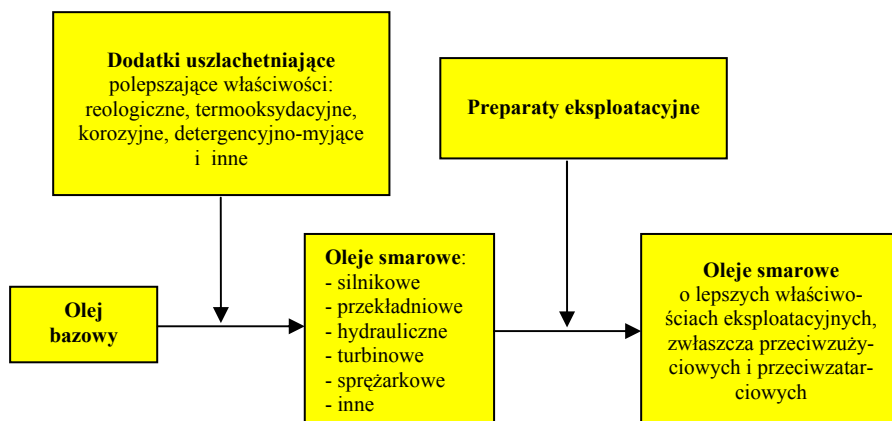


PREPARATY EKSPLOATACYJNE STOSOWANE W OLEJACH SMAROWYCH

W artykule dokonano przeglądu literatury przedmiotowej dotyczącej preparatów eksploatacyjnych stosowanych w olejach smarowych. Przedstawiono ich klasyfikację oraz mechanizmy działania. Obecnie najszersze zastosowanie znajdują preparaty eksploatacyjne o działaniu chemicznym. W ekstremalnych warunkach pracy systemów tribologicznych (wysokie naciski, prędkości względne, temperatury, chwilowy brak smarowania np. podczas rozruchu) preparaty eksploatacyjne o działaniu chemicznym zapewniają dodatkową i skuteczną ochronę elementów maszyn.

WPROWADZENIE

W budowie i eksploatacji maszyn jednym z istotnych problemów jest zapewnienie prawidłowego smarowania węzłów tarcia. Środki smarne (oleje smarowe i smary stałe) stosowane w tym celu charakteryzują się coraz lepszymi właściwościami użytkowymi. Poprawę jakości środków smarnych uzyskuje się dzięki dodatkom uszlachetniającym, będącym ich integralną częścią. Mimo to w ekstremalnych warunkach pracy systemów tribologicznych (wysokie naciski, prędkości względne, temperatury, chwilowy brak smarowania np. podczas rozruchu) elementy tych systemów nie są dostatecznie chronione. W związku z tym pojawiła się idea wprowadzenia wraz z olejem dodatkowej substancji do węzła tarcia – preparatu eksploatacyjnego. Według S. Labera [5] „preparaty eksploatacyjne są to związki chemiczne lub mieszaniny związków chemicznych przygotowane do jakiegoś specjalnego celu na przykład polepszenia warunków pracy węzłów tarcia poprzez zwiększenie trwałości warstwy granicznej”. Dzięki temu otrzymuje się oleje o lepszych właściwościach eksploatacyjnych, zwłaszcza przeciwwżyciowych i przeciwwzartarciowych. Warstwy graniczne utworzone na powierzchniach współpracujących elementów systemów tribologicznych są zdolne do przenoszenia większych obciążeń, zmniejszają się opory ruchu i zużycie tych elementów. Zastosowanie preparatów eksploatacyjnych w procesie wytwarzania olejów smarowych pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Zastosowanie dodatków uszlachetniających i preparatów eksploatacyjnych do olejów smarowych

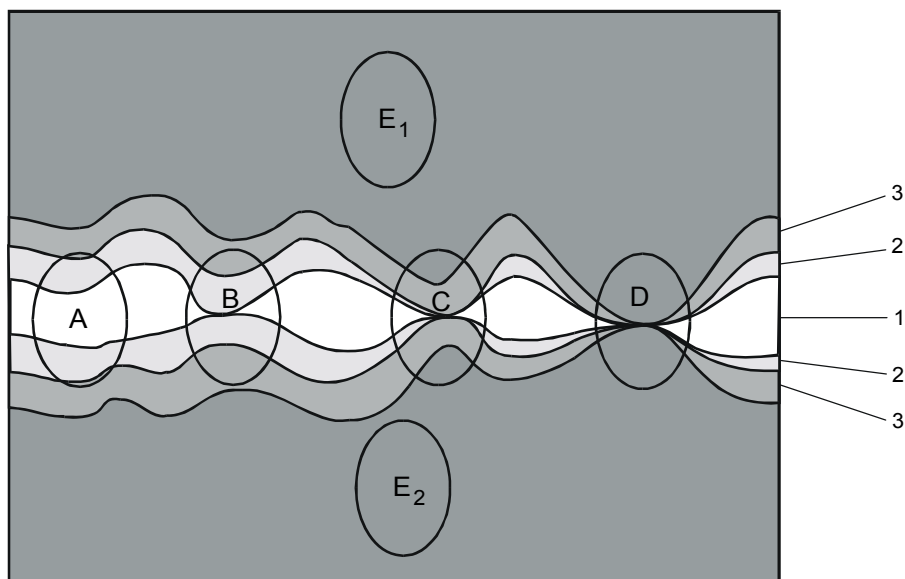
KLASYFIKACJA ORAZ MECHANIZMY DZIAŁANIA PREPARATÓW EKSPLOATACYJNYCH

Preparaty eksploatacyjne można podzielić na trzy zasadnicze grupy [5]:

- preparaty o oddziaływaniu chemicznym,
- preparaty zawierające w swym składzie cząsteczki środków smarnych stałych,
- preparaty umożliwiające powstanie w węzle tarcia smarowania na zasadzie tzw. przenoszenia selektywnego (PS).

Preparaty eksploatacyjne o oddziaływaniu chemicznym są to rozpuszczalne w oleju związki o długich łańcuchach z polarną grupą na końcu lub związki na bazie ditiofosforanów cynku zawierające subtelnie dobrane dodatki smarnościowe typu EP (*extreme pressure*), które mogą być fosforowe, siarkowe lub chlorowe. Charakteryzują się dużym ciężarem cząsteczkowym, wysoką stabilnością chemiczną i termiczną. Czynnikiem wprowadzającym preparaty eksploatacyjne do węzłów tarcia maszyn są różnego rodzaju oleje smarowe (rys. 1). Cząsteczki preparatu eksploatacyjnego w podwyższonych temperaturach procesów tarcia wchodzi w reakcję z metalicznym podłożem. W efekcie uzyskuje się warstwę graniczną, dzięki zjawisku sorpcji fizycznej i chemisorpcji, oraz dodatkowe zabezpieczenie w postaci warstwy dyfuzyjnej (regenerującej się w czasie pracy węzła tarcia). Z powyższego opisu wynika, że mechanizm tworzenia się warstw granicznych na elementach węzłów tarcia jest podobny przy stosowaniu preparatu eksploatacyjnego o działaniu chemicznym i uszlachetnionego oleju smarowego. Różnica polega na tym, że poprzez dodanie preparatu eksploatacyjnego do oleju smarowego zwiększa się stężenie substancji aktywnych, a tym samym możliwość utworzenia grubszej i trwalszej warstwy granicznej (rys. 2). Tak utworzona war-

stwa graniczna jest zdolna do przenoszenia znacznie większych obciążeń dynamicznych i termicznych węzłów tarcia [2].

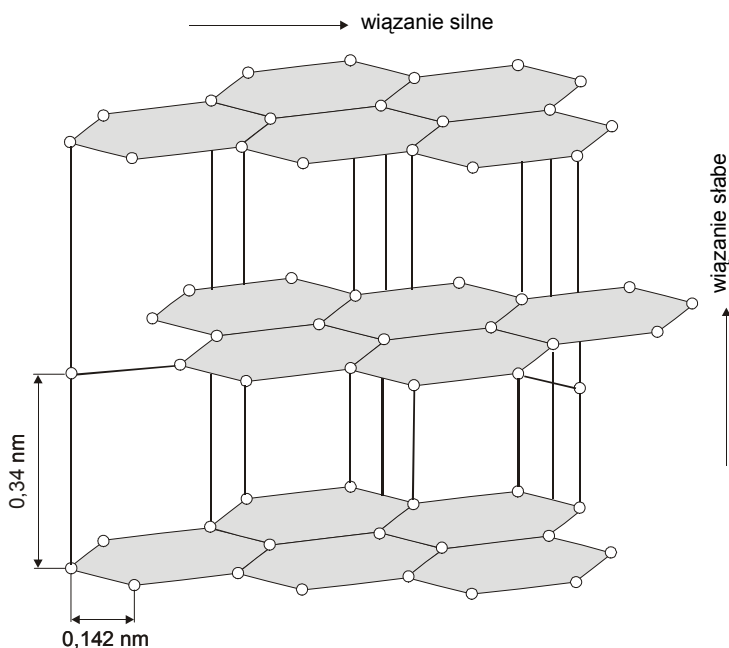


Rys. 2. Model węzła tarcia z zastosowaniem preparatów eksploatacyjnych:
 E_1 , E_2 – elementy pary tarczej, 1 – środek smaru wzbogacony preparatem eksploatacyjnym,
 2 – właściwa warstwa graniczna utworzona w wyniku stosowania środka smarnego,
 3 – warstwa graniczna utworzona w wyniku działania preparatu eksploatacyjnego
 (tzw. zastępcza warstwa graniczna), A – faza tarcia płynnego, B – faza tarcia granicznego,
 C – faza tarcia granicznego z udziałem zastępczej warstwy granicznej, D – tarcie suche

Do grupy preparatów eksploatacyjnych zawierających w swym składzie cząsteczki środków smarnych stałych zalicza się:

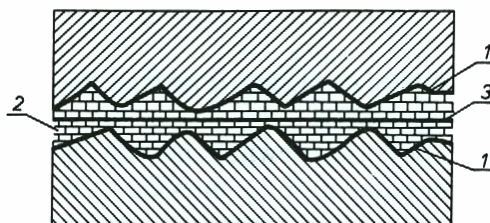
- preparaty zawierające substancje o budowie warstwowej, np. grafit, dwusiarczek molibdenu lub wolframu, azotki, siarczki i inne,
- substancje o małej wewnętrznej spójności, np. mydła, woski stałe, tłuszcze roślinne, miękkie polimery (teflon) oraz metale miękkie (miedź, cyna, ołów, srebro), zwykle w postaci sproszkowanej.

Spośród substancji o budowie warstwowej najczęściej stosowany jest grafit oraz dwusiarczek molibdenu MoS_2 . O warstwowej budowie siatki krystalicznej można mówić wtedy, gdy w węzłach siatki znajdują się małe dodatnie i duże ujemne jony, łatwo polaryzowalne. W związkach tych atomy ułożone w płaskiej warstwie związane są pomiędzy sobą silnymi wiązaniami kowalentnymi, natomiast pomiędzy poszczególnymi warstwami występują słabsze wiązania elektrostatyczne. Dlatego związki te charakteryzują się wyraźnie określonymi płaszczyznami poślizgu i płaszczyznami łupliwości, które przebiegają wzdłuż poszczególnych warstw [2]. Przykładową strukturę krystaliczną grafitu przedstawiono na rysunku 3.



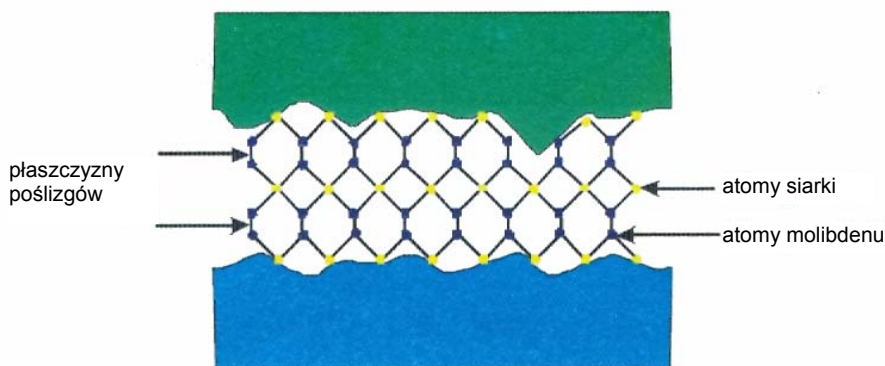
Rys. 3. Siatka krystaliczna grafitu

Istotę smarowania substancjami o budowie warstwowej próbują wyjaśnić teorie: strukturalna i adsorpcyjna. Pierwsza z nich przypisuje właściwości smarne warstwowej budowie siatki krystalicznej (płaszczyzny poślizgu), druga zaś adhezją cząsteczek substancji na powierzchni metalu. Należy przypuszczać, że dobre właściwości smarne uzyskuje się wówczas, gdy spełnione są obydwa warunki. Mechanizm działania smarnego grafitu przedstawiono na rysunku 4. Cząsteczki grafitu zawarte w oleju smarowym w wyniku sorpcji fizycznej tworzą na powierzchniach czopa i panewki film grafitowy, do którego przyciągane są następne cząsteczki grafitu, aż do momentu wypełnienia wgłębień nierówności – wygładzenia powierzchni. Od tego momentu przemieszczanie wzajemne współpracujących powierzchni odbywa się w warstwie grafitowej (wzdłuż płaszczyzn poślizgu). Warstwa ta charakteryzuje się dobrymi właściwościami adsorpcyjnymi, w wyniku czego kolejne cząstki oleju są przyciągane i w efekcie tworzą film smarowy poprawiający warunki pracy łożyska [6].



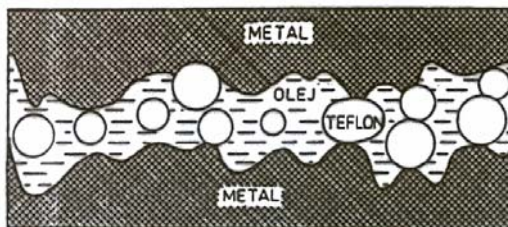
Rys. 4. Mechanizm smarowania za pomocą grafitu [6]: 1 – przyścienne warstewki grafitu, 2 – wypełnienie grafitem wgłębienia nierówności powierzchni, 3 – ślizgowa powierzchnia warstw grafitowych

Mechanizm działania dwusiarczku molibdenu jest bardzo podobny. Różnica polega na tym, że warstwa graniczna powstaje również w wyniku chemisorpcji, wywołanej reakcją chemiczną jonów siarki z atomami metalu. Po utworzeniu tej warstwy następuje wypełnienie wgłębień nierówności cząsteczkami MoS_2 do momentu, aż wzajemne przemieszczanie się współpracujących powierzchni zacznie zachodzić pomiędzy warstwami MoS_2 (rys. 5).



Rys. 5. Schemat węzła tarcia smarowanego olejem z dodatkiem dwusiarczku molibdenu MoS_2 [5]

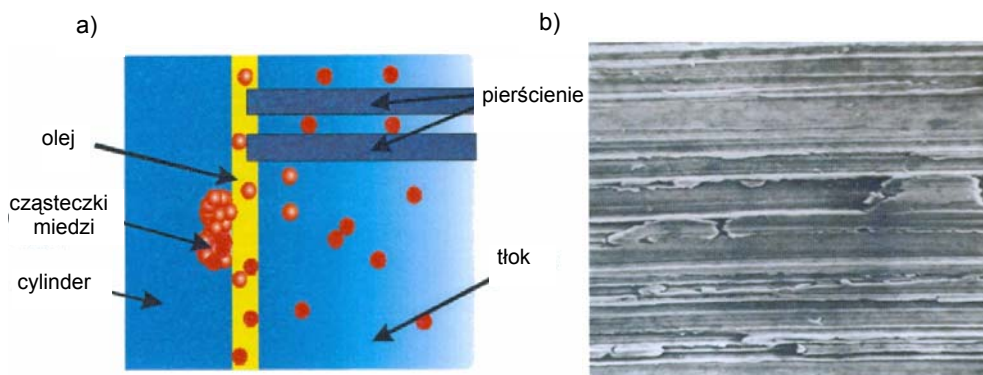
Przykładem substancji o małej wewnętrznej spójności jest policzterofluoroetylen (PTFE), znany pod nazwą handlową jako teflon. Preparat ten wprowadzany jest do węzła tarcia pod postacią submikronowych rozmiarów cząstek kulistych. Sposób jego działania uzależniony jest od tego, czy cząsteczki teflonu mają dodatni ładunek elektryczny, czy też są elektrycznie obojętne. W pierwszym przypadku w wyniku oddziaływania elektrostatycznego kuliste cząstki teflonu zostają związane z powierzchnią metalu. W sytuacjach zmniejszenia się odległości między współpracującymi elementami cząstki teflonu zaadsorbowane np. na wierzchołkach nierówności ulegają rozwalcowaniu. Powstałe warstewki teflonu mają tak dużą przyczepność do powierzchni metalu, że można je usunąć jedynie poprzez mechaniczne ścieranie – szlifowanie. W przypadku cząsteczek teflonu elektrycznie obojętnych nie ma możliwości tworzenia na metalowych powierzchniach warstewek opisanych powyżej. Cząsteczki te spełniają w węzłach tarcia rolę łożysk kulowych. Ich zasadę działania przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Schemat węzła tarcia smarowanego olejem z dodatkiem policzterofluoroetylen (PTFE) [5]

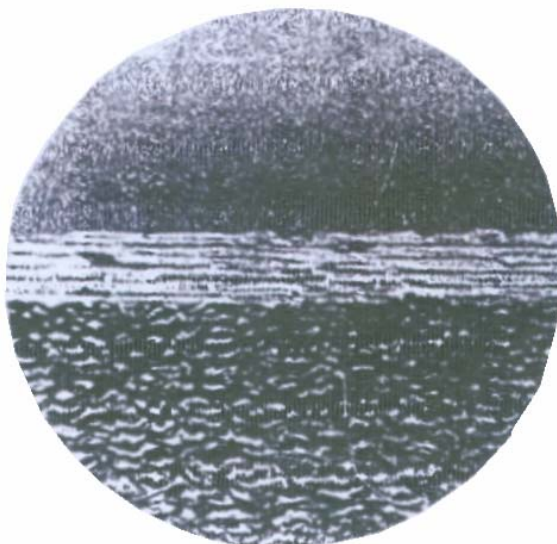
W systemach smarnych kuliste cząstki teflonu osadzały się na filtrach. W efekcie następowało z jednej strony zanieczyszczenie filtrów, a z drugiej eliminacja z oleju smarowego substancji, która miała do spełnienia określoną rolę.

Innym przykładem substancji o małej wewnętrznej spójności mogą być metale miękkie (miedź, ołów). Schemat węzła tarcia smarowanego olejem z dodatkiem preparatu na bazie metali miękkich przedstawiono na rysunku 7a. Cząstki tych metali wielkości kilku mikrometrów krążą wraz z olejem i w miejscach drastycznego zmniejszenia się odległości pomiędzy współpracującymi powierzchniami są zgniatanane i ulegają rozwalcowaniu, tworząc w ten sposób cienką warstewkę silnie związaną z powierzchnią metaliczną. Następuje tzw. platerowanie powierzchni trących (rys. 7b). Warstewka ta zdolna jest do przenoszenia zwiększonych obciążeń mechanicznych przy obniżonym współczynniku tarcia. Mechanizm działania preparatu jest zatem podobny jak w przypadku PTFE.



Rys. 7. Mechanizm działania preparatu eksploatacyjnego na bazie miedzi [5]:
 a) schemat węzła tarcia smarowanego olejem z dodatkiem preparatu na bazie miedzi,
 b) powierzchnia tarcia smarowana olejem z dodatkiem preparatu na bazie miedzi

Do grupy preparatów eksploatacyjnych umożliwiających powstanie w węźle tarcia smarowania na zasadzie tzw. przenoszenia selektywnego zalicza się substancje, które mają właściwości redukcyjne, np. gliceryna, jej spirytusowy roztwór, słabe kwasy powstające w wyniku utleniania się oleju smarowego i inne. Redukują one tlenki miedzi do czystej miedzi, a to sprzyja przenoszeniu atomowemu. W wyniku tarcia powodującego mikroplastyczne odkształcenia warstwy wierzchniej współpracujących elementów oraz wskutek wzrostu temperatury zachodzi proces szczepiania się jonów miedzi z oczyszczoną od tlenków powierzchnią stalową i ich dyfuzja. W efekcie otrzymuje się warstewkę miedzi dobrze związaną z powierzchnią stalową tzw. serwowarstewkę (rys. 8). Współczynnik tarcia i intensywność zużycia zmniejszają się o 2–3 rzędy.



Rys. 8. „Serwowarstewka” utworzona w węźle tarcia stal–polimer wypełniony proszkiem miedzi [3]

PODSUMOWANIE

Obok tradycyjnego kierunku badań zmierzających do poprawy właściwości użytkowych olejów smarowych poprzez stosowanie lepszych jakościowo dodatków uszlachetniających (będących ich integralną częścią) funkcjonuje koncepcja wprowadzania do węzłów tarcia za pośrednictwem olejów smarowych nowych substancji, tzw. preparatów eksploatacyjnych.

Mimo prowadzonych badań brakuje jednoznacznej oceny preparatów eksploatacyjnych. W literaturze przedmiotowej oraz informacjach producentów preparatów eksploatacyjnych prezentowane są skrajne opinie dotyczące ich działania: od szkodliwości, poprzez znikomą skuteczność do efektywności i dużego znaczenia techniczno-ekonomicznego oraz ekologicznego. Tak odmienne opinie wynikają z dużej różnorodności preparatów eksploatacyjnych i różnych mechanizmów ich działania. Spośród opisanych w artykule preparatów eksploatacyjnych obecnie najszersze zastosowanie mają preparaty o działaniu chemicznym. Preparaty te łączą się trwale z olejem, zatem nie osadzają się na filtrach i nie tworzą warstw termoizolacyjnych, czego nie można powiedzieć o preparatach zawierających w swym składzie cząstki środków smarnych stałych. Wyraźnie polepszają one właściwości przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe olejów oraz obniżają temperaturę pracy w strefie tarcia. Ich intensywność oddziaływania jest zwykle największa w razie pogarszającego się stanu technicznego węzłów tarcia maszyn roboczych.

LITERATURA

1. Białka Z., *Badania dodatków eksploatacyjnych*, Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, 2000, nr 69.
2. Hebda M. Wachal A., *Trybologia*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.
3. Kragielski J.W., Alisin W.W., *Trenije, iznaszivanie i smazka*, Maszynostrojenie, 1978.
4. Laber A., *Analiza możliwości wykorzystania preparatu eksploatacyjnego Motor Life Professional w modyfikowaniu warunków pracy węzłów tarcia pojazdów samochodowych*, Tribologia, 2009, 5.
5. Laber S., *Badania własności eksploatacyjnych i smarnych uszlachetnicza metalu*, Uniwersytet Zielonogórski, 2003.
6. Lawrowski Z., *Tribologia – tarcie, zużycie i smarowanie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993.
7. Łuksa A., Witko A., *Dodatki uszlachetniające do olejów smarowych*, Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, 1995, nr 19.
8. Mc Fall D., *Dwugłos na temat dodatków wspomagających do olejów*, Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, 2000, nr 69.
9. Wiślicki B., Korycki J., Gutkowski J., *Laboratoryjne badania właściwości smarnych olejów z dodatkami PTFE*, Tribologia, 1991, 5.

THE EXPLOATIONAL PREPARATIONS USED IN LUBRICATING OILS

Summary

The paper presents literature review concerned one the exploational preparations used in lubricating oils. Their classification and functioning was presented. Actually, the chemical interaction preparations are used the most often. In extreme working conditions of tribological systems (high pressures, velocities and temperatures, temporary lubricating lack, for example during starting) the chemical interaction preparations ensure additional and effective protection of machine s elements.