5% dodatku siarkowego

Fig. 1. Dependence between depth (distance from the sample surface) g and concentration of some elements I (measured in relative units) for steel sample after work in mineral oil with 0.5% of sulphur containing additive

W wyniku badań wykonanych przez D.M. Garkunowa i J.W. Kragielskiego w obszarze kontaktowych oddziaływań fizyko – chemicznych stwierdzono występowanie tak zwanego zjawiska selektywnego przenoszenia przy tarcii. W trakcie trwania tego zjawiska w skojarzeniu tarciovym stop miedzi – stal, smarowanym gliceryną lub mieszaniną spirytusowo–glicerynową, współczynnik tarcia (w zależności od składu chemicznego stopu miedzi i innych czynników) osiąga wartość $0,06 \div 0,09$, a zużycie elementów trących praktycznie nie zachodzi. W strefie tarcia, tak na powierzchni stalowej, jak i ze stopu miedzi formuje się warstewka zawierająca miedź. Niska wartość współczynnika tarcia i wysoka odporność na zużycie połączeń ruchowych stali i stopów miedzi prawdopodobnie związana jest ze składem i budową tych warstewek, których grubość i skład chemiczny badano z zastosowaniem metod analizy elektronograficznej, rentgenostrukturalnej i warstwowej analizy Augera. Analiza elektronograficzna strefy tarcia próbek, pracujących w oleju mineralnym z dodatkiem eteru, nie ujawniła linii odbicia, co świadczy o amorficznej budowie warstewki zawierającej miedź. Analiza rentgenostrukturalna elementów stalowych współpracujących ze stopami miedzi, o różnym składzie chemicznym w warunkach „selektywnego przenoszenia”, wykazała obecność w warstwie wierzchniej próbek pierwiastków, wchodzących w skład stopów miedzi. Na podstawie rozkładu i koncentracji tych pierwiastków można sądzić, że w początkowym okresie współpracy zachodzi mikroszczepianie i nacieranie stopu miedzi na powierzchnię stalową. Przeprowadzona metodą warstwową analiza Augera strefy tarcia próbek ze stopu miedzi o różnym składzie, pracującej w parze tribologicznej z przeciwpróbką stalową, przy smarowaniu mineralnym olejem z dodatkami wykazała, że w skład warstewki ochronnej wchodzi: miedź, tlen i węgiel. Miedź w warstwie powierzchniowej znajduje się w związku chemicznym z tlenem, a grubość tak utworzonej warstewki wynosi ok. $0,6 \mu\text{m}$. Natomiast warstewka wytworzona w tych samych warunkach na powierzchni stalowej posiada grubość około $0,8 \mu\text{m}$. W skład tej warstewki wchodzi: węgiel, tlen, miedź i żelazo. Miedź i żelazo w warstwie na powierzchni stalowej występują w związku chemicznym z tlenem.

PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy literaturowej, a także wykonanych badań można stwierdzić, że w zależności od fizyko–chemicznych własności środka smarowego, na powierzchniach uczestniczących w procesie tarcia powstają warstewki ochronne o różnym składzie, budowie i grubości.

Celem podwyższenia trwałości skojarzeń tribologicznych elementów maszyn należy stosować efektywne środki smarowe, które sprzyjają budowie niskotarciowych i przeciwzużyciowych warstewek na powierzchniach tarcia, przy czym grubość ich powinna zapewnić ograniczenie odkształceń ścinających tylko do objętości warstewki. Jedną z ważniejszych pożądanych własności środka smarowego jest zdolność do poprawy jakości warstwy powierzchniowej, w kierunku zwiększenia rzeczywistej powierzchni kontaktu i zmniejszenia nacisków jednostkowych, co pozwala na rozszerzenie zakresu prędkości i obciążeń węzła tarcia, bez wychodzenia poza zakres jego normalnej pracy.

LITERATURA

Лазарев Э.М., Коротков Н.А., Гордеева А.С.: Изучение низкотемпературных окисных пленок на некоторых конструкционных сталях методом оже-электронной спектроскопии. Изд. АН СССР, Металлы, 1980, №4, с. 207-212.

Виноградова И.Э.: Противоизносные присадки к маслам. М.: Химия, 1972, с. 272.

Санин П.И.: Химические аспекты граничной смазки. Трение и износ, 1980, т. 1, № 1, с. 45-48.

Coy R.C.,Quinn T.F.: The use of physical methods of analysis to identify surface layers formed by organosulfur compounds in wear tests. ASLE Transactions, 1975, v. 18, № 3, p. 163-174.

Григорьев М.А., Бунаков Б.М.: Снижение трения и износа в агрегатах автомобилей за счет достижений триботехники. М.:ЦНИИТИ автомобильной промышленности, 1978, с. 49.

Балабанов В.И.: Безразборное восстановление трущихся соединений. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 1999, с. 72.

Маковски Р.: Исследование поршневых компрессоров, смазываемых маслами с добавками частиц некоторых металлов. Междурадная научно-практическая конференция »СЛАВЯНТРИБО–5«. Санкт-Петербург, 26-30 июня 2000, с. 287-288.

Марчак Р., Морозов Д., Котнаровски А.: Исследование влияния дисперсионных частиц меди на трибологические свойства смазочно-

охлаждающих жидкостей. Международная научно-практическая конференция »СЛАВЯНТРИБО–5«. Санкт-Петербург, 26-30 июня 2000, с. 273-276.

Gansheimer J., Holinsky R.: Molybdenum disulfide in oils and greases under boundary conditions. ASME Paper 72 – Vol. 37, 1972.

Recenzent:
Ryszard MARCZAK

Summary

Results of examination of lubricants, of different physical and chemical properties, influence on protective layers forming in sliding friction process are presented in the paper. Constitution, construction and thickness of these layers were examined using present methods of material analysis.