

Oleje, smary, tribologia

Jeszcze pięćdziesiąt lat temu w Polsce do smarowania wszelkich maszyn używano (z drobnymi wyjątkami) smaru ŁT4 oraz oleju maszynowego 40 lub 60. Systemy smarowania były może bardziej skomplikowane (i to nie tylko rozbryzgowe smarowanie przekładni zębatych obrabiarek), ale smarów było niewiele. Niekiedy były to pompki oleju z systemem rurek doprowadzających olej do łożyska, a w niektórych obrabiarkach i maszynach stosowano systemy centralnego smarowania. I co ważne: w innych krajach nie było wtedy dużo lepiej. Dzisiaj wygląda to zupełnie inaczej. Obecnie produkuje się ogromną ilość przeróżnych środków smarnych, często zaprojektowanych dla konkretnego węzła i konkretnych warunków pracy.

Aleksander Łukomski

Zmiany te łączą się z powstaniem tribologii, nauki o procesach zachodzących w ruchomym styku ciał stałych. To stosunkowo młoda dyscyplina nauki powstała w 1966 roku w Wielkiej Brytanii. Wtedy nazwy tribologia użyto po raz pierwszy w raporcie dla rządu o stanie techniki, szkolnictwa i badań w zakresie smarowania

maszyn. Przedtem wiedza i doświadczenie dotyczące smarowania były rozproszone w różnych dziedzinach techniki.

Oprócz ośrodków naukowych działających w obszarze tribologii, wiele rodzajów środków smarnych powstaje w koncernach zajmujących się ich produkcją. Są to zarówno typowe środki smarne powszechnego użytku, jak i środki smarne dedykowane do konkretnego rozwiązania konstrukcyjnego, węzła łożyskowego lub pary trącej w specyficznych warunkach pracy. Współcześnie opracowanych jest mnóstwo różnych olejów i smarów plastycznych dla np. temperatur pracy od $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ do nawet $+1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz dla różnorodnych obciążeń.

SMARY PLASTYCZNE

Zdecydowana większość środków smarnych powstaje na bazie oleju mineralnego lub syntetycznego, poprzez ich zagęszczanie i zastosowanie odpowiednich dodatków. Przykładowo środki o konsystencji od półpłynnej do stałej zawierają specjalne dodatki uszlachetniające, zapobiegające utlenianiu, korozji, zwiększające wytrzymałość filmu smarowego, zwiększające przyczepność smaru do powierzchni metali. Zagęszczacz może być np. glinowy – Al, barowy – Ba, wapniowy – Ca, potasowy – K, litowy – Li, sodowy – Na, ołowiowy – Pb. Cechy literowe znajdują się w oznaczeniach odpowiednich smarów. Najbardziej popularne są smary litowe oparte na 12-hydroksystearynianie litu i zagęszczaczu – mydlnym lub niemydlnym bentonicie. Oleje używane do produkcji smarów plastycznych to syntetyczne, estrowe lub silikonowe, lub też mineralne, zagęszczane polimocznikiem.

Przy dobieraniu środka smarnego bierze się pod uwagę temperaturę pracy węzła, obciążenie oraz cechy konstrukcyjne węzła (pary trącej).

Na ogół środki smarne (te najpopularniejsze) projektowane są do pracy w maksymalnej temperaturze $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. W takich warunkach wytrzymują kilka tysięcy godzin pracy. Powyżej tej temperatury zachodzą w środku smarnym niekorzystne zjawiska, jak np. utlenianie oleju bazy, i trwałość tego środka przy temperaturze $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ spada do kilkuset godzin. Im wyższa

temperatura tym trwałość smaru znacznie maleje.

Obciążenie łożyska ma również duży wpływ na trwałość środka smarnego. Wraz ze wzrostem obciążenia wzrasta temperatura pracy łożyska i zachodzą wtedy zjawiska podobne do wpływu temperatury, a dodatkowo jeszcze wzrost obciążenia obniża prędkość obrotową łożyska. Znaczący to, że w miarę wzrostu obciążenia należy zmniejszać prędkość obrotową łożyska. Należy też stosować inne rodzaje środka smarnego wyższej klasy konsystencji, np. 3 klasy. Przy dużej dynamice pracy węzła łożyskowego, np. w łożyskowaniu krążników taśmociągów w kopalni węgla brunatnego (gdzie może być nawet 100 km taśmociągu), należy stosować smary o polepszonych właściwościach. W takiej kopalni, nocny patrol jeżdżący wzdłuż taśmociągu zbiera zestawy krążników, które aż „świecą” od zatartego łożyska. Bywa, że po jednej nocy uzbiera się cała wywrotka takich krążników.

Cechy konstrukcyjne mogą dotyczyć samego łożyska np. łożysko kulkowe, wałeczkowe lub baryłkowe, ale też korpusu, jego zdolności do odprowadzania ciepła, wstępnego naprężenia łożyska lub zastosowania łożysk o powiększonym luzie. Może też mieć znaczenie wielkość łożyska, gdyż wtedy zwiększają się siły

| KLASY ŚRODKÓW SMARNYCH PLASTYCZNYCH WG NLGI | |
|--|---------------------------------|
| Klasa NLGI | Wygląd w temperaturze pokojowej |
| 000 | bardzo płynny |
| 00 | płynny |
| 0 | półpłynny |
| 1 | bardzo miękki |
| 2 | miękki |
| 3 | umiarkowanie twardy |
| 4 | twardy |
| 5 | bardzo twardy |
| 6 | ekstremalnie twardy |

Tab. 1 Orientacyjne klasy smarów plastycznych

odśrodkowe wyrzucające smar. Generalnie, dla łożysk wałeczkowych powinny być stosowane smary plastyczne o niższych klasach konsystencji, np. 0 lub 1.

Konsystencja jest odzwierciedleniem sztywności smaru plastycznego. Właściwy dobór konsystencji to taki, który sprawia, że smar pozostaje w łożysku podczas pracy, nie powodując nadmiernego tarcia. Konsystencję klasyfikuje się według skali NLGI – amerykańskiego National Lubricating Grease Institute. Orientacyjne klasy smarów plastycznych wg tej skali podano w tabeli 1.

Poradniki producentów łożysk tocznych podają wykresy i zasady doboru smarów plastycznych oraz wzory do wyliczenia ilości smaru w łożysku, jak również zasady dosmarowywania łożysk. Praktycznie w większości przypadków wolna przestrzeń w łożysku i oprawie powinna być wypełniona smarem nie więcej niż do 30÷50% objętości. Należy unikać przepełnienia łożysk smarem. Wyjątkiem mogą tu być łożyska wolnoobrotowe lub mocno narażone na działanie korozji.

W niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych dla pracy ciągłej łożysk stosuje się smarowniczki, samoczynne regulatory smaru lub centralne systemy smarowania. Mogą one obejmować także smarowanie np. prowadnic obrabiarek lub innych par trących maszyn.

SMAROWANIE OLEJEM

W wielu przypadkach stosuje się smarowanie łożysk i prowadnic olejem maszynowym. Smarowanie to jest najkorzystniejszym rozwiązaniem przy łożyskach pracujących z dużymi prędkościami granicznymi, przy dużych obciążeniach i wysokiej temperaturze. Do smarowania stosowane są wysoko rafinowane oleje mineralne i oleje syntetyczne z dodatkami lub bez, tworzące film olejowy o dużej wytrzymałości, oraz

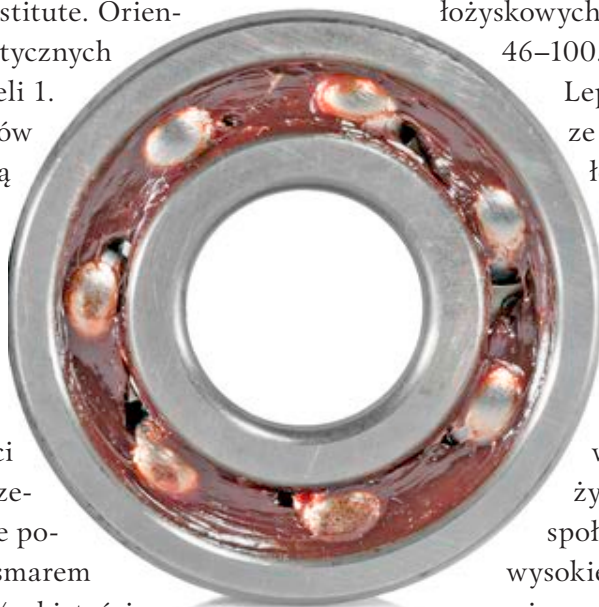
charakteryzujące się odpornością na utlenianie i korozję. Głównym parametrem charakteryzującym olej do smarowania łożysk tocznych jest lepkość kinematyczna w temperaturze 40 °C, określana za pomocą klasy lepkości według ISO 3448. Przykładowo dla węzłów łożyskowych działających w temperaturze 50-80 °C, z lekkim lub umiarkowanym obciążeniem i z prędkością obrotową w zakresie 50-100% prędkości granicznej łożyska, zaleca się stosowanie olejów łożyskowych o klasach lepkości VG 46–100.

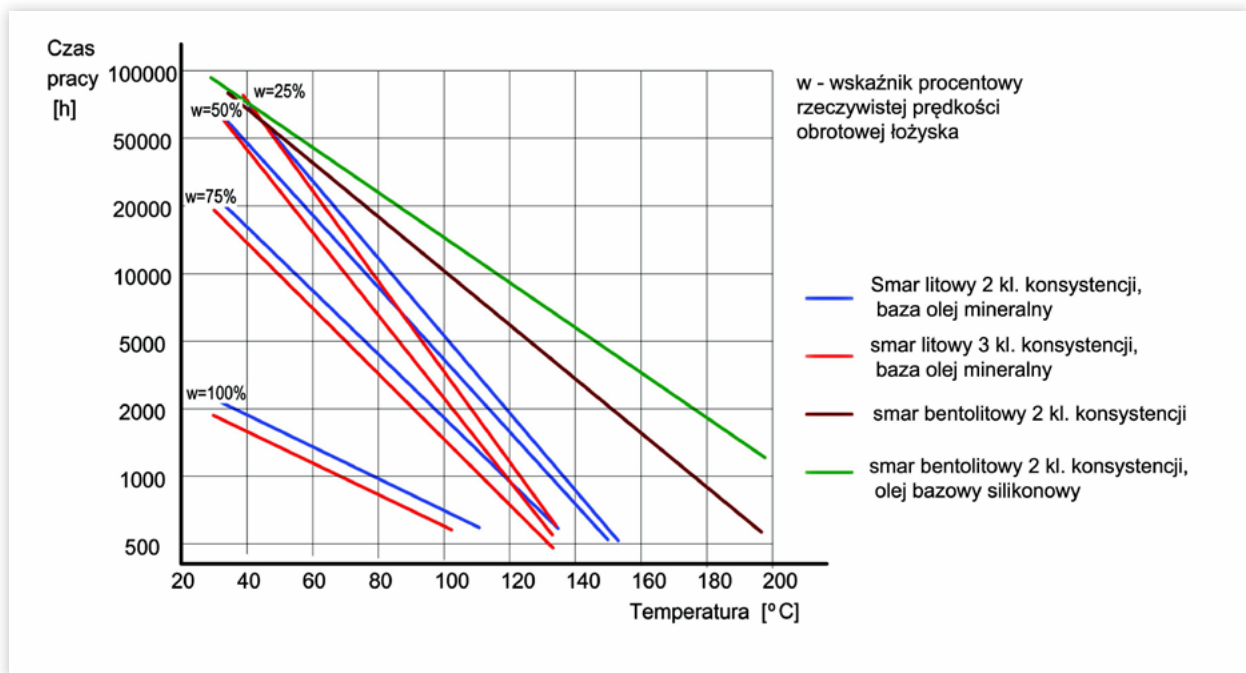
Lepkość oleju spada wraz ze wzrostem temperatury łożyska, więc ważne jest oszacowanie zakresu temperatur pracy łożyska. Przy zbyt niskiej lepkości nie utworzy się odpowiedni film olejowy, co z kolei spowoduje nadmierne zużycie i ścieranie podzespołów łożyska. Przy zbyt wysokiej lepkości, środek smarowy może powodować nadmierne tarcie i zwiększenie temperatury łożyska.

Szczegółowe zalecenia dotyczące doboru oleju dla odpowiedniego rozwiązania można znaleźć w katalogach i poradnikach producentów środków smarnych.

Smarowanie olejem może być realizowane następującymi sposobami :

- Smarowanie zanurzeniowe w kąpeli olejowej – stosowane przy niskich i średnich prędkościach. Zaleca się tu, aby poziom oleju sięgał do połowy elementu tocznego (łożyska).
- Smarowanie rozbryzgowie – polega na rozbryzgiwaniu oleju w skrzyni przekładniowej na łożyska przez koła zębate, które też muszą być smarowane, ewentualnie zamontowanie na wałkach dodatkowych elementów konstrukcyjnych służących tylko do rozbryzgiwania oleju np. wirujących łopatek lub turbiniek.
- Smarowanie z wymuszonym obiegiem oleju – gdzie olej jest dostarczany z jednej strony łożyska przy pomocy elektropompki, rozdzielacza

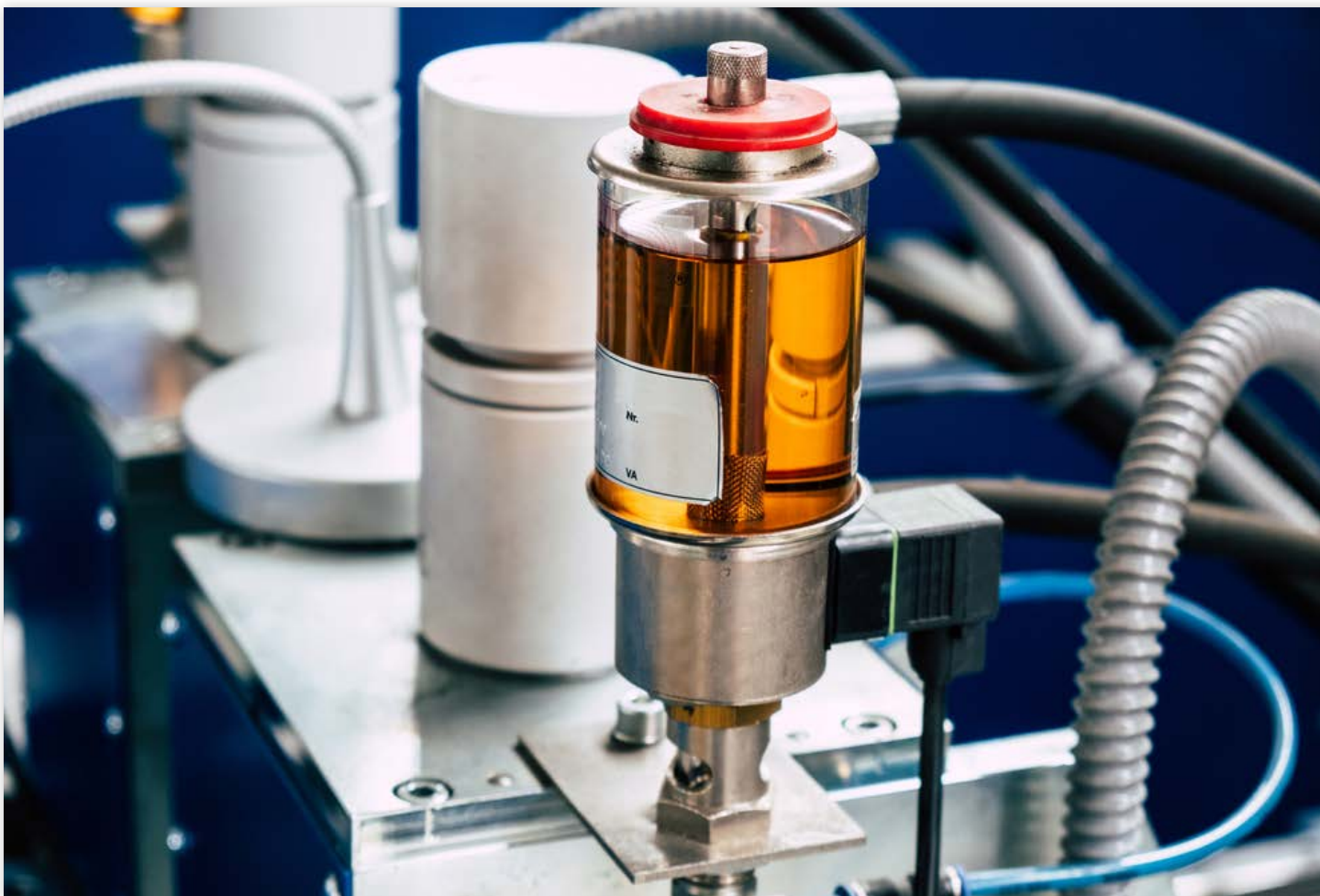




Wpływ temperatury na trwałość środka smarnego z uwzględnieniem wskaźnika prędkości obrotowej łożyska

i najczęściej kilku rurek dla różnych węzłów. Olej przepływa przez łożysko, później gromadzony jest na spodzie skrzynki przekładniowej, a następnie za pomocą elektropompki

trafia ponownie do łożyska (łożysk), z odpowiednio ukształtowanego korpusu obrabiarki lub niekiedy ze specjalnego zewnętrznego zbiornika z chłodnicą oleju.



- Smarowanie mgłą olejową – przy pomocy sprężonego powietrza. Ten sposób smarowania stosuje się do łożysk pracujących z bardzo dużymi prędkościami np. w niektórych obrabiarkach.

Są jeszcze inne sposoby, jak np. smarowanie wtryskiem oleju, które polega na rozpryskiwaniu oleju pod ciśnieniem z jednej lub kilku dysz, bezpośrednio do wnętrza łożyska. Sposób ten stosuje się w przypadku łożysk obracających się z bardzo dużymi prędkościami, np. w lotnictwie. Obecnie bardzo często stosowane jest centralne smarowanie, które składa się ze zbiornika oleju, elektropompki, sterownika, zestawu dozowników i rurek (najczęściej miedzianych), z których buduje się niekiedy bardzo rozbudowane systemy smarowania. Jest tu precyzyjnie obliczona dawka smaru plastycznego płynnego lub oleju trafiająca do łożyska w określonym czasie, ale często też na powierzchnię prowadnicy.

Warto wspomnieć także o smarowaniu hydrodynamicznym i hydrostatycznym, stosowanym w różnych maszynach (także w niektórych obrabiarkach). Smarowanie hydrodynamiczne stosowane jest do łożysk ślizgowych i polega na odpowiednim ukształtowaniu panewki łożyska w kształcie klina, poprzez który wciągany jest olej do łożyska tworząc film olejowy. Są firmy, które produkują takie łożyska i podają rodzaje olejów oraz odpowiedni ich dobór do warunków pracy.

Hydrostatyczne smarowanie łożysk ślizgowych polega na wtłaczaniu pod ciśnieniem (np. 18 bar) oleju do łożyska ślizgowego, co powoduje wymuszone powstanie filmu olejowego równego na całym obwodzie, nawet podczas rozruchu. W tym celu musi być w łożysku zachowana odpowiednia szczelina. Producenci tych łożysk dokładnie opisują jak należy zabudować łożysko i jakie oleje oraz ciśnienia stosować.

Głównymi zaletami smarowania olejem jest dobra cyrkulacja środka smarnego w łożysku, stabilność parametrów fizykochemicznych oleju w czasie, dobre chłodzenie i łatwa kontrola objętości i poziomu środka smarnego. Z tego powodu jest to najlepszy środek smarny.

Głównymi zaletami smarowania olejem jest dobra cyrkulacja środka smarnego w łożysku, stabilność parametrów fizykochemicznych oleju w czasie, dobre chłodzenie i łatwa kontrola objętości i poziomu środka smarnego. Z tego powodu jest to najlepszy środek smarny. Przy smarowaniu olejem występuje jednak konieczność stosowania dobrych uszczelnień. Występują tu też często nieustalone warunki smarowania przy rozruchu maszyny.



Okres wymiany oleju zależy od czasu użytkowania, temperatury pracy i zanieczyszczeń. Okresem smarowania określa się maksymalny czas użytkowania oleju przedstawiony w godzinach. Przykładowo, dla frezarki, w łożyskach tocznych pierwszą wymianę oleju przeprowadza się po 200 godzinach pracy obrabiarki, a następnie co 2000 godzin pracy; pod warunkiem, że frezarka jest normalnie eksploatowana, bez dłuższych przestołów.

Oleje ulegają starzeniu, co wiąże się ze zmianą ich składu chemicznego na skutek utleniania. Przeważnie w instrukcjach obsługi obrabiarek podawany jest okres, po jakim należy wymienić olej i jak tego dokonać.

Także producenci olejów podają wykresy doboru różnych olejów, w zależności od sposobu smarowania i innych warunków pracy łożysk.

DOBÓR ŚRODKA SMARNEGO

Jest tyle rodzajów środków smarnych (ponad 2000 z jednej tylko firmy produkującej środki smarne), ile różnych wymagań. Poniżej podano kilka przykładów specyficznych zastosowań smarów:

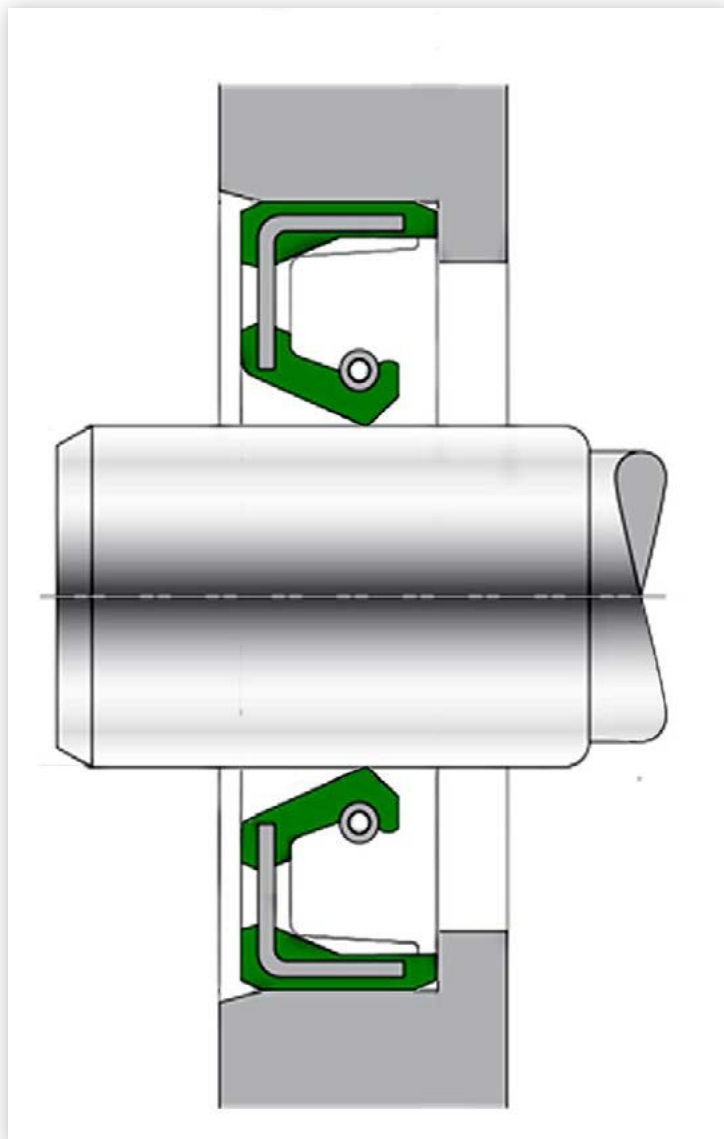
- Smary stałe do zaworów i armatur, specjalnie przystosowane do pracy z określonymi mediami, takimi jak żywność, woda pitna, gaz ziemny czy tlen.
- Smary przekładniowe, ich zalety to absorbowanie nacisku i ochrona przed zużyciem.
- Smary do łożysk tocznych i ślizgowych. Jest wiele konstrukcji łożysk o różnych geometriach i wielkościach. Każda z nich wymaga indywidualnego doboru metody i rodzaju środka smarnego, odpornego na niskie lub wysokie temperatury, do pracy przy dużych prędkościach względnych smarowanych części, do pracy w ciężkich warunkach czy też do zastosowań w przemyśle spożywczym.
- Smary do układów pneumatycznych. Napędy pneumatyczne muszą uruchamiać się niezawodnie i płynnie pracować. Smary do urządzeń pneumatycznych muszą wykazywać wzajemną tolerancję z materiałami uszczelnień.
- Smary do tworzyw sztucznych. Tworzywa sztuczne wykonane są z najrozmaitszych

materiałów i stosuje się je w wielu kombinacjach z innymi materiałami.

- Smary do styków elektrycznych. Elektryczne kontakty, przełączniki i czujniki wymagają stosowania smarów o niskiej oporności elektrycznej. Smary te muszą również chronić powierzchnie styków elektrycznych przed korozją i wytrzymać wielkie ilości przełączeń. Istnieją bardzo różne dziedziny techniki, gdzie stosowane są różne sposoby i różne środki smarne, niekiedy specyficzne i właściwe tylko dla konkretnej branży. Spośród wielu warto wspomnieć o branży spożywczej i farmaceutycznej, oraz o olejach w samochodach, gdyż w tym przypadku zdarzają się pewne niedomówienia.

Środki smarne dla przemysłu spożywczego i farmaceutycznego muszą spełniać rygorystyczne standardy międzynarodowe. Norma ISO 21469 ustala standard międzynarodowy dla środków smarnych. Wymogi higieniczne dotyczące receptur, produkcji i użycia środków smarnych, gdzie nie można wykluczyć przypadkowego kontaktu z produkowanym albo przetwarzanym produktem spożywczym, muszą być jasno uregulowane. Analizy ryzyka przeprowadzane w ramach audytów smarowania, np. identyfikacja wszystkich krytycznych punktów kontrolnych HACCP (*Hazard Analyses and Critical Control Points*) daje gwarancję właściwego postępowania także ze środkami smarnymi. W ramach dyrektyw GMP (*Good Manufacturing Practice*) istnieje np. obowiązek dokumentowania materiałów eksploatacyjnych, które są potrzebne w procesie produkcji. Te materiały muszą być produkowane w możliwych do udowodnienia kontrolowanych warunkach.

Oleje samochodowe silnikowe i przekładniowe powinny być stosowane zgodnie z zaleceniami producenta samochodów. Np. do automatycznych skrzyń biegów jest kilkanaście rodzajów oleju w kolorze czerwonym, i każdy z nich jest zalecany do innego typu skrzyni biegów. Podobnie z olejami silnikowymi. Ważny jest kod producenta oleju oraz zalecenie producenta samochodu. Rodzaj stosowanego oleju w samochodach zależy od wielu czynników, różnych dla różnych silników, np. materiału



Simering składa się z elastomerowego płaszcza zewnętrznego i pierścienia samouszczelniającego (kolor zielony), metalowego wkładu usztywniającego (stal niestopowa) i sprężyny dociskowej (kolor szary)

użytego na elementy silnika, ale też od grubości ścianek bloku silnika, czy też zdolności odprowadzania ciepła z komory spalania. Rodzaj oleju jest najczęściej precyzyjnie dobierany przez konstruktora podczas konstrukcji silnika czy przekładni i nie powinien być zamieniany. Ważne są tu, oprócz parametrów lepkości np. SAE 5W-30, SAE 10W-40, także parametry jakościowe, wg specyfikacji amerykańskiej API lub europejskiej ACEA, według których sklasyfikowane są niemal wszystkie oleje np. ACEA A3/B4, API SL/CF, ale też poszczególnych producentów samochodów np. VW 507.00, MB 229.51, BMW Longlife-01 itd.

Oprócz smarowania olejami lub smarami plastycznymi, różne mazidla są stosowane do konserwacji części maszyn lub np. kompletnych nadwozi samochodowych np. podczas dłuższego postoju lub do transportu morskiego. Są to jednak trochę inne środki, najczęściej oparte na wosku.

TRIBODIAGNOSTYKA

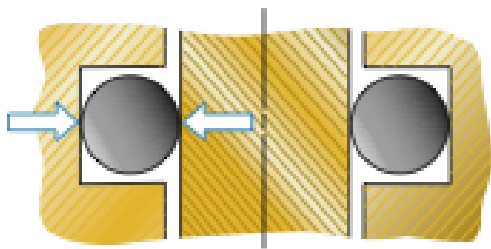
Pożyteczną funkcją tribologii jest możliwość oceny stanu maszyny, a właściwie jej niektórych elementów na podstawie stosowanego w tej maszynie środka smarnego. Interesujące są tu dwa główne obszary. W pierwszym dochodzi do określenia stanu degradacji samego smaru, w drugim – określa się na bazie zastosowanego w węzle smaru całkowite uszkodzenie lub stan techniczny eksploatowanej maszyny.

AKCESORIA DO UKŁADÓW SMAROWANIA

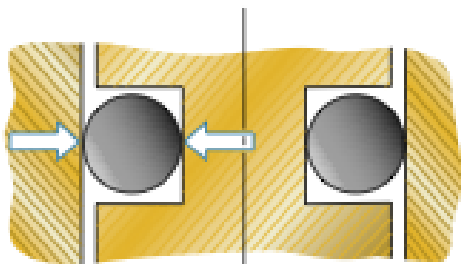
Krótkie omówienie podstawowych akcesoriów i elementów smarowania nie wyczerpuje tego zagadnienia. Należy sięgnąć do danych katalogowych producentów takich elementów, gdzie podane są jeszcze wymiary do ich zabudowy. Z pierścieni uszczelniających wałki obrotowe najpopularniejsze są pierścienie – simering. To pierścienie o specjal-

nej budowie, gumowo-metalowej, najczęściej ze sprężynką dociskową na obwodzie. Jest to bardzo skuteczne uszczelnienie do pewnych określonych prędkości obrotowych i ciśnień. Istnieje szereg różnych pierścieni o różnych parametrach, lecz podobnej budowie. Niekiedy stosuje się po dwa zblokowane simeringi, dla lepszego uszczelnienia lub w układzie przeciwnym, dla uszczelnienia też skrzynki przekładniowej przed dostawaniem się do niej np. intensywnie stosowanego chłodziwa lub innych zanieczyszczeń, w zależności od środowiska, w którym pracuje uszczelka. Często stosowany jest pierścień uszczelniający typu O-ring. Służy

Radial Sealing Applications

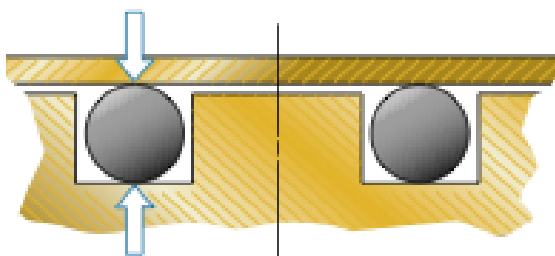


Rod Seal



Piston (Bore) Seal

Axial Sealing Applications



Face Seal

Pierścienie O-ring f-my Minnesota Rubber & Plastics USA. Różne sposoby osadzenia pierścienia.

on w zasadzie do uszczelnień stacjonarnych – nieruchomych części maszyn, np. wszelkiego rodzaju okrągłych pokryw. Jednak zdarzają się O-ringi (np. f-my Minnesota), które służą do uszczelnienia ruchu wzdłużnego, np. w jednostkach gwinciarских, gdzie tuleja z wrzecionem wysuwa się w miarę nacinania gwintu. Pierścień ten wykonany jest ze sklejonego sznurka gumowego tak, że może się toczyć w rowku uszczelniającym. Normalne O-ringi nie mają takiej

możliwości, gdyż wykonywane są jako wypraska z płyty gumowej i nie mogą się obracać względem osi torusa.

Są jeszcze inne pierścienie uszczelniające np. V-ring. Dla większych szybkości obrotowych stosowane są różnego rodzaju uszczelnienia labiryntowe bezstykowe, a także uszczelnienia specjalne odrzutnikowe – odśrodkowe. Uszczelnianie korpusów pomiędzy różnymi ich częściami wykonywane jest przy pomocy sznurka gumowego, umieszczonego w specjalnym rowku. Są różne wielkości sznurków i ich kształtów; sznur musi być on umieszczony w odpowiednim dla niego rowku, wykonanym w jednej z części korpusu. Istnieją jeszcze pierścienie zgarniająca (tzw. zgarniacze), stosowane zarówno na wałkach (zwłaszcza z przesuwem wzdłużnym), jak i na wszelkiego rodzaju przewodnicach okrągłych, ale też prostokątnych, lub o innych kształtach. Niektóre zgarniacze należy wykonać samodzielnie, kiedy przewodnice mają skomplikowane lub nietypowe kształty. Wykonuje się je z gumy i blaszek miedzianych. Bardzo często ze zgarniaczami montuje się osłony przewodnic z blachy lub materiałów elastycznych, w postaci składającej się podczas ruchu harmonijki.

W układach smarowania olejowego skrzynek przekładniowych (reduktorów, a także multiplikatorów) konieczny jest korek wlewu oleju z otworkiem odpowietrzającym, np. o średnicy 1 mm. Korek spustu oleju powinien być wyposażony w mały magnes do wychwytywania opiłków. W komplecie jest też wskaźnik poziomu oleju, na którym zaznaczone są: maksymalny, nominalny i minimalny poziom oleju. Dla smarów plastycznych stosowane są smarowniczki o różnych kształtach, smarownice pneumatyczne, towotnice itp.

Tribologia, mimo że jest młodą nauką spowodowała wielką zmianę w mechanice. Ogromny postęp w konstrukcji środków smarnych doprowadził do zwiększenia trwałości wielu węzłów i znacznego wydłużenia resursu maszyn.

Aleksander Łukomski