

PODSTAWY TECHNIKI SMAROWNICZEJ



Pod pojęciem smarowania, powszechnie rozumie się proces polegający na wprowadzeniu substancji smarującej pomiędzy współpracujące powierzchnie, dalej zwane skojarzeniem trącym¹, w celu zmniejszenia oporów tarcia i procesów zużycia. Znajomość praw, jakie obowiązują w procesie smarowania pozwala na konstruowanie maszyn zużywających minimalną ilość energii podczas pracy i odznaczających się niezawodnością i trwałością.

Jedną z dziedzin działalności ludzkiej, w której smarowanie znalazło szerokie zastosowanie, są maszyny. Powszechnie przyjmuje się, że elementami konstrukcyjnymi maszyn są: urządzenia smarowe i środki smarne. Sposób doprowadzenia środka smarnego do skojarzenia trącego jest określany jako technika smarowania lub technika smarownicza.

2.1 Tarcie

Wzajemnemu ruchowi dwóch stykających się ciał towarzyszą opory tarcia, których miarą jest siła tarcia **T**. Tarcie występujące w maszynach, w większości przypadków jest zjawiskiem niepożądanym w niektórych jednak konstrukcjach (hamulce, sprzęgła, napędy linowe, transportery, itp.) tarcie jest wykorzystywane do przeciwdziałania ruchowi lub zmiany prędkości względnej stykających się ciał.

Tarcie – zjawisko fizyczne, przeciwdziałające względnemu ruchowi dwóch stykających się ciał, w rezultacie którego powstają opory tarcia, wyrażane siłami tarcia i mają miejsce procesy zużycia współpracujących powierzchni skojarzenia trącego.

Opory tarcia – miara tarcia określana jako siła styczna, powstająca podczas przemieszczania współpracujących powierzchni skojarzenia trącego, względem siebie.

Skojarzenie trące – styk współpracujących powierzchni elementów konstrukcyjnych maszyny.

Z naukowego punktu widzenia procesem smarowania zajmuje się trybologia (zwana też tribologią²), a technicznymi rozwiązaniami w tej dziedzinie trybotechnika (tribotechnika).

2.1.1 Tarcie suche

Jedną z form tarcia jest tarcie suche.

Tarcie suche – tarcie występujące w skojarzeniu trącym, gdy współpracujące powierzchnie nie są rozdzielone całkowicie lub częściowo środkiem smarnym.

Tarcie suche jest opisane prawami, dla których wyjaśnienie jest ujmowane następującymi teoriami:

Tomilsona – tarcie jest rezultatem wzajemnego oddziaływania sił międzycząsteczkowych, jakie występują na trących się powierzchniach;

Dieragina – tarcie jest wynikiem pokonywania nierówności na powierzchniach trących ciał;

Kragielskiego – tarcie jest wynikiem odkształcania materiału (spęszczanie spotęgowane powstawaniem fal odkształceniowych) w pobliżu powierzchni;

Bowdena-Tabora – tarcie jest spowodowane powstawaniem i zrywaniem mikrosypoin, występujących w punktach styku mikro nierówności.

Ze względu na ruch wyróżnia się: tarcie kinetyczne (ruchowe): ślizgowe i toczne oraz tarcie statyczne (spoczynkowe).

Tarcie kinetyczne (ruchowe) – tarcie występujące w skojarzeniu trącym podczas względnego przemieszczania się dwóch różnych ciał, jako tzw. tarcie zewnętrzne lub różnych części jednego ciała, jako tzw. tarcie wewnętrzne.

W przypadku tarcia kinetycznego wyróżnia się tarcie ślizgowe i tarcie toczne.

Tarcie ślizgowe – tarcie występujące w skojarzeniu trącym wówczas, gdy prędkość względna dwóch stykających się ciał jest różna od zera.

Tarcie ślizgowe, zwane jest również tarcie posuwistym. Tarcie ślizgowe jest powszechnie spotykane w wielu mechanizmach maszyn: łożyskach ślizgowych, przekładniach zębatych, przekładniach pasowych, hamulcach tarczowych, niektórych typach sprzęgieł, podczas obróbki metali skrawaniem i wielu innych powszechnie znanych przypadkach.

Tarcie toczne – tarcie występujące w skojarzeniu trącym wówczas, gdy jedno ze stykających się ciał toczy się po powierzchni innego, a prędkość względna obu ciał w punkcie styku jest równa zero. Ruch względny ciała toczącego się może być określony jako obrót dookoła kolejnych punktów styku.

Tarcie toczne ma miejsce w przypadku, gdy jedno ze stykających się ciał toczy się po płaskiej lub krzywej powierzchni innego ciała bez poślizgu. Przykładem może być tarcie występujące podczas toczenia się kuli lub walca po płaskiej lub krzywej powierzchni. W praktyce eksploatacyjnej tarcie toczne występuje w wielu przypadkach, np.:

- ruch koła pojazdu po powierzchni,
- toczenie się kulek lub wałeczków po bieżni łożyska tocznego,
- ruch walców po powierzchni walcowanej blachy,
- ruch koła pasowego względem pasa transmisyjnego itp.

¹ Przyjęty przez autorów termin „skojarzenie trące” w innych publikacjach jest określane jako: „węzeł tarcia”, „węzeł trybologiczny”.

² W niektórych publikacjach słowa „trybologia” i „trybotechnika” są pisane przez „i”: „tribologia”, „tribotechnika” obie pisownie mają swoje uzasadnienia. Autorzy w niniejszej publikacji słowa te piszą przez „y”; różnica pisowni, z merytorycznego punktu widzenia, nie ma żadnego znaczenia.

Tarcie statyczne (spoczynkowe) – tarcie występujące w skojarzeniu trącym wówczas, gdy dwa stykające się ciała są względem siebie w spoczynku.

Ze względu na lokalizację wyróżnia się tarcie zewnętrzne oraz wewnętrzne.

Tarcie wewnętrzne przeciwdziała odkształceniom materiału, jest przyczyną tzw. histerezy sprężystej, zmęczenia materiałów, tłumienia drgań, itp.

2.1.2 Tarcie płynne

Tarcie wewnętrzne niekiedy jest utożsamiane z tarcem płynnym, występującym w obrębie płynu (gazu lub cieczy) i przeciwdziałającym wzajemnemu przemieszczaniu się „warstw” płynu.

Tarcie płynne – tarcie występujące w skojarzeniu trącym, gdy współpracujące powierzchnie skojarzenia trącego są całkowicie rozdzielone przez środek smarny.

2.1.3 Tarcie graniczne

W przypadku, gdy między powierzchniami trących ciał znajduje się warstwa środka smarnego, zbyt cienka by wytworzyć tarcie płynne, wówczas ma miejsce tarcie graniczne. W tym przypadku, warstewka środka smarnego jest cieńsza niż suma wysokości nierówności, na trących powierzchniach.

Tarcie graniczne – tarcie występujące w skojarzeniu trącym, gdy współpracujące powierzchnie skojarzenia trącego są częściowo oddzielone od siebie środkiem smarnym, a stykają się ze sobą tylko nierównościami.

Niekiedy tarcie graniczne jest nazywane tarcem półsuchym.

W procesach eksploatacji maszyn dopuszcza się jedynie tarcie płynne i tarcie graniczne. Tarcie suche jest zjawiskiem pożądanym tylko w szczególnych przypadkach (hamulce tarczowe, sprężgła cierne itp.).

Klasyfikację rodzajów tarcia przedstawiono w tabeli 2.1, a na rys. 2.1 przedstawiono schematy obrazujące podstawowe rodzaje tarcia.

Od rodzaju tarcia i przyłożonego obciążenia zależy zużycie współpracujących powierzchni skojarzenia trącego, co ilustruje wykres przedstawiony na rys. 2.2.

2.1.4 Współczynnik tarcia

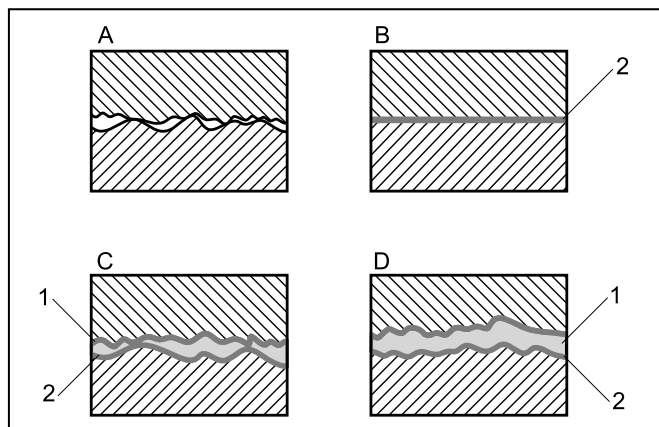
Tarcie jest charakteryzowane parametrem zwanym współczynnikiem tarcia.

Współczynnik tarcia (μ) – liczba bezwymiarowa, określana jako stosunek wartości siły tarcia (**T**) do wartości siły normalnej (**N**) do powierzchni, wyrażana zależnością (2.1):

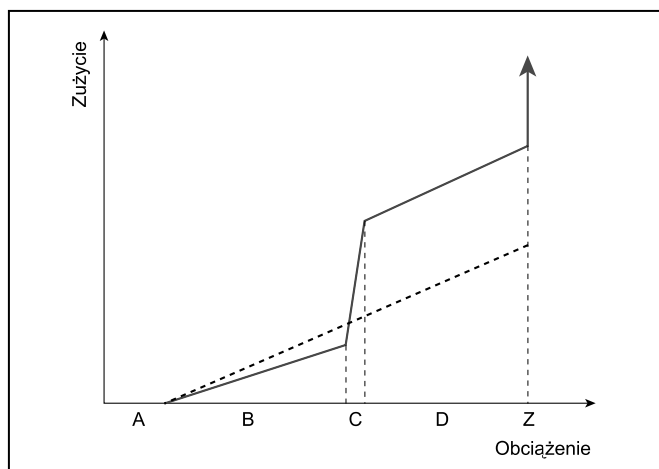
$$\mu = \frac{T}{N} \quad (2.1)$$

TABELA 2.1 Klasyfikacja rodzajów tarcia, ze względu na ruch i lokalizację (na podstawie Hebby i Wachala)

Kryterium podziału	Rodzaje tarcia		
Ruch	Tarcie spoczynkowe		
	Tarcie kinetyczne	Tarcie ślizgowe	
		Tarcie toczne	
Lokalizacja	Zewnętrzne	Tarcie suche	
	Wewnętrzne	W płynach	Tarcie płynne
			Tarcie graniczne
		W ciałach stałych	Odkształcenia plastyczne
Odkształcenia sprężyste			



Rys. 2.1 Rodzaje tarcia
A – tarcie suche; B – tarcie graniczne; C – tarcie półsuche; D – tarcie płynne
1 – środek smarny, 2 – film smarny



Rys. 2.2 Zależność zużycia od rodzaju tarcia i obciążenia (linia ciągła)
A – smarowanie hydrodynamiczne, B – smarowanie graniczne lub elastohydrodynamiczne, obszar zużycia adhezyjnego, C – obszar zacierania, D – zatarcie, Z – zespawanie; linią przerywaną oznaczono linię Hertza

Wyróżnia się współczynnik tarcia spoczynkowego, gdy stykające się powierzchnie mają wzajemną prędkość $v = 0$ oraz współczynnik tarcia dynamicznego, gdy ta prędkość jest różna od zera.

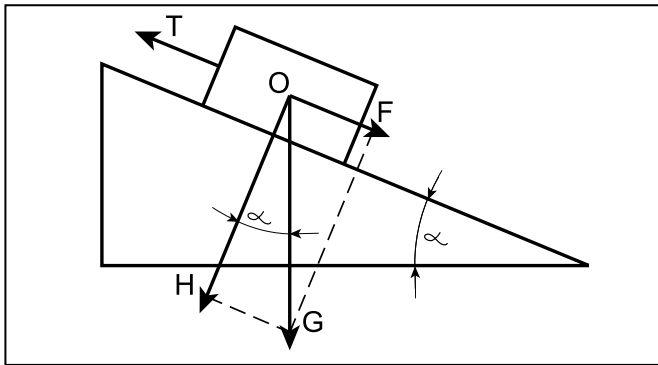
Współczynnik tarcia statycznego jest wielkością mierzalną. Obrazuje to następujący klasyczny model pomiaru (rys. 2.3), oparty o zasadę równi pochyłej. Klocek leżący na równi pochyłej, wywierający na jej powierzchnię siłę **G** jest w spoczynku, dopóki kąt α jest mniejszy od pewnego kąta granicznego. Zsuwaniu się klocka przeciwdziałają opory tarcia, których wypadkową jest siła tarcia **T**. Dla określonego kąta, na sile **G** można zbudować równoległobok sił O, F, G, H. Uwzględniając zasady geometrii, zdefiniowany wcześniej współczynnik tarcia można opisać wzorem (2.2):

$$\mu = \frac{T}{N} = \frac{G \sin \alpha}{G \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha \quad (2.2)$$

Równowaga sił na równi pochyłej będzie miała miejsce dotąd, dopóki kąt α nie przekroczy pewnej wartości granicznej α_g , po osiągnięciu której klocek zacznie się zsuwać. Współczynnik tarcia statycznego jest określony wzorem (2.3):

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha_g \quad (2.3)$$

W zależności od rodzaju występującego tarcia, wyróżnia się współczynnik tarcia ślizgowego, tocznego i statycznego.



Rys. 2.3 Model pomiaru współczynnika tarcia

2.2 Podstawowe rodzaje skojarzeń trzących

Skojarzenia trące są klasyfikowane na wiele sposobów. Podstawowa klasyfikacja, jest oparta o tzw. geometrię styku, wyróżnia się:

- styk punktowy,
- styk liniowy,
- styk powierzchniowy.

Styk punktowy występuje wówczas, gdy dwa współpracujące elementy skojarzenia trącego stykają się tylko w jednym punkcie. Przypadek taki ma np. miejsce, gdy skojarzeniem trącym jest kula i płaszczyzna lub dwie kule lub dwa skrzyżowane walce (przekładnia palcowa) itp.

Styk liniowy występuje wówczas, gdy stykiem dwóch współpracujących elementów skojarzenia trącego jest linia. Może to być linia prosta, np. w przypadku styku walca z powierzchnią, dwóch walców, zębów przekładni walcowych o zębach prostych, w niektórych przypadkach, styk może być linią krzywą. Przypadki takie występują w różnego rodzaju przekładniach zębatych.

Styk powierzchniowy występuje wówczas, gdy stykiem dwóch współpracujących elementów skojarzenia trącego jest powierzchnia. Przykładem występowania takiego styku może być sprzęgło tarczowe, przekładnia pasowa oraz prowadnice, suwaki itp.

Od rodzaju styku zależą naciski jednostkowe. Przy jednakowej sile oddziaływującej prostopadle na dwa współpracujące elementy, największe siły jednostkowe występują w styku punktowym, a najmniejsze w styku powierzchniowym.

Są to przykłady teoretyczne. W praktyce eksploatacyjnej zawsze występuje styk powierzchniowy – punkt ma określony promień, a linia określoną grubość.

2.3 Smarowanie

Tarcie powoduje straty energii, wzrost temperatury, zużywanie się powierzchni. W celu przeciwdziałania negatywnym skutkom tarcia stosuje się smarowanie substancjami zwanymi środkami smarnymi.

W powszechnym rozumieniu, pod pojęciem smarowania rozumie się wprowadzanie substancji smarującej pomiędzy współpracujące powierzchnie skojarzenia trącego. Jest to czynność wykonywana przez urządzenie smarowe lub człowieka.

Urządzenie smarowe – element konstrukcyjny maszyny służący do doprowadzania środka smarnego do skojarzenia trącego.

Z technicznego punktu widzenia pod pojęciem smarowania rozumie się efekt obecności środka smarnego (smaru) w skojarzeniu trącym. Oczekiwany efektem smarowania jest zmniejszenie współczynnika tarcia oraz spowolnienie procesów zużywania współpracujących powierzchni skojarzenia trącego.

Smarowanie ma na celu zastąpienie zewnętrznego tarcia suchego tarcie wewnętrznym środka smarnego. Skutkiem smarowania

jest zmniejszenie oporów tarcia i zużywania elementów konstrukcyjnych maszyn. Ważnym zadaniem smarowania jest zabezpieczenie przed zacieraniem.

Częścią maszyny, której zadaniem jest doprowadzenie środka smarnego do skojarzenia trącego, jest urządzenie smarowe. Urządzenie smarowe może również być odrębnym elementem maszyny, używanym okresowo do podawania środka smarnego do skojarzenia trącego.

Sposób doprowadzenia środka smarnego do skojarzenia trącego jest określany jako technika smarowania.

Technika smarowania – sposób doprowadzenia środka smarnego do skojarzenia trącego, przy zastosowaniu urządzeń smarowych.

Substancją, która jest wprowadzana do skojarzenia trącego w celu zmniejszenia tarcia i przeciwdziałania zacieraniu, jest środek smarny często nazywany smarem. Jako środki smarne są stosowane:

- gazy,
- ciecz: oleje smarne, emulsje chłodząco-smarujące,
- substancje o konsystencji żelu, np. smary plastyczne,
- substancje stałe: grafit, disiarczek molibdenu, azotek boru itp., a także niektóre metale (np. miedź, złoto).

Środek smarny, smar – substancja wprowadzona pomiędzy dwie współpracujące powierzchnie skojarzenia trącego, w celu zmniejszenia oporów tarcia.

Jako środek smarny jest stosowane wiele substancji o różnych właściwościach. Podstawową cechą charakteryzującą substancje smarne jest smarność.

Smarność – zdolność środka smarnego do zmniejszania tarcia inaczej niż poprzez zmianę lepkości.

Pośród dwóch substancji o jednakowej lepkości, w tych samych warunkach smarowania, lepszą smarność ma ta substancja, która bardziej zmniejszy tarcie występujące w skojarzeniu trącym. Smarność nie jest właściwością materii, ponieważ musi być odnieszona do właściwości i warunków pracy skojarzenia trącego:

- geometrii styku,
- nacisków jednostkowych,
- prędkości przemieszczania współpracujących powierzchni,
- temperatury,
- właściwości materiału, z którego są wykonane współpracujące powierzchnie skojarzenia trącego,
- ciśnienia,
- składu chemicznego atmosfery w otoczeniu skojarzenia trącego.

Smarność jest także określana jako właściwość substancji smarującej, charakteryzującej jej zachowanie w warunkach tarcia granicznego.

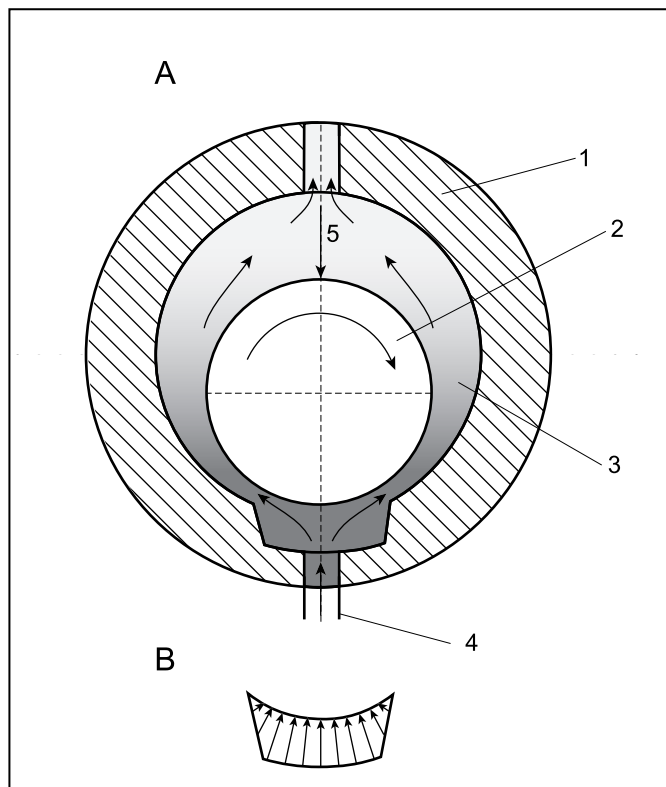
2.4 Procesy smarowania

Celem smarowania jest uzyskanie tarcia płynnego. Może to być osiągnięte poprzez stworzenie warunków do smarowania: hydrostatycznego, hydrodynamicznego lub hybrydowego, łączącego oba wcześniej wymienione sposoby. Wyróżnia się również tzw. smarowanie elastohydrodynamiczne.

2.4.1 Smarowanie hydrostatyczne

Smarowanie hydrostatyczne polega na wytworzeniu w skojarzeniu trącym, przy użyciu urządzeń zewnętrznych (np. pomp), ciśnienia środka smarnego, które rozdzieli obie smarowane powierzchnie w taki sposób, że między nimi będzie występować tarcie płynne. Zasadę smarowania hydrostatycznego, na przykładzie smarowania poprzecznego łożyska ślizgowego, przedstawiono na rys. 2.4.

Zrównoważenie sił wypadkowych, działających na wał oraz sił



Rys. 2.4 Model smarowania hydrostatycznego poprzecznego łożyska ślizgowego
A – przekrój poprzeczny łożyska ślizgowego, B – rozkład ciśnień w łożysku wywołany czynnikami zewnętrznymi; 1 – panew łożyska, 2 – wał łożyska, 3 – środek smarny, 4 – wlot środka smarnego, 5 – wylot środka smarnego

wyporu podnosi wał, co powoduje że między wałem 1 i panwią 2 ma miejsce tarcie płynne.

Smarowanie hydrostatyczne najczęściej jest stosowane podczas rozruchu maszyn, których skojarzenia trące są bardzo silnie

obciążone. Zapobiega to zużyciu powierzchni trących wału i panwi w początkowym okresie pracy.

Smarowanie hydrostatyczne występuje w różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych, a także w warunkach naturalnych. Przykładem smarowania hydrostatycznego jest tarcie płynne, jakie ma miejsce między płynącą krą i dnem rzeki.

2.4.2 Smarowanie hydrodynamiczne

Zasada smarowania hydrodynamicznego polega na rozdeleniu współpracujących powierzchni skojarzenia trącego samoistnie powstającym klinem smarowym, w którym ciśnienie równoważy istniejące siły (obciążenia). Zasadę smarowania hydrodynamicznego, na przykładzie poprzecznego łożyska ślizgowego, przedstawiono na rys. 2.5.

W stanie spoczynkowym (rys. 2.5A) wał leży na panwi, zamurzony w środku smarnym. W tym położeniu występuje tarcie spoczynkowe. Siły wyporu hydrostatycznego nie równoważą sił ciężkości. Początkowy obrót wału (rys. 2.5B) powoduje powstanie klina smarującego. Następuje uniesienie wału z jednoczesnym przemieszczeniem środka obrotu wału, na jedną ze ścian panwi. Dalszy obrót wału powoduje przemieszczenie klina smarującego, zgodnie z kierunkiem obrotu wału i jednoczesne przemieszczenie środka obrotu na drugą ze ścian panwi (rys. 2.5C). Przy pewnych obrotach wału, klin smarujący rozłoży się w miarę równomiernie tak, że obracający się wał nie będzie dotykać żadnej ze ścian panwi (rys. 2.5D).

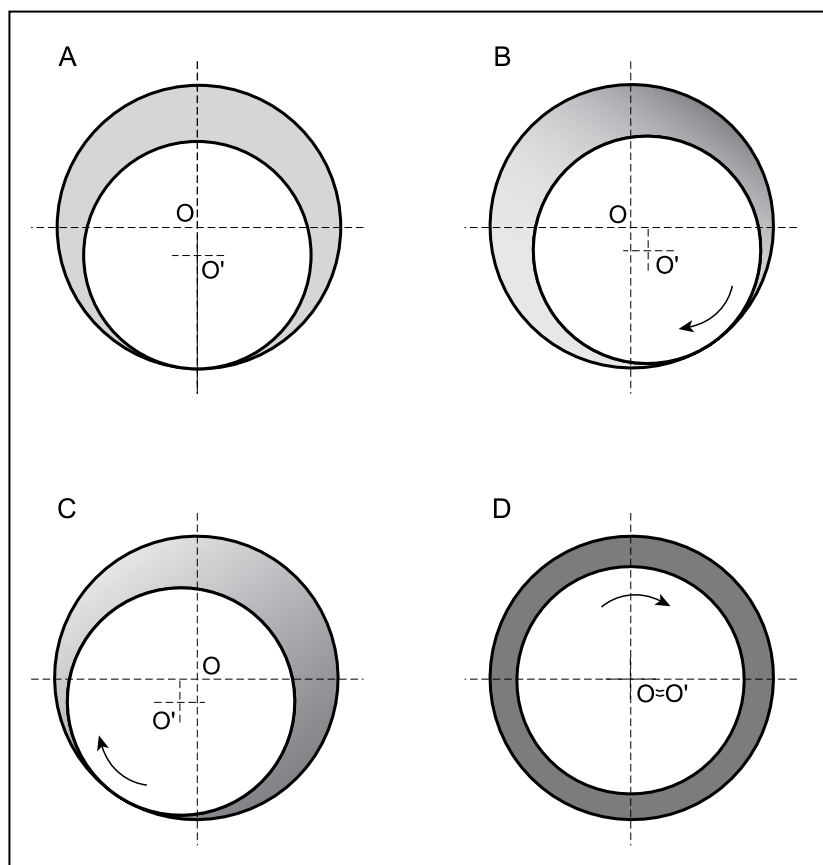
Model smarowania hydrodynamicznego poprzecznego łożyska ślizgowego, z zaznaczeniem sił występujących podczas obrotu wału, przedstawia rys. 2.6. Na rys. zaznaczono siły występujące w poprzecznym łożysku ślizgowym we wzdłużnym przekroju panwi (rys. 2.6A) i w przekroju poprzecznym (rys. 2.6B). W wyniku działania siły wyporu klina smarującego, wał zostaje uniesiony. Środek obrotu wału tylko nieznacznie jest przemieszczony względem geometrycznej osi panwi.

W smarowaniu hydrodynamicznym siła wyporu, unosząca wał łożyska, powstaje samoistnie w rezultacie ruchu współpracujących wzajemnie przemieszczających się powierzchni wału i panwi.

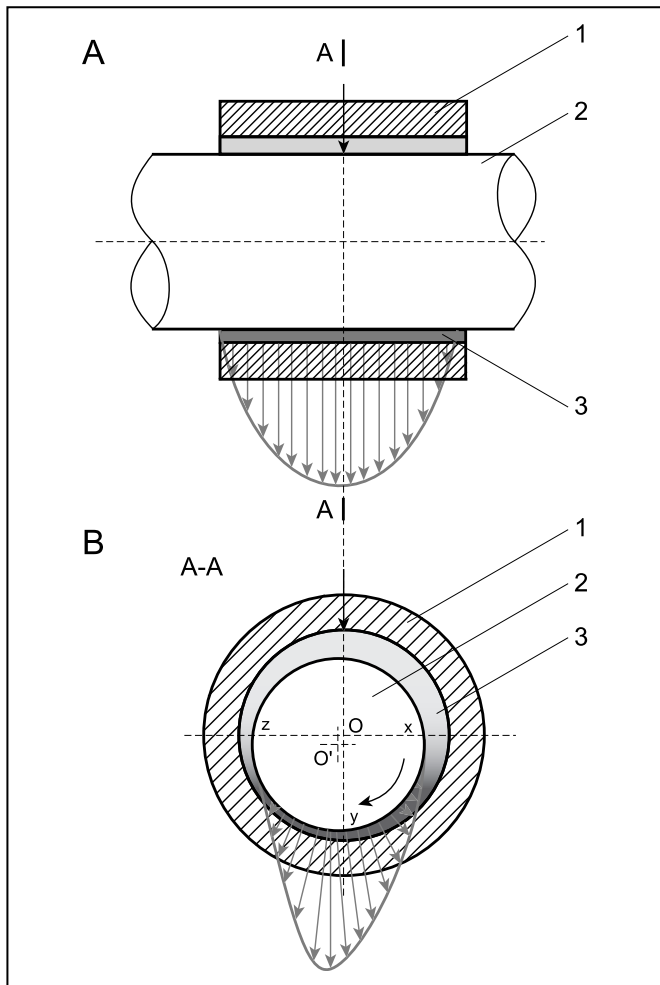
Przedstawiona zasada smarowania hydrodynamicznego dobrze tłumaczy fakt, że wał zużywa się na całej powierzchni walca, natomiast panew zużywa się tylko na powierzchni ograniczonej odcinkiem X-Y-Z. Jest to istotna wada tego rodzaju smarowania. Mimo tej wady, ze względu na prostotę rozwiązań konstrukcyjnych, jest to najczęściej stosowany sposób smarowania. w szczególnych przypadkach jest stosowane tzw. smarowanie hybrydowe. Smarowanie hybrydowe polega na jednoczesnym smarowaniu hydrostatycznym i hydrodynamicznym. Łączy ono zalety obu rodzajów smarowania, jednak w tym przypadku, rozwiązania konstrukcyjne są bardziej skomplikowane. W niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych maszyn, smarowanie hybrydowe jest stosowane tylko w okresie rozruchu maszyny, następnie po osiągnięciu warunków smarowania hydrodynamicznego, urządzenia zapewniające smarowanie hydrostatyczne są wyłączane.

2.4.3 Smarowanie elastohydrodynamiczne

W niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych skojarzeń trących, np. w przekładniach zębatych, niektórych typach łożysk tocznych i ślizgowych, na krzywkach itp. może mieć miejsce specjalny proces smarowania, zwany smarowaniem elastohydrodynamicznym. W odpowiednio ukształtowanym skojarzeniu trącym powstaje wysokie ciśnienie, wskutek tego lepkość środka smarnego zwiększa



Rys. 2.5 Tworzenie klina smarującego w poprzecznym łożysku ślizgowym
A – położenie spoczynkowe, B, C – kolejne fazy rozruchu; tworzenie się klina smarującego, D – faza ustabilizowanej pracy łożyska



Rys. 2.6 Model smarowania hydrodynamicznego poprzecznego łożyska ślizgowego
A – przekrój wzdłużny łożyska ślizgowego, B – przekrój poprzeczny łożyska ślizgowego, 1 – panew łożyska, 2 – wał łożyska, 3 – środek smarny

się, a powierzchnie trące odkształcają się sprężycie (tzw. kontakt Hertza). Jest to powodem rozdzielenia smarowanych powierzchni skojarzenia trącego. Model smarowania elastohydrodynamicznego, na przykładzie toczących się po sobie walców, przedstawia rys. 2.7A. Rysunek 2.7B przedstawia rozkład ciśnień środka smarnego w takim skojarzeniu trącym.

2.4.4 Wykres Stribeck'a

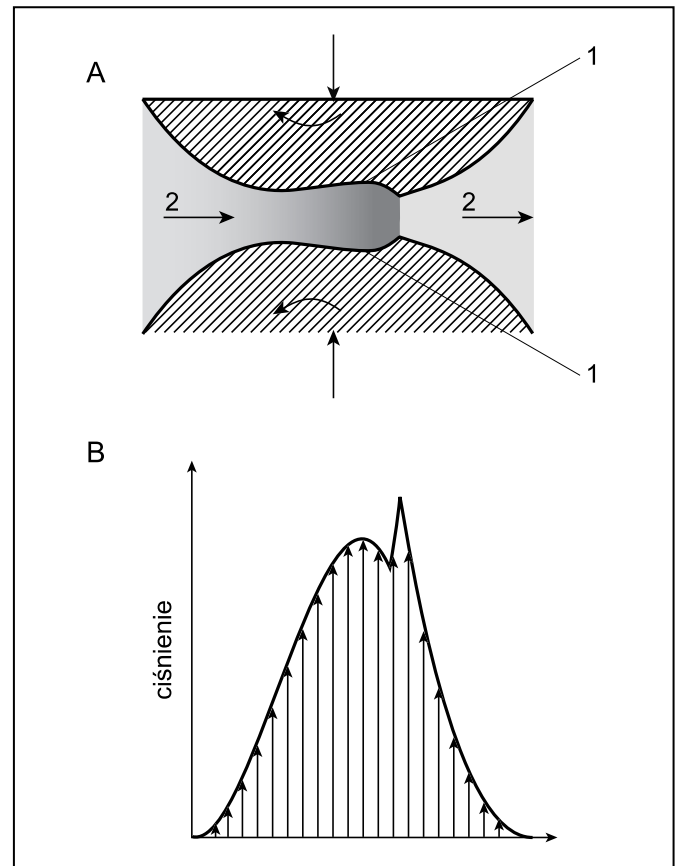
Czynnikami istotnie wpływającymi na zużycie ściernie współpracujących powierzchni skojarzenia trącego są:

- lepkość dynamiczna środka smarnego (η),
- grubość filmu smarującego (h),
- prędkość wzajemnego przemieszczania się współpracujących powierzchni skojarzenia trącego (v),
- obciążenie (P),
- chropowatość powierzchni (R).

Wzajemne powiązanie tych parametrów przedstawia rys. 2.8.

Syntetyczne ujęcie zależności między wymienionymi parametrami opisuje tzw. wykres Stribeck'a, przedstawiony na rys. 2.9. Część A tego rysunku jest krzywą określającą grubość filmu olejowego w skojarzeniu trącym. Przebieg tej krzywej jest dowolny. W tym przypadku dobrany jest w taki sposób, aby uwidocznili grubość filmu olejowego h oraz wygodnie przenieść dane o grubości filmu z krzywej A na krzywą na rys. B.

Wykres Stribeck'a przedstawia zależność współ-



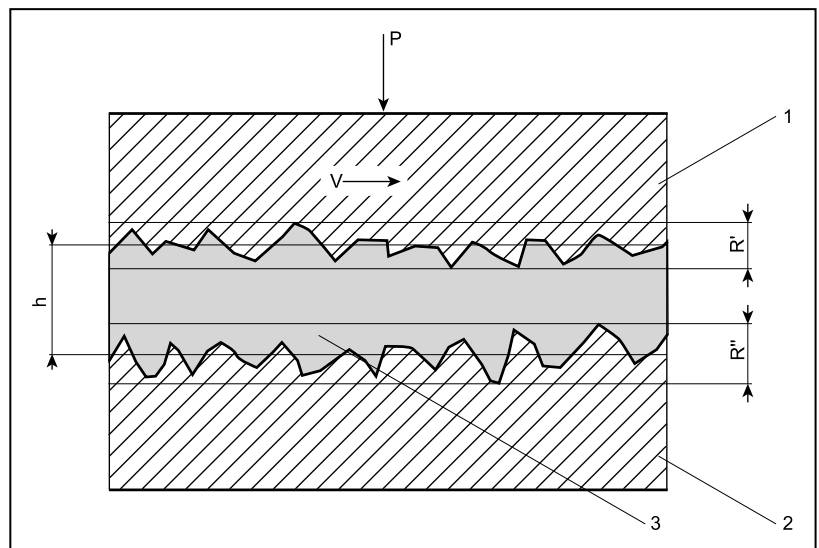
Rys. 2.7 Model smarowania elastohydrodynamicznego na przykładzie dwóch toczących się po sobie walców
A – obracające się walce, B – rozkład ciśnienia w skojarzeniu trącym, 1 – miejsca sprężystego odkształcenia warstw wierzchnich, 2 – środek smarny

czynnika tarcia μ od zmiennej nazywanej liczbą Hersey'a [He], określoną wzorem (2.4):

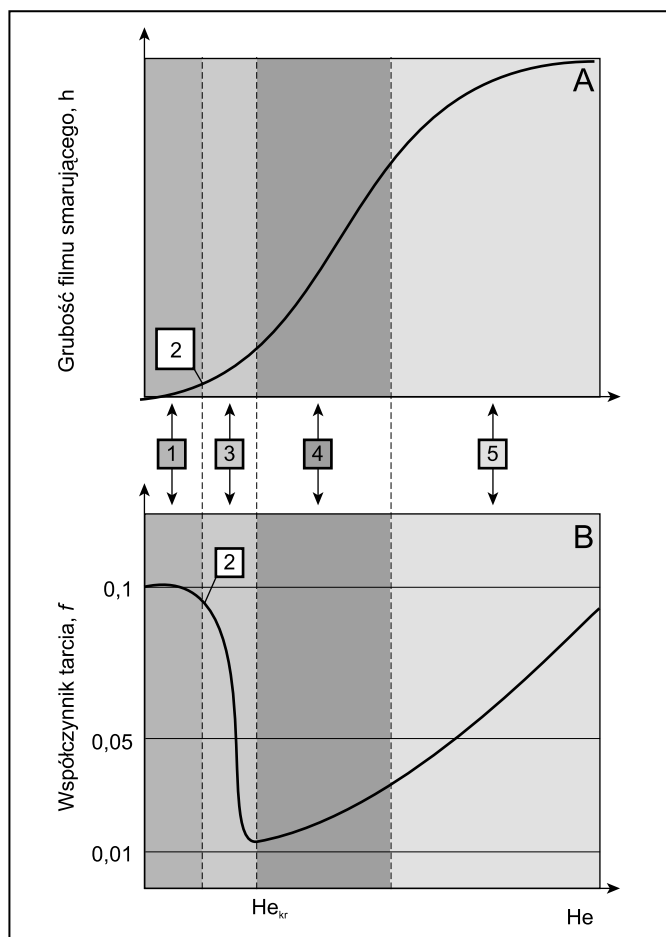
$$He = \frac{\eta \cdot v}{P} \quad (2.4)$$

gdzie:

- η – lepkość dynamiczna środka smarnego,
- v – prędkość przemieszczania się powierzchni skojarzenia trącego,
- P – obciążenie.



Rys. 2.8 Parametry wpływające na współczynnik tarcia w skojarzeniu trącym
1, 2 – przemieszczające się elementy skojarzenia trącego, 3 – środek smarny



Rys. 2.9 Wykres Stribecka obrazujący zależność współczynnika tarcia od parametrów zdefiniowanych na rys. 2.8
A – grubość filmu smarującego, B – zależność współczynnika tarcia od liczby Herseya [He]

Na rys. 2.9 A zaznaczono charakterystyczne obszary tarcia i smarowania odniesione do grubości filmu smarującego (h) oraz chropowatości powierzchni (R):

- [1] – tarcie suche ($h \rightarrow 0$),
- [2] – tarcie graniczne ($h \leq R$),
- [3] – tarcie mieszane ($h \approx R$),
- [4] – tarcie płynne – smarowanie elastohydrodynamiczne ($h > R$),
- [5] – tarcie płynne – smarowanie hydrodynamiczne ($h \gg R$).

Wielkość oznaczona na rys. 2.9 B [He_{kr}] odpowiada przejściu smarowania z zakresu tarcia mieszanego do zakresu tarcia płynnego. Systemy i urządzenia smarowe powinny w każdym momencie pracy skojarzenia trącego spełniać warunek (2.5):

$$[He] > [He_{kr}] \quad (2.5)$$

Spełnienie tego warunku osiąga się przez odpowiedni dobór lepkości dynamicznej środka smarowego. Zapewnia to występowanie tarcia płynnego.

Analogicznie przebiega proces smarowania w innych ślizgowych skojarzeniach trących, np. łożyskach ślizgowych.

2.4.5 Zjawisko tarcia międzycząsteczkowego

Zjawisko tarcia międzycząsteczkowego (IMF™ – *intra molecular friction*) jest to zjawisko, polegające na takiej modyfikacji smarowania hydrodynamicznego i granicznego, która prowadzi do znacznych oszczędności energii dostarczanej do smarowanych skojarzeń trących, poprzez znaczne zmniejszenie współczynnika tarcia. Szczególną rolę w IMF™ odgrywają specjalne dodatki, tworzące warstewkę mocno związaną siłami fizykochemicznymi z trącymi powierzchniami metali skojarzenia trącego oraz struktura cząsteczkowa środka smarowego. W rezultacie udział tarcia suchego

w smarowaniu granicznym, jest dużo mniejszy niż to ma miejsce w przypadku zwykłych olejów smarnych.

Wykorzystanie zjawiska IMF™ pozwala na zmniejszenie energii niezbędnej do pokonania oporów tarcia oraz zmniejszenia zużycia smarowanych powierzchni, rezultatem jest oszczędność energii oraz zwiększenie trwałości eksploatacyjnej smarowanych układów. Zjawisko IMF™ jest wykorzystywane w nowoczesnych olejach; silnikowych, przekładniowych i innych, stosowanych do smarowania silnie obciążonych skojarzeń trących.

2.5 Ogólna charakterystyka środków smarnych

Podstawowymi środkami smarnymi, stosowanymi do smarowania skojarzeń trących maszyn są oleje smarne, smary plastyczne, smary stałe. Niezależnie od rodzaju, środkom smarnym są stawiane następujące podstawowe wymagania:

- powinny odznaczać się wymaganą smarnością,
- nie powinny reagować z materiałami konstrukcyjnym, z którymi się kontaktują w skojarzeniu trącym, lub reagować w sposób kontrolowany,
- powinny zachowywać swoje właściwości użytkowe, w możliwie długim okresie pracy,
- nie powinny ulegać degradacji w trakcie składowania,
- nie powinny wykazywać oddziaływań: toksycznych, mutagennych itp. oraz nie powinny zawierać składników niekorzystnie oddziałujących na środowisko naturalne,
- w warunkach użytkowania nie powinny stwarzać zagrożenia pożarowego,
- powinny zachowywać wymagane właściwości użytkowe w całym zakresie temperatur i ciśnień występujących w trakcie pracy skojarzenia trącego,
- ich utylizacja powinna być łatwa i mało kosztowna,
- ich cena powinna być możliwie niska.

Jednoczesne spełnienie przez środek smary wszystkich wymienionych wymagań, w praktyce okazuje się niemożliwe lub bardzo kosztowne. Z tego względu, środkiem smarnym są stawiane wymagania szczegółowe, które zazwyczaj są rezultatem wielu kompromisów między potrzebami i możliwościami. Jest to zasadniczy powód istnienia bardzo wielu gatunków środków smarnych. Innym istotnym powodem są zachowania konkurencyjne firm produkujących środki smarne.

2.5.1 Oleje smarne

Oleje smarne – ciecze, w warunkach stosowania, dostosowane do smarowania skojarzeń trących, z zastosowaniem określonej techniki smarowania i urządzeń smarowych. Od olejów smarnych wymaga się, odpowiednich do właściwego smarowania skojarzenia trącego:

- właściwości reologicznych,
- właściwości niskotemperaturowych,
- właściwości smarnych i przeciwzużyciowych,
- właściwości zapłonu i palenia,
- stabilności termicznej i termooksydacyjnej,
- stabilności chemicznej,
- kompatybilności z materiałami konstrukcyjnymi,
- minimalnej toksyczności i innych właściwości związanych z ochroną środowiska.

W praktyce technologicznej wyróżnia się:

Oleje podstawowe – oleje bezpośrednio otrzymywane z ropy naftowej lub surowców bitumicznych, w rezultacie zachowawczej lub przetwórczej przeróbki ropy naftowej lub odpowiednie związki syntetyczne.

Oleje bazowe – oleje otrzymywane poprzez zmieszanie kilku różnych olejów podstawowych.

Oleje smarne – oleje otrzymywane z olejów bazowych w rezultacie zmieszania olejów bazowych z dodatkami uszlachetniającymi,

w procesie zwanym blendowaniem (blendingiem). Oleje smarne są końcowym wyrobem rafinerii lub zakładów zwanych blendowniami. Są to oleje gotowe do stosowania.

Współcześnie, jako oleje smarne, są stosowane: oleje mineralne, oleje syntetyczne oraz emulsje olejowe.

Oleje mineralne – ciecze, w warunkach stosowania, otrzymywane w wyniku komponowania olejów podstawowych lub tzw. olejów bazowych, pochodzących z zachowawczej lub przetwórczej przeróbki ropy naftowej lub surowców bitumicznych oraz dodatków uszlachetniających.

Oleje mineralne stanowią większość współcześnie stosowanych olejów smarnych. W niektórych zastosowaniach ich właściwości eksploatacyjne są niewystarczające, wówczas są stosowane oleje syntetyczne.

Oleje syntetyczne – ciecze, w warunkach stosowania, otrzymywane na drodze syntezy chemicznej lub na drodze głębokiej przeróbki przetwórczej surowców mineralnych. Współcześnie jako oleje syntetyczne znalazły zastosowanie:

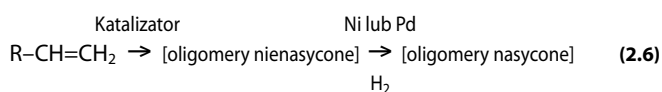
Syntetyczne oleje węglowodorowe – oleje smarne, których bazy stanowią węglowodory z hydrokrawingu lub produkty syntezy chemicznej, będące węglowodarami analogicznymi do występujących w ropie naftowej. Stanowią one mieszaniny niewielkiej liczby indywidualnych węglowodorów o pożądanych właściwościach. Do tej grupy olejów zalicza się oleje, dla których bazami są: poli-**a**-olefiny, poli-izo-butyleny, alkilowane aromaty, a także niektóre inne węglowodory, otrzymywane na drodze syntezy.

Właściwości reologiczne syntetycznych węglowodorów są zależne od:

- długości łańcucha alkilowego,
- liczby i długości podstawników alkilowych,
- liczby pierścieni benzenowych.

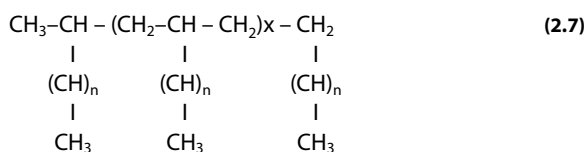
Ich właściwości termooksydacyjne są lepsze niż baz węglowodorowych, otrzymywanych w procesach zachowawczej przeróbki ropy naftowej. Syntetyczne bazy węglowodorowe są stosowane do produkcji olejów: silnikowych, przekładniowych i hydraulicznych oraz smarów plastycznych wówczas, gdy właściwości baz węglowodorowych są niewystarczające, np.: w przypadku olejów i smarów stosowanych w lotnictwie.

Poli-a**-olefiny** (PAO) są to węglowodory otrzymywane w procesie oligomeryzacji α -olefin o długich liniowych łańcuchach R i następnie uwodornienie otrzymanego oligomeru do oligomeru nie zawierającego podwójnych wiązań, wg schematu przedstawionego wzorem (2.6).



Jako produkt jest otrzymywana mieszanina: monomerów, dimerów i polimerów o dłuższych łańcuchach. Jest ona rozdzielana na frakcje o lepkości kinematycznej w temperaturze 40°C: 2, 4, 6, 8, 10, 40, 100 mm²/s, handlowo oznakowywanych: jako PAO 4, PAO 6, itd.

Budowę cząsteczki PAO przedstawia wzór (2.7):



gdzie: $n \geq 7$; $x = 1 \dots 4$

PAO są stosowane jako oleje bazowe lub składniki olejów bazowych do otrzymywania:

- olejów silnikowych,
- olejów do turbinowych silników lotniczych,
- olejów przekładniowych,
- olejów hydraulicznych,

- olejów sprężarkowych,
- cieczy do obróbki metali,
- olejowych nośników ciepła,
- smarów plastycznych.

PAO charakteryzują się:

- niską temperaturą płynięcia (-60°C),
- wysokim wskaźnikiem lepkości ($VI \geq 135$),
- małą lotnością,
- odpornością termooksydacyjną do temperatury 200°C.

Dodatki o polarnej budowie cząsteczki typu: AW i EP, inhibitory utlenienia, inhibitory korozji itp. źle rozpuszczają się w PAO. Oleje, które zawierają wyłącznie PAO, niekorzystnie oddziałują na niektóre elastomery uszczelnień, powodując ich skurcz. Z tych względów, jako bazy olejów smarnych, PAO są stosowane w mieszaninach z estrami.

Poli-izo-buteny są to węglowodory otrzymywane w procesie polimeryzacji izobutenu, węglowodoru nienasyconego o budowie (2.8):



Surowiec do polimeryzacji najczęściej zawiera również inne izomery butenu.

Poli-izo-buteny wykazują większą odporność na utlenianie niż PAO i alkilowane aromaty.

Poli-izo-buteny o masie cząsteczkowej z przedziału 300...6000 są stosowane jako dodatki poprawiające wskaźnik lepkości oraz składniki:

- olejów silnikowych,
- olejów przekładniowych,
- olejów hydraulicznych,
- olejów sprężarkowych,
- cieczy do obróbki metali,
- smarów plastycznych,
- ochrony przeciwkorozyjnej lin stalowych.

Alkilowane aromaty są to węglowodory otrzymywane w procesie reakcji benzenu z olefinami. Typową strukturę chemiczną alkilobenzenu z łańcuchem alkilowym, składającym się z pierścienia benzenu i łańcuchów alkilowych, przedstawia wzór (2.9), gdzie: R1; R2; R3; R4... – podstawniki alkilowe.



Alkilowane aromaty, ze względu na niższą cenę od pozostałych syntetycznych węglowodorów, są stosowane jako bazy wielu grup cieczy eksploatacyjnych np.:

- olejów transformatorowych,
- olejów hydraulicznych,
- olejów do sprężarek chłodniczych,
- olejowych nośników ciepła,
- oraz jako składnik innych, wysokiej jakości olejów przemysłowych.

Oleje węglowodorowe z hydrokrawingu, są to mieszaniny węglowodorów otrzymywane jako ciężkie frakcje w procesie rozdzielania produktów z hydrokrawingu. Nie zawierają węglowodorów aromatycznych, związków siarki i innych niestabilnych składników występujących w olejach naftowych.

Oleje z hydrokrawingu odznaczają się dobrymi właściwościami reologicznymi i termooksydacyjnymi. Znajdują zastosowanie jako bazy wielosezonowych olejów silnikowych i przekładniowych,

a także innych olejów, od których są wymagane specjalne właściwości. Zaletą olejów z hydrokrakingu jest ich niższa cena niż innych węglowodorowych olejów syntetycznych, z tego względu są często składnikami innych olejów węglowodorowych.

Oleje hydrosyntetyczne™ – są to oleje o wysokim wskaźniku lepkości ($VI > 130$), stanowiące mieszaniny baz olejowych z izohydrokrakingu, w ilości 80...95% i 5...20% syntetycznych estrów (tzw. bazy hydrosyntetyczne™). Hydroizomeryzowany węglowodorowy olej podstawowy jest otrzymywany w procesie hydrokrakingu połączonego z izomeryzacją, wobec specjalnych katalizatorów, w rezultacie czego uzyskiwany produkt ma doskonałe właściwości reologiczne i termooksydacyjne. Połączenie hydroizomeryzowanego oleju węglowodorowego z odpowiednio dobranym estrem syntetycznym pozwala na uzyskanie oleju bazowego, szczególnie przydatnego do zestawiania energooszczędnych olejów silnikowych, przekładniowych i innych.

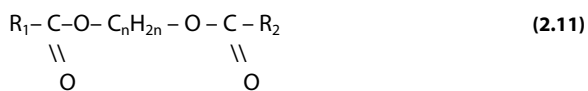
Oleje estrowe, dla których bazami są:

Estry proste – estry alkoholi monowodorotlenowych i monokarboksylowych kwasów tłuszczowych o ogólnym wzorze (2.10):

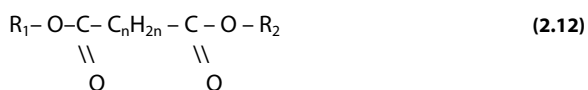


Estry proste znalazły zastosowanie jako bazy lub składniki baz wielu grup przemysłowych olejów syntetycznych oraz jako dodatki smarnościowe, przeciwkorozyjne oraz spęczniające niektóre elastomery.

Diestry – estry alkoholi zawierających w cząsteczce dwie grupy wodorotlenowe i monokarboksylowych kwasów tłuszczowych lub estry alkoholi monowodorotlenowych i kwasów organicznych, zawierających w cząsteczce dwie grupy karboksylowe (dikarboksylowych). Przykładami tego typu związków mogą być związki o ogólnym wzorach (2.11 i 2.12).



diester alkoholu dihydroksylowego i kwasu monokarboksylowego



diester kwasu dikarboksylowego alkoholu monohydroksylowego

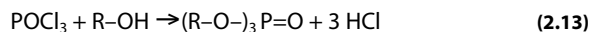
Diestry znalazły szerokie zastosowanie jako bazy olejów syntetycznych do smarowania skjarzeń trących turbinowych silników lotniczych oraz w innych zastosowaniach, gdzie temperatury pracy oleju wahają się w szerokich granicach.

Estry polioliowe (poliestry) – estry alkoholi wielowodorotlenowych i kwasów monokarboksylowych lub estry alkoholi jednowodorotlenowych i kwasów zawierających w cząsteczce kilka grup karboksylowych. Są to tzw. estry zablokowane (hindered esters), których cząsteczki są tak zbudowane, że dostęp czynników utleniających (tlenu z powietrza), do najbardziej wrażliwej części cząsteczki jest zablokowany przez ugrupowania atomów odpornych na utlenianie. Związki tego typu odznaczają się doskonałymi właściwościami reologicznymi, w szerokim zakresie temperatury od -60°C do $+225^\circ\text{C}$, dobrymi właściwościami smarnymi i termooksydacyjnymi. Przykładami tego typu związków, mogą być estry pentaerytrytolu lub trimetylopropanu oraz monokarboksylowych kwasów tłuszczowych.

Estry polioliowe jako bazy olejów syntetycznych znalazły szerokie zastosowanie do smarowania skjarzeń trących turbinowych silników lotniczych oraz w innych zastosowaniach, gdzie temperatura pracy oleju wahają się w szerokich granicach.

Estry kompleksowe – estry, których cząsteczki kwasów i alkoholi są przedzielone cząsteczką glikolu. Właściwości i zastosowania estrów kompleksowych są analogiczne jak estrów polioliowych.

Estry fosforanowe – jedno, dwu, a najczęściej trójpodstawione estry kwasu fosforowego i alkoholi jednowodorotlenowych lub pochodnych fenolu. Są one otrzymywane w reakcji (2.13) tlenochloru fosforu z alkoholem lub fenolem.



Odpowiedni dobór alkoholi i fenoli pozwala na modyfikację właściwości estrów.

Wyróżnia się estry fosforanowe:

- arylofosforanowe, w których R jest grupą arylową; są to cieczce o dużej lepkości, nierozpuszczalne w wodzie, rozpuszczalne w węglowodorach i estrach, o budowie wg wzoru (2.14):



- alkilofosforanowe, w których R jest grupą alkilową; są to cieczce o zróżnicowanej lepkości (w zależności od długości łańcucha w grupie R), rozpuszczalne w wodzie (gdy łańcuch R jest krótki) aż do nierozpuszczalnych w wodzie (gdy łańcuch R jest długi), rozpuszczalne w węglowodorach i estrach, o budowie wg wzoru (2.15):



- mieszane, alkilo-arylowe, w których jako R występują zarówno grupy arylowe jak i alkilowe, charakteryzujące się właściwościami pośrednimi.

gdzie we wzorach (2.14 i 2.15):

Ar – grupa arylowa, **R** – grupa alkilowa.

Są to substancje trudnopalne, o konsystencji małolepkiej cieczy do ciała stałego i gęstości w przedziale $1000 \dots 1400 \text{ kg/m}^3$. Temperatura samozapłonu jest wyższa od $600^\circ\text{C} \dots 650^\circ\text{C}$, a temperatura płynięcia, w niektórych przypadkach, jest niższa od -65°C .

Estry fosforanowe są stosowane jako:

- bazy trudnopalnych syntetycznych olejów smarnych, do specjalnych zastosowań,
- trudnopalne cieczce hydrauliczne lub składniki takich cieczy,
- dodatki przeciwzużyciowe do cieczy hydraulicznych, olejów syntetycznych i mineralnych oraz smarów plastycznych,
- zagęszczacze smarów plastycznych,
- plastyfikatory.

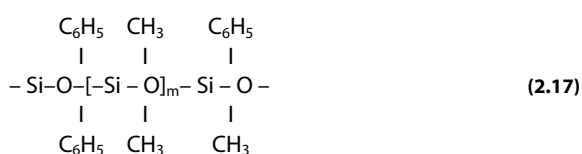
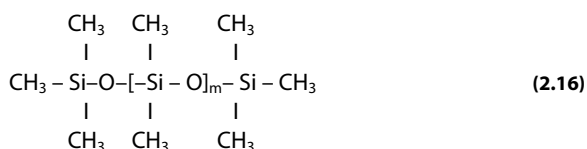
Z punktu widzenia zastosowań ważną właściwością estrów fosforanowych jest stabilność hydrolityczna. Zależy ona od budowy i wielkości podstawnika. Niekorzystny wpływ na stabilność hydrolityczną mają zanieczyszczenia w postaci mono- i diestrów. Hydroliza estrów fosforanowych prowadzi do kwasu fosforowego oraz mono- i diestrów, co zwiększa agresywność korozyjną, w stosunku do niektórych metali ale poprawia właściwości smarne oleju.

Estry alkilofosforanowe wykazują dobrą stabilność termooksydacyjną do temperatury $125 \dots 150^\circ\text{C}$, a arylofosforanowe do temperatury 175°C . Do tych temperatur nie wykazują one agresywności korozyjnej. Powyżej tych temperatur ulegają one rozkładowi, z powstawaniem składników stanowiących zagrożenie korozyjne. Kontakt z takimi metalami jak: żelazo, miedź i glin pogarsza stabilność termooksydacyjną estrów. Wprowadzenie do składu oleju aminowych inhibitorów utlenienia i korozji istotnie poprawia stabilność termooksydacyjną nawet o $100 \dots 120^\circ\text{C}$.

Estry fosforanowe odznaczają się bardzo dobrymi właściwościami smarnymi i przeciwzużyciowymi, stąd ich zastosowanie jako dodatków poprawiających właściwości smarne. Mogą być niekompatybilne z niektórymi elastomerami, stosowanymi jako

uszczelki oraz lakierami. Tworzywa takie jak: nylon, żywice epoksydowe oraz żywice fenolowo-formaldehydowe są odporne na ich działanie, w zakresie dopuszczalnej temperatury pracy.

Oleje silikonowe, silikony – ciekłe polimery, o całkowicie nieorganicznym szkielecie polisiloksanowym, w którym atomy krzemu są połączone poprzez atomy tlenu (... -Si-O-Si-O-...), a do atomów krzemu są przyłączone grupy metylowe (-CH₃) – tzw. metylosilikony (wzór 2.16), lub analogiczne związki, w których część grup metylowych została zastąpiona grupami fenyłowymi (-C₆H₅) – tzw. fenylosilikony (wzór 2.17). Jako oleje smarne największe zastosowanie znalazły metylosilikony oraz fenylosilikony. w węższym zakresie są stosowane także etylosilikony, zawierające w cząsteczce grupy etylowe (-C₂H₅).



Oleje silikonowe charakteryzują się unikalnymi właściwościami wynikającymi z asymetrii budowy cząsteczki i oraz odporności chemicznej podstawników: hydrofobowością, stabilnością chemiczną, dużym wskaźnikiem lepkości, niską temperaturą płynięcia i szerokim zakresem dopuszczalnej temperatury pracy:

- oleje metylosilikonowe (-60°C ... 200°C),
- oleje fenylosilikonowe (-50°C ... 250°C).

Oleje metylosilikonowe podlegają rozkładowi termicznemu w temperaturze powyżej 300°C; oleje fenylosilikonowe powyżej temperatury 350°C. Powyżej tych temperatur polimeryzują, tworząc substancje żelowate. Jako inhibitory utlenienia siloksanów są stosowane niektóre związki żelaza i ceru, natomiast jako substancje przeciwdziałające żelowaniu, związki telluru oraz selenu. W kontakcie z chlorowcami, w szczególności z fluorem, siloksany mogą rozkładać się wybuchowo.

Występujące w silikonach wiązanie Si-O- jest podatne na hydroлизę, w rezultacie której wydzielają się nierozpuszczalne w oleju żele. Z tego względu oleje polisiloksanowe nie powinny być stosowane w kontakcie z wodą, zwłaszcza w podwyższonych temperaturach.

Oleje silikonowe nie rozpuszczają się w węglowodorach. Jednak do niektórych zastosowań są komponowane oleje stanowiące roztwory polietylosiloksanów i olejów mineralnych o charakterze parafinowym lub olejów syntetycznych węglowodorowych. Znalazły one również zastosowanie jako składnik specjalnych smarów plastycznych, przeznaczonych do skrajnych temperaturowych warunków pracy (lotnictwo, rakiety, maszyny pracujące w warunkach polarnych, itp.).

Silikony, na granicy faz: olej – powietrze, wykazują znacznie większe napięcie powierzchniowe niż oleje mineralne, o zbliżonej lepkości. Są stosowane jako dodatki przeciwdziałające pienieniu olejów mineralnych.

Estry krzemianowe – ciecz, w warunkach stosowania, będące estrami kwasu ortokrzemowego (ortokrzemiany), dikrzemowego (dikrzemiany) oraz alkoholi jednowodorotlenowych lub fenoli oraz mieszan. Są otrzymywane w wyniku reakcji tetrachlorku krzemu z alkoholami, fenolami lub związkami Grignarda, wg przykładowej reakcji (2.18):



Ogólny wzór krzemianów przedstawia się następująco (2.19):

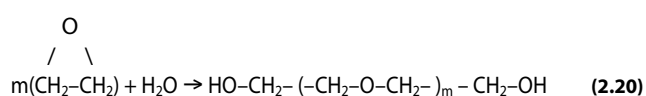


gdzie: m = 1 ... n

Właściwości estrów krzemianowych są uzależnione od:

- długości łańcucha siloksanowego,
- budowy podstawników R,
- symetryczności cząsteczki.

Poliglikole (polialkilenoglikole) – związki, otrzymywane w reakcji tlenków alkilowych: tlenku etylenu lub tlenku propylenu ze związkami zawierającymi aktywny wodór, przykładowo z wodą, alkoholami jedno lub wielowodorotlenowymi lub kwasami organicznymi, w obecności katalizatorów: NaOH lub KOH, wg przykładowej reakcji (2.20):



tlenek etylenu poliglikol etylenowy (diol)

W przypadku, gdy w ugrupowaniu atomów -CH₂-CH₂- jeden lub więcej wodorów został zastąpiony podstawnikiem alkilowym (R), takie substancje są nazywane polialkilenoglikolami.

W zależności od długości łańcucha, budowy grup alkilowych (R) oraz grup kończących łańcuch, są otrzymywane substancje ciekłe, aż do konsystencji wosku, o bardzo zróżnicowanych właściwościach:

- lepkość kinematyczna, w temperaturze 40°C, w przedziale: 8 ... 100 000 mm²/s, im większa masa cząsteczkowa tym większa lepkość,
- wskaźnik lepkości 200 ... 400, przy czym im większa masa cząsteczkowa tym większy wskaźnik lepkości,
- temperatura płynięcia, w przedziale: -65 ... +5°C; im większa masa cząsteczkowa tym wyższa temperatura płynięcia.

W stosunku do olejów mineralnych o takiej samej lepkości poliglikole odznaczają się:

- lepszymi właściwościami smarnymi,
- lepszymi (bardziej płaskimi) charakterystykami lepkościowo-temperaturowymi – większym wskaźnikiem lepkości,
- niższymi temperaturami płynięcia,
- mniejszą lotnością,
- kompatybilnością z większością elastomerów,
- brakiem agresywności korozyjnej w stosunku do metali.

Jako bazy olejów syntetycznych najczęściej są stosowane poliglikole etylenowe i poliglikole propylenowe. Obowiązują przy tym następujące reguły ogólne:

- wraz ze zwiększeniem długości łańcucha zwiększa się lepkość i wskaźnik lepkości,
- diole i monoetery są rozpuszczalne w wodzie,
- obecność na końcach łańcucha grup eterowych powoduje zmniejszenie lepkości i zwiększenie wskaźnika lepkości, reguła ta nie dotyczy polialkilenoglikoli mieszan. W temperaturze powyżej 150 ... 200°C polialkilenoglikole ulegają depolimeryzacji, a w obecności tlenu utlenieniu, w rezultacie powstają aldehydy i kwasy organiczne. Rozkład jest katalizowany przez niektóre metale. Przeciwdziałanie utlenianiu polega na wprowadzeniu do ich składu aminowych inhibitorów utlenienia. W składzie handlowych olejów polialkilenoglikolowych występują również dodatki EP oraz inhibitory korozji.

Oleje na bazie polialkilenoglikoli są stosowane jako oleje: hy-

TABELA 2.2 Ocena właściwości eksploatacyjnych olejów z wybranych baz syntetycznych i mineralnej

Właściwości \ Baza oleju	Baza oleju							
	Poli- α -olefny	Alkilobenzeny	Diestry	Poliestry	Poliglikole	Estry fosforanowe	Oleje fluorowe	Mineralna
Reologiczne	●●●●	●	●●●	●●●	●●●●	●●●●	●●●●●	●●
Niskotemperaturowe	●●●●	●●●●	●●●●●	●●●●	●●●	●●	●●●	●●
Smarne	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●●	●●●●	●●●	●●●
Przeciwzużyciowe	●●	●●●	●●	●●●	●●●●●	●●●●	●●●	●●●
Termooksydacyjne	●●●●	●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●	●●●●●	●●
Odporność na palenie	●	●	●	●	●	●●●●●	●●●●●	●
Przeciwkorozyjne i przeciwrdzewne	●●●●●	●●●●	●●●	●●●	●●●	●●	●●●	●●●●●
Stabilność hydrolityczne	●●●●●	●●●●●	●●	●●●	●●●●	●●●●	●●●●●	●●●●●
Lotność	●●●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●
Kompatybilność z uszczelnieniami	●●●	●●	●●	●●	●●●	●●	●●●●●	●●●●
Mieszalność z olejami mineralnymi	●●●●●	●●●●●	●●●	●●●	●	●	●	●●●●●

● – złe, ●● – dostateczne, ●●● – średnie, ●●●● – dobre, ●●●●● – bardzo dobre

drauliczne, przekładniowe, sprężarkowe, a także specjalne oleje silnikowe, np. do silników samochodów i motocykli wyścigowych oraz innych silników bardzo wysiłonych, eksploatowanych w krótkim czasie. Inhibowane oleje poliglikolowe znalazły również zastosowania jako ciekłe nośniki ciepła, w układach pracujących do temperatury 250°C.

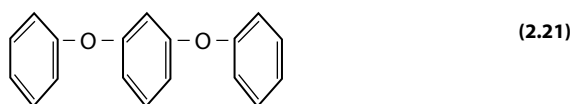
Niektóre polialkilenoglikole są rozpuszczalne w wodzie. Rozpuszczalność w wodzie jest tym lepsza im większy jest udział w cząsteczce grup hydroksylowych (-OH). Wodne roztwory polialkilenoglikoli znajdują zastosowanie jako:

- trudnopalne ciecze hydrauliczne, np. w elektrowniach, kopalniach itp.
- ciecze do obróbki metali skrawaniem,
- ciecze do odladzania pasów startowych, samolotów, sprzętu bojowego i innych obiektów,
- ciecze obiegowe w układach chłodzenia.

Polialkilenoglikole są trudnopalne. Wytrzymują długotrwałą pracę w temperaturze 150 ... 200°C. W mieszaninach zawierających 50% wody są praktycznie niepalne. Z tego względu, na ich podstawie, są produkowane trudnopalne ciecze hydrauliczne.

Większość olejów na bazie polialkilenoglikoli i wodne roztwory polialkilenoglikoli są nierozpuszczalne w olejach mineralnych, syntetycznych węglowodorowych, estrowych itp. z tego względu, w przypadku wymiany takiego oleju na polialkilenoglikolowy lub odwrotnie, wymagane są specjalne procedury czyszczenia układu z pozostałości poprzedniego oleju.

Etery polifenylowe – organiczne związki chemiczne, w których pierścienie aromatyczne, najczęściej benzenowe, są połączone ze sobą wiązaniem eterowym, atomami tlenu. Wiązania eterowe, w stosunku do siebie mogą być usytuowane w położeniu orto-, meta- lub para-. W związkach stosowanych jako bazy olejów smarnych lub hydraulicznych liczba pierścieni aromatycznych nie przekracza sześciu. Pierścienie mogą posiadać różne podstawniki: alkilowe, chlorowce, chlorowcoalkilowe, grupę hydroksylową. Pozwala to na modyfikowanie właściwości oleju. Budowę eteru polifenylowego ilustruje wzór (2.21).



Oleje na bazie eterów polifenylowych charakteryzują się doskonałymi właściwościami smarnymi w podwyższonych temperaturach do 200°C. Wykazują dobrą stabilność termiczną i termooksydacyjną. Mogą pracować przez długi okres czasu w temperaturach

rzędu 450 ... 550°C. Wadą ich jest stosunkowo wysoka temperatura płynięcia (-10 ... +5°C). Odznaczają się one nadzwyczajną odpornością na promieniowanie.

Właściwości olejów polifenylowych oraz smarów plastycznych na ich bazie są powodem ich stosowania w technice kosmicznej, eksperymentalnej technice lotniczej oraz technice jądrowej. Przeszkodą w ich powszechnym stosowaniu jest wysoka cena.

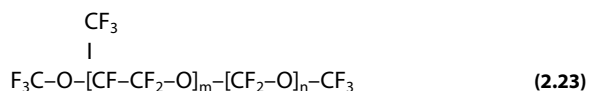
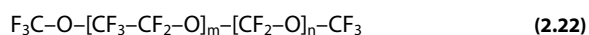
Fluoro – i chloropochodne węglowodorów – ciekłe związki chemiczne, pochodne węglowodorów parafinowych, nftenowych lub aromatycznych, w których atomy wodoru zostały podstawione atomami fluoru (F) lub chloru (Cl) lub obu tych pierwiastków. Są otrzymywane w wyniku fluorowania lub chlorowania odpowiednich węglowodorów lub polimeryzacji tetrafluoroetylen (F₂C=CF₂). Jako bazy olejowe najszerze zastosowanie znalazły pochodne fluorowe i chlorowe węglowodorów aromatycznych.

Fluorowane i chlorowane węglowodory odznaczają się dobrą stabilnością termiczną i termooksydacyjną. Mają bardzo dobre właściwości smarne. Wykazują stosunkowo złe właściwości reologiczne (mały wskaźnik lepkości i wysoka temperatura płynięcia). Nieco lepsze właściwości reologiczne mają oleje zawierające w cząsteczce jednocześnie atomy fluoru i chloru. Ważną ich cechą, decydującą o zastosowaniu tego typu olejów, jest brak palności.

Oleje na bazie fluorowanych i chlorowanych węglowodorów są stosowane jako niepalne ciecze hydrauliczne w technice lotniczej i kosmicznej, a także jako niepalne nośniki ciepła pracujące w wysokich temperaturach i w warunkach dużego zagrożenia pożarowego.

Perfluoropolieter – ciekłe związki chemiczne, pochodne polieterów. Są otrzymywane metodami analogicznymi jak polialkilenoglikole, w reakcji pochodnych fluorowych tlenków alkilowych ze związkami zawierającymi aktywny wodór, przykładowo z wodą, pochodnymi fluorowymi alkoholi lub kwasów organicznych, w obecności katalizatorów.

Przykładami tego typu związków mogą być perfluoropolieter wg wzorów (2.22) i (2.23):



i inne polieter, w których atomy wodoru zostały zastąpione atomami fluoru.

Oleje tego typu odznaczają się bardzo dobrą odpornością

TABELA 2.3 Zakres temperatury stosowania oraz zastosowanie olejów na bazach mineralnej i syntetycznych

Zastosowanie Baza										
			Oleje turbinowe	Oleje silnikowe	Oleje przekładniowe	Oleje specjalne	Ciecze hydrauliczne	Oleje sprężarkowe	Oleje maszynowe	Nośniki ciepła
Mineralna			+	+	+	+	+	+	+	+
Diestry			+	+	-	+	+	+	+	-
Estry polioliowe			+	+	+	+	+	+	-	-
Estry kompleksowe			+	+	+	+	+	+	-	-
Polialkilenoglikole			-	+	+	+	+	+	-	+
Estry fosforanowe			-	-	-	+	+	-	-	-
Estry krzemianowe			-	-	-	-	+	-	-	+
Silikony			-	-	-	+	+	-	-	+
Etery polifenyłowe			+	-	-	-	+	-	-	+
Poli- α -olefiny			+	+	+	+	+	+	+	-

Temperatura, °C -100 -50 0 50 100 150 200 50 300 350 400 450

termiczną, są niepalne lub trudnopalne, mają stosunkowo małą lotność, a także bardzo dobre właściwości smarne. Są kompatybilne z większością powszechnie stosowanych elastomerów. Są nierozpuszczalne w bazach węglowodorowych, eterach polifenyłowych, silikonach i estrach krzemianowych, a rozpuszczalne w bazach o budowie polarnej. Mają bardzo dobre właściwości dielektryczne, co pozwala na ich stosowanie jako cieczy izolacyjnych, pracujących w wysokich temperaturach. Ich wadą są wysokie ceny.

Zastosowanie baz syntetycznych jako składników olejów wynika z ich specyficznych właściwości, dostosowanych do określonych warunków pracy. W tabeli 2.2 przedstawiono ocenę najważniejszych właściwości eksploatacyjnych, wybranych olejów syntetycznych w porównaniu z olejami mineralnymi, a w tabeli 2.3 zakres temperatury stosowania (szary pasek) oraz zastosowanie olejów na bazach syntetycznych i mineralnych.

Coraz powszechniejsze zastosowanie, jako oleje podstawowe, znajdują ciekłe tłuszcze roślinne oraz estry alkoholi monowodorotlenowych i kwasów tłuszczowych, otrzymywanych z olejów roślinnych i tłuszczów zwierzęcych. Zaletą tego rodzaju olejów jest ich mała toksyczność, dobra biodegradowalność, a także odnawialność źródeł pochodzenia.

W zależności od istniejących w określonym rejonie warunków uprawy, jako surowce do produkcji bazowych olejów roślinnych są stosowane tłuszcze roślinne, otrzymywane z nasion:

- rzepaku,
- słonecznika,
- soi,
- palmy i innych roślin.

Porównanie eksploatacyjnych właściwości niektórych olejów roślinnych, w odniesieniu do oleju mineralnego, przedstawiono w tabeli 2.4.

Oleje roślinne i estry kwasów tłuszczowych znajdują zastosowania w takich przypadkach, gdy od środka smarnego są wymagane:

TABELA 2.4 Porównanie właściwości eksploatacyjnych olejów mineralnych i roślinnych

Właściwości	Baza oleju	
	Mineralna	Roślinna
Reologiczne	●●	●●
Niskotemperaturowe	●●	●●
Smarne	●●●	●●●●
Przeciwzużyciowe	●●●	●●●
Termooksydacyjne	●●	●
Odporność na palenie	●	●
Przeciwkorozyjne i przeciwrzdzewne	●●●●●	●●
Stabilność hydrolytyczna	●●●●●	●
Lotność	●●	●●●
Kompatybilność z uszczelnieniami	●●●●	●●
Mieszalność z olejami mineralnymi	●●●●●	●●●●

● – złe, ●● – dostateczne, ●●● – średnie, ●●●● – dobre, ●●●●● – bardzo dobre

nietoksyczność i biodegradowalność. Aktualnie znajdują one zastosowanie jako:

- oleje hydrauliczne,
- oleje maszynowe,
- oleje technologiczne: natłustki, plastyfikatory,
- składniki emulsji olejowych do uwalniania betonu z form,
- składniki biodegradowalnych smarów plastycznych.

W początkowym okresie rozwoju lotnictwa, aż do lat 60., jako olej do tłokowych silników lotniczych, był stosowany olej rycynowy, otrzymywany z nasion rącznika (*Ricinus communis*).

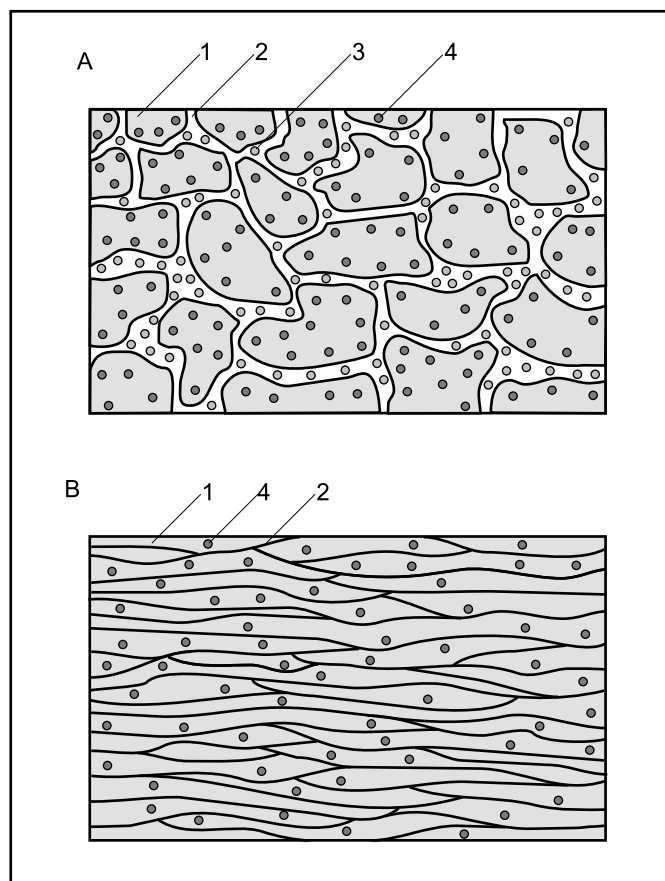
2.5.2 Smary plastyczne

Smary plastyczne są to dyspersje stałych zagęszczaczy w fazie ciekłej. W skład smarów jako reguła, wchodzi trzy podstawowe składniki:

- faza ciekła (osnowa) – 70...90%; (olej mineralny, syntetyczny, roślinny lub ich mieszaniny),
- faza zdyspergowana, stała, zagęszczacz – 10...25%; (mydła metali, polimery, stałe węglowodory, a także substancje nieorganiczne np.: bentonity, żel krzemionkowy itp.)
- dodatki poprawiające właściwości eksploatacyjne, modyfikatory struktury, wypełniacze – 1...15%; mogą być one zawarte zarówno w fazie ciekłej jak i w fazie stałej.

Smary plastyczne są to tzw. roztwory koloidalne, których cząstki oleju są zawieszone w siatce stworzonej z cząstek zagęszczacza. Średnica kropelek oleju nie przekracza 1 mikrometra. Ich kształt jest zależny od charakteru zagęszczacza, ale także od sposobu otrzymywania, głównie szybkości schładzania, w procesie produkcji. Przykładowe schematy struktury typowych smarów plastycznych, przedstawiono na rys. 2.10. Rys. 2.10A przedstawia przykład struktury smaru, w którym siatkę tworzy zagęszczacz 2, w której to siatce są umieszczone mikroskopijne kropełki oleju 1. Dodatki 3 i 4 mogą być rozpuszczone lub zawieszone zarówno w oleju jak i w zagęszczaczu. Rys. 2.10B przedstawia budowę smaru o strukturze włóknistej. W smarze o takiej budowie cząsteczki zagęszczacza 2 mają strukturę włókien oddzielających kropełki oleju. W smarze takim dodatki 4 są zlokalizowane głównie w części olejowej. Lokalizacja dodatku ma istotne znaczenie dla właściwości smaru. Przykładowo inhibitor utlenienia powinien być w oleju, natomiast jest lepiej, gdy dodatek EP jest zlokalizowany w zagęszczaczu (patrz p. 2.5.3).

Smary plastyczne są to ciecze nienewtonowskie (patrz p. 4.2). W odróżnieniu od cieczy newtonowskich, lepkość smarów plastycznych zależy nie tylko od temperatury i ciśnienia, ale także od



Rys. 2.10 Przykłady struktury smarów plastycznych
A - smar o budowie mazistej, B - smar o budowie włóknistej; 1 - olej, 2 - zagęszczacz, 3 - dodatki wchodzące w skład zagęszczacza, 4 - dodatki wchodzące w skład oleju

gradientu prędkości ścinania. Lepkość taka jest nazywana lepkością strukturalną. Właściwość ta pozwala na specjalne konstrukcje urządzeń smarowych i skojarzyń trących.

W porównaniu z olejami smarnymi smary plastyczne odznaczają się następującymi właściwościami, będącymi przyczyną ich częstego stosowania:

- stosunkowo małym zużyciem,
- możliwością stosowania w konstrukcyjnie mniej skomplikowanych systemach smarowania,
- dłuższym okresem wymiany.

Blizsze dane dotyczące składu chemicznego, klasyfikacji, właściwości, smarów plastycznych podano w p. 19.

2.5.3 Dodatki uszlachetniające

Oleje bazowe, zarówno mineralne jak i syntetyczne, w nielicznych tylko przypadkach spełniają wymagania, wynikające z warunków pracy we współczesnych urządzeniach technicznych. W celu dostosowania do stawianych wymogów, do olejów bazowych są wprowadzane dodatki uszlachetniające. Są to syntetyczne związki chemiczne, lub produkty przeróbki chemicznej surowców naturalnych. Wyróżnia się następujące, podstawowe rodzaje dodatków uszlachetniających:

- inhibitory utlenienia,
- modyfikatory właściwości reologicznych,
- depresatory,
- detergenty i dyspergatory,
- deemulgatory i emulgatory,
- smarnościowe,
- przeciwzużyciowe,
- przeciwzatarciowe,
- modyfikatory tarcia,
- inhibitory korozji i rdzewienia,
- pasywatory,
- przeciwpienne,
- barwniki,
- zapachowe,
- wielofunkcyjne.

Dodatki są wprowadzane do olejów w ilościach od kilku ppm do kilkunastu procent. Wprowadzenie do oleju jednocześnie kilku dodatków może powodować efekt synergizmu, korzystny lub antagonistyczny (np. wytrącanie jednego dodatku przez drugi). Dobór dodatków do olejów jest zagadnieniem trudnym, wymagającym skrupulatnych, niekiedy długotrwałych i kosztownych badań oraz optymalizacji składu oleju. Z tych względów, nie zaleca się samodzielnego wprowadzania do olejów smarnych różnego rodzaju dodatków eksploatacyjnych dostępnych na rynku. Wyróżnia się następujące, podstawowe grupy dodatków uszlachetniających:

Inhibitory utlenienia – są to dodatki przeciwdziałające procesom utlenienia składników bazy olejowej. Destrukcja bazy olejowej może zachodzić wg dwóch podstawowych procesów:

- utlenienia składników bazy, w procesach reakcji z tlenem powietrza,
- destrukcji składników bazy, w rezultacie działania wysokiej temperatury (kraking) i/lub mechanicznych sił ścinających.

W praktyce eksploatacyjnej mechanizm utleniania jest dominujący. Składniki oleju w trakcie eksploatacji ulegają działaniu tlenu z powietrza. Proces ten nasila się wraz ze wzrostem temperatury. Sprzyja mu również katalityczne działanie niektórych metali. Prowadzi to do zwiększenia lepkości oraz do powstawania kwasów, żywic i osadów.

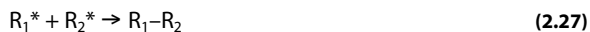
Mechanizm procesu utleniania węglowodorów jest wieloetapowy. Pierwszy etap polega na tworzeniu wolnych rodników (R^*) wg przykładowej dla węglowodorów reakcji (2.24):



Wolny rodnik alkilowy następnie reaguje z tlenem, wg reakcji (2.25), tworząc rodnik nadtlenny (ROO*), który w reakcji z kolejną cząsteczką węgłowodoru tworzy kwas i kolejny rodnik alkilowy, wg reakcji (2.26). Reakcje te mają charakter łańcuchowy.



Zachodzą również reakcje (2.27) spowalniające procesy utleniania, polegające na łączeniu się rodników alkilowych w cząsteczki węgłowodorów, na ogół o właściwościach odmiennych niż występujące w oleju świeżym.



Niektóre z produktów utlenienia węgłowodorów mają charakter kwaśny lub łatwo przechodzą w takie związki, co jest powodem zwiększania liczby kwasowej większości olejów smarnych, podczas eksploatacji. Procesy utleniania olejów na innych bazach mają przebieg analogiczny. Ponadto, składniki baz olejów estrowych lub dodatki o charakterze estrów, mogą ulegać hydrolizie, co również prowadzi do zwiększenia zawartości kwasów.

W celu przeciwdziałania utlenianiu składników baz olejowych, do ich składu są wprowadzane związki chemiczne zwane inhibitorami utleniania. W niektórych produktach naftowych występują także naturalne inhibitory utleniania. Często są one usuwane wraz ze składnikami niekorzystnymi dla jakości gotowego wyrobu lub np. ze względów ekologicznych (związki siarki i azotu w procesach oczyszczania wodorem).

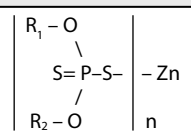
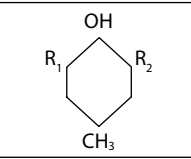
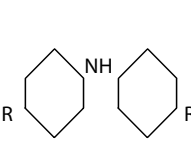
Wyróżnia się inhibitory utleniania:

- niskotemperaturowe, działające inhibującą w zakresie temperatur do około 50°C, których działanie uwidacznia się podczas magazynowania oleju,
- wysokotemperaturowe, działające w trakcie eksploatacji.

Jako inhibitory utleniania jest stosowanych wiele związków organicznych, o dość złożonej budowie cząsteczki. Mechanizm ich działania polega na przerwaniu reakcji łańcuchowej poprzez reakcję z rodnikami lub na dekompozycji powstających nadtlentów. Jako inhibitory utleniania najczęściej są stosowane następujące grupy związków chemicznych:

- alkiloditiofosforany cynku (ZDTP),
- pochodne alkilowe fenoli,
- aminy aromatyczne,
- organiczne pochodne siarki,

TABELA 2.5 Budowa oraz podstawowe zastosowania poszczególnych grup inhibitorów utleniania

Grupa inhibitorów	Wzór chemiczny	Podstawowe zastosowania
Alkiloditiofosforany cynku ZDTP		<ul style="list-style-type: none"> • oleje silnikowe, • oleje przekładniowe, • oleje hydrauliczne, • oleje przemysłowe.
Pochodne alkilowe fenoli (alkilofenole)		<ul style="list-style-type: none"> • oleje hydrauliczne, • oleje turbinowe, • oleje do silników z zapłonem iskrowym, • oleje do tłokowych silników lotniczych.
Aminy aromatyczne		<ul style="list-style-type: none"> • oleje do turbinowych silników lotniczych, • oleje hydrauliczne, • oleje przemysłowe • niektóre oleje silnikowe, • smary plastyczne.
Organiczne pochodne siarki	$R_1-S-(CH_2)_n-S-R_2$	<ul style="list-style-type: none"> • oleje przemysłowe, • smary plastyczne.

- kompozycje składające się z dwóch lub więcej inhibitorów o różnym mechanizmie działania.

Alkiloditiofosforany cynku współcześnie są najczęściej stosowaną grupą inhibitorów utleniania. Są one stosowane zarówno w składzie olejów silnikowych jak i niektórych przemysłowych, głównie w tych przypadkach, gdy jest możliwe stosowanie dodatków tworzących w procesach spalania popiołów. W przeciwnych przypadkach, są stosowane tzw. bezpopiołowe inhibitory utleniania, tzn. takie które w cząsteczce nie zawierają atomów metali. Działanie inhibitorów utleniania, typu ZDTP, polega na przerwaniu łańcucha reakcji przedstawionych wzorami (2.29 ... 2.33), poprzez rozkład nadtlentów oraz blokowaniu reakcji tworzenia się wolnych rodników lub przyspieszania reakcji (2.27) ich łączenia.

Mechanizmy działania innych typów inhibitorów utleniania są analogiczne. w zależności od przeznaczenia oleju są stosowane różne grupy inhibitorów utleniania, a niekiedy ich kompozycje, np. inhibitor niskotemperaturowy + wysokotemperaturowy. Budowę chemiczną oraz podstawowe zastosowania poszczególnych grup inhibitorów utleniania, przedstawiono w tabeli 2.5.

Inhibitory utleniania są wprowadzane do współczesnych ciekłych paliw, rozpuszczalników, olejów smarnych, smarów plastycznych i innych cieczy eksploatacyjnych, w stężeniach od 0,1 do 3%. Efektem działania inhibitorów utleniania jest spowolnienie procesów prowadzących do zwiększania lepkości, liczby kwasowej, zawartości żywic oraz wytrącania osadów, co w efekcie prowadzi do wydłużenia okresu wymiany oleju i zwiększenia okresu żywotności maszyny, a także wydłużenia dopuszczalnego okresu magazynowania.

W przypadku olejów na bazach estrowych, niektóre inhibitory utleniania przeciwdziałają hydrolizie estrów.

Modyfikatory właściwości reologicznych (modyfikatory lepkości) – są to wielkocząsteczkowe polimery, o masie cząsteczkowej 10 000 ... 25 000 g/mol. Rozpuszczone w oleju podstawowym w stężeniu 0,5 ... 25%(V/V) zwiększają jego lepkość i wskaźnik lepkości. Wyróżnia się **zagęszczacze** (dodatki zagęszczające), których główną funkcją jest zwiększenie lepkości oleju oraz **wiskozatory**, które obok zwiększania lepkości bazy oleju, zwiększają również jego wskaźnik lepkości. Niektóre dodatki tego rodzaju obniżają również temperaturę płynięcia oleju, działając analogicznie jak depresatory.

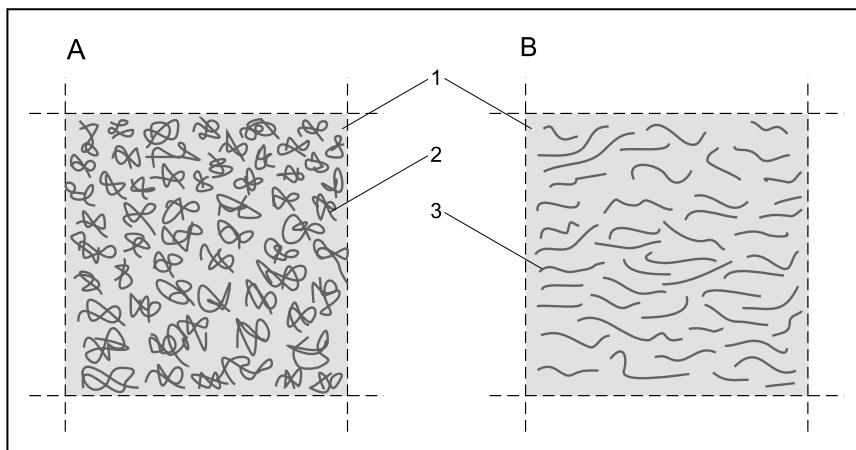
Mechanizm działania zagęszczaczy polega na utrudnieniu ruchów stosunkowo małych cząsteczek oleju, co objawia się zwiększeniem lepkości.

Mechanizm działania wiskozatorów jest nieco odmienny. Łańcuchy polimerów w niskich temperaturach są zwinięte w kłębuszki. Podwyższenie temperatury powoduje ich rozwinięcie w nitki. Zjawisko to jest powodem, że wiskozatory w wyższych temperaturach relatywnie bardziej zwiększają lepkość niż w niskich. Prowadzi to zarówno do zwiększenia lepkości jak i wskaźnika lepkości. Przy czym, im większa masa cząsteczkowa polimeru, tym efekt jego działania jest większy. Mechanizm działania wiskozatorów przedstawia rys. 2.11.

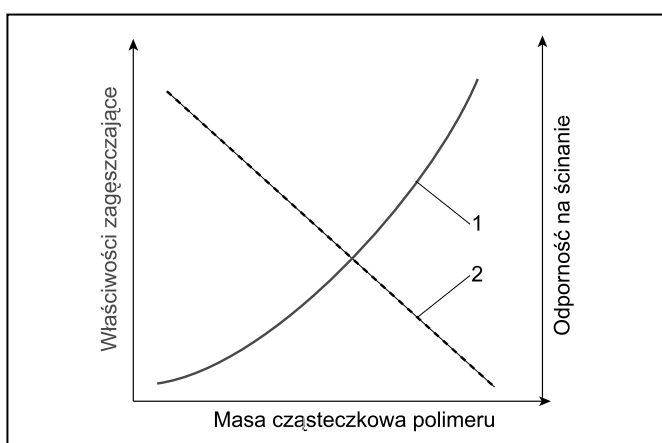
Polimery pod wpływem działania sił ścinających oraz wysokiej temperatury ulegają rozerwaniu na mniejsze cząsteczki, przy czym proces ten zachodzi, tym bardziej intensywnie, im jest większa masa cząsteczkowa polimeru. Zależność tę ilustruje rys. 2.12. Z tego względu polimery o dużych masach cząsteczkowych są stosowane w ograniczonym zakresie. Zjawisko ścinania polimerów zawartych w środkach smarnych, bardziej szczegółowo przedstawiono w p. 4.11.

Jako modyfikatory właściwości reologicznych olejów najczęściej są stosowane następujące rodzaje polimerów:

- kopolimery olefin (OCP – *olefin copolymers*) – oleje silnikowe i hydrauliczne,
- polialkilometakrylany (PAMA – *polyalkylmethacrylates*) – oleje przekładniowe i hydrauliczne,
- poliizobutyleny (PIB – *polyisobutylene*) – oleje przekładniowe,
- kopolimery styrenowo-izoprenowe (SIP – *styrene isoprene polymers*) – oleje silnikowe,
- kopolimery styrenowo-butadienowe (SBR – *styrene butadiene rubbers*) – oleje silnikowe.



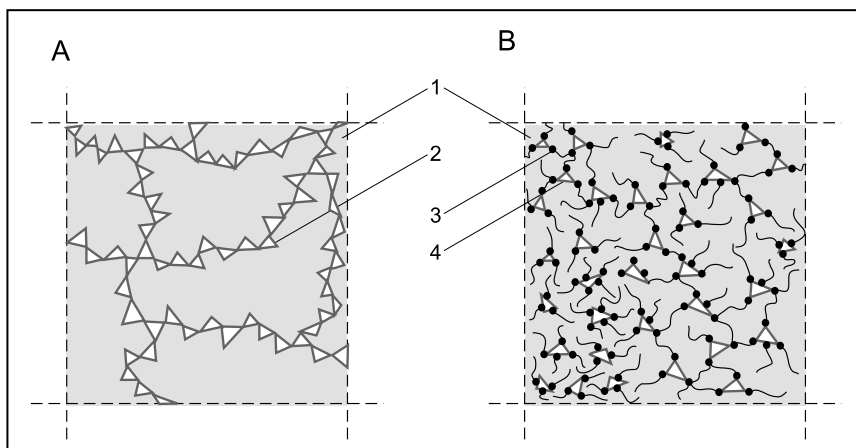
Rys. 2.11 Mechanizm działania wiskozatorów. A – baza olejowa z wiskozatorem, w niskiej temperaturze; cząstki polimeru zwinięte w kłębuszki; B – Baza olejowa z wiskozatorem, w wysokiej temperaturze; cząstki polimeru rozwinięte; 1 – baza olejowa, 2 – kłębuszki polimeru, 3 – nicieczki polimeru



Rys. 2.12 Wpływ masy cząsteczkowej polimeru na: 1 – właściwości zagęszczające, 2 – odporność na ścinanie

Depresatory są to związki chemiczne obniżające temperaturę płynięcia olejów. Mechanizm ich działania polega na niedopuszczeniu do krystalizacji parafin w niskich temperaturach, poprzez przestrzenne blokowanie zarodków krystalizacji. Depresatory są stosowane tylko w składzie olejów mineralnych, ponieważ temperatura płynięcia olejów syntetycznych jest właściwością związków chemicznych wchodzących w skład bazy i nie może być obniżona w taki sposób. Jako depresatory najczęściej są stosowane polialkilometakrylany (PAMA). W zależności od masy cząsteczkowej,

Rys. 2.13 Mechanizm działania depresatorów, w niskich temperaturach A – baza olejowa bez depresatora, B – baza olejowa z depresatorem; 1 – baza olejowa, 2 – kryształki parafiny, 3 – cząsteczka depresatora, 4 – zarodek krystalizacji parafiny



efektywności działania, zawartości parafin oraz oczekiwań, co do obniżenia temperatury płynięcia oleju, są one dodawane w stężeniu 0,1 do 2,5%. Mechanizm działania depresatorów przedstawia rys. 2.13.

Detergenty i dyspergatory – są to powierzchniowoczynne związki chemiczne, działające na granicy faz ciecz (olej) i ciało stałe (powierzchnia metalu, powierzchnia cząstek zanieczyszczeń stałych). Ścisłe rozgraniczenie właściwości detergentyjnych (myjących) oraz dyspergujących nie jest możliwe. W większości przypadków, obie funkcje są realizowane jednocześnie, z przewagą jednej lub drugiej. Również mechanizm ich działania (rys. 2.14) jest bardzo podobny. Stosowany podział najczęściej jest oparty na różnicach w budowie chemicznej:

- detergenty (dodatki myjące) – są to organiczne związki metali (dodatki popiołowe),
- dyspergatory (dodatki dyspergujące) – są to związki organiczne bezpopiołowe.

Podstawową funkcją detergentów stosowanych w składzie olejów smarnych i paliw, jest ograniczenie do minimum tworzenia się trwałych warstw osadów na powierzchni metalu. Utrzymują one w czystości powierzchnie metaliczne (np. ścianki cylindrów, tłoków, pierścieni) silnika lub sprężarki. Utrzymywanie cząstek zanieczyszczeń stałych w stanie zdyspergowanym ułatwia proces oczyszczania oleju i nie dopuszcza do blokowania przegród filtracyjnych szlamami.

Z chemicznego punktu widzenia detergenty są to związki, które są zbudowane z długiego łańcucha węglowodorowego (tzw. „ogon”) i grupy polarnej, zawierającej atom metalu (tzw. „głowa”). Część węglowodorowa ułatwia rozpuszczenie dodatku w bazie olejowej, natomiast grupa polarna przylega do powierzchni metalu lub cząstek zanieczyszczeń stałych.

Jako detergenty najczęściej są stosowane sulfoniany, fenolany, siarkowane fenolany oraz salicyniany magnezu lub wapnia.

Detergenty najczęściej są stosowane w składzie olejów silnikowych, olejów sprężarkowych, niektórych olejów hydraulicznych, olejów hartowniczych oraz cieczy do obróbki metali skrawaniem. W przypadku stosowania w składzie olejów silnikowych detergentów, zawierających w składzie metale, niekorzystną ich cechą jest tworzenie podczas spalania popiołu osadzającego się na wewnętrznych częściach układu spalania i układu wylotowego silnika.

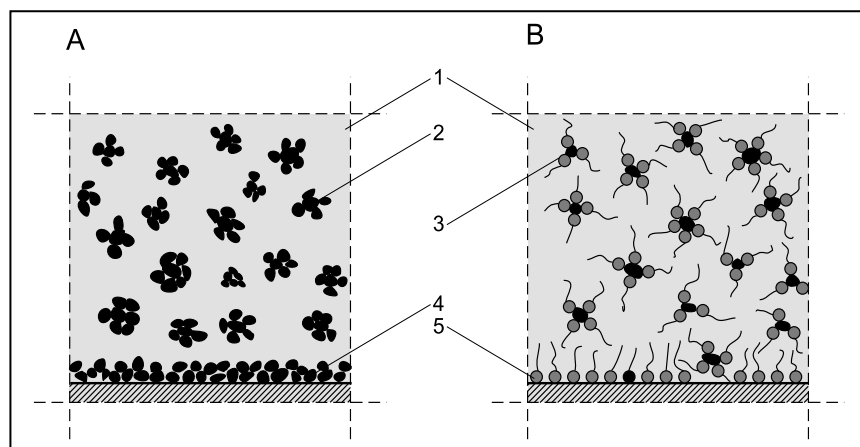
Podstawową funkcją dyspergatorów jest zwiększanie stanu zdyspergowania i przeciwdziałanie aglomeracji zanieczyszczeń stałych, zwłaszcza w niskich temperaturach. Utrzymują one cząstki zanieczyszczeń stałych w stanie zdyspergowanym, nie dopuszczając do tworzenia się tzw. szlamów niskotemperaturowych.

Z chemicznego punktu widzenia, dyspergatory są to związki, które podobnie jak detergenty są zbudowane z długiego łańcucha węglowodorowego i grupy polarnej. W tym przypadku, grupa polarna nie zawiera atomu metalu. Część węglowodorowa ułatwia rozpuszczenie dodatku w bazie olejowej, natomiast grupa polarna przywiera do powierzchni cząstek zanieczyszczeń stałych. Zazwyczaj grupa polarna zawiera jeden lub więcej spośród pierwiastków takich jak: tlen, azot, fosfor.

Jako dyspergatory najczęściej są stosowane:

- alkilobursztynoimidy,
- estry kwasu alkilobursztynowego,
- alkiłowe pochodne fenoli,
- zasady Mannicha³.

³ Zasady Mannicha – organiczne związki chemiczne o charakterze zasadowym, otrzymywane w procesie kondensacji alkilofenoli, poliaminy i formaldehydu.



Rys. 2.14 Mechanizm działania detergentów
A – baza olejowa bez detergentu, B – baza olejowa z detergentem; 1 – baza olejowa, 2 – aglomeraty cząstek zanieczyszczeń stałych, 3 – cząsteczki zanieczyszczeń otoczone zaadsorbowanymi cząsteczkami detergentu, 4 – osad przywarły do podłoża metalowego, 5 – cząsteczki detergentu przywarłe do podłoża metalowego usuwają cząstki osadu

Ważną funkcją detergentów i niektórych rodzajów dyspergatorów, zwłaszcza w przypadku ich stosowania w składzie olejów silnikowych, jest neutralizacja kwaśnych produktów spalania paliw (np. tlenków siarki). W takim przypadku zachodzi reakcja (2.28), pomiędzy kwaśnymi produktami spalania i zasadowymi detergentami. W wyniku tej reakcji powstają rozpuszczalne w oleju obojętne sole. Zapobiega to korozyjnemu działaniu kwaśnych produktów spalania. Obecność w oleju zasadowych detergentów objawia się jako tzw. rezerwa alkaliczna (patrz p. 4.10.5).

rozpuszczalne w oleju zasady + kwaśne produkty spalania →
rozpuszczalne w oleju sole

(2.28)

Dyspergatory są stosowane w składzie olejów, od których jest wymagane, aby produkty ich spalania nie tworzyły popiołu, np. olejów do tłokowych silników lotniczych.

Niektóre dyspergatory są stosowane jako tzw. dodatki dwufunkcyjne, spełniające jednocześnie funkcję dyspergatora i wiskozatora. W takim przypadku „ogon” węglowodorowy jest polimerem.

Oleje silnikowe, sprężarkowe i hydrauliczne zawierające detergenty i dyspergatory są wydzielane w odrębne grupy, a ich użytkownicy powinni być informowani o obecności tych dodatków w składzie oleju. Konieczność informowania użytkowników o obecności w składzie olejów detergentów i dyspergatorów wynika z tego, że jeżeli wcześniej w układzie był stosowany olej nie zawierający tego rodzaju dodatków, a następnie zostanie zastosowany olej z detergentami lub dyspergatorami, to osady osadzone na wewnętrznych częściach układu zostaną bardzo szybko odmyte. Może to spowodować rozszczelnienie układu. Odmyte osady zatykają filtry i są powodem gwałtownej zmiany właściwości oleju. Z tych względów przejście w eksploatacji z olejów bez detergentów i dyspergatorów na oleje z takimi dodatkami, wymaga stosowania specjalnych procedur wymiany.

Deemulgatory i emulgatory – są to powierzchniowoczynne związki chemiczne, działające na granicy faz ciecz–ciecz (olej – woda).

Deemulgatory są dodawane do olejów smarnych wówczas, gdy zachodzi potrzeba szybkiego rozdzielania emulsji olej–woda, np. w olejach do turbin wodnych i parowych.

Mechanizm działania deemulgatorów polega na związaniu lub zneutralizowaniu związków powierzchniowoczynnych, rozpuszczonych w oleju. Metody badania deemulgowalności olejów bardziej szczegółowo przedstawiono w p. 4.14.

Emulgatory są dodawane do cieczy eksploatacyjnych wówczas, gdy zachodzi potrzeba, aby emulsja olej woda łatwo powstawała lub aby była trwała, np. w cieczach wodno-olejowych, do obróbki metali

skrawaniem (patrz p. 12) i środkach antyadhezyjnych do uwalniania betonu z form (patrz p. 6).

Mechanizm działania emulgatorów jest analogiczny do mechanizmu działania dyspergatorów. W tym przypadku, cząsteczki emulgatora otaczają kropelki wody, nie pozwalając na ich łączenie, a tym samym na rozdział emulsji.

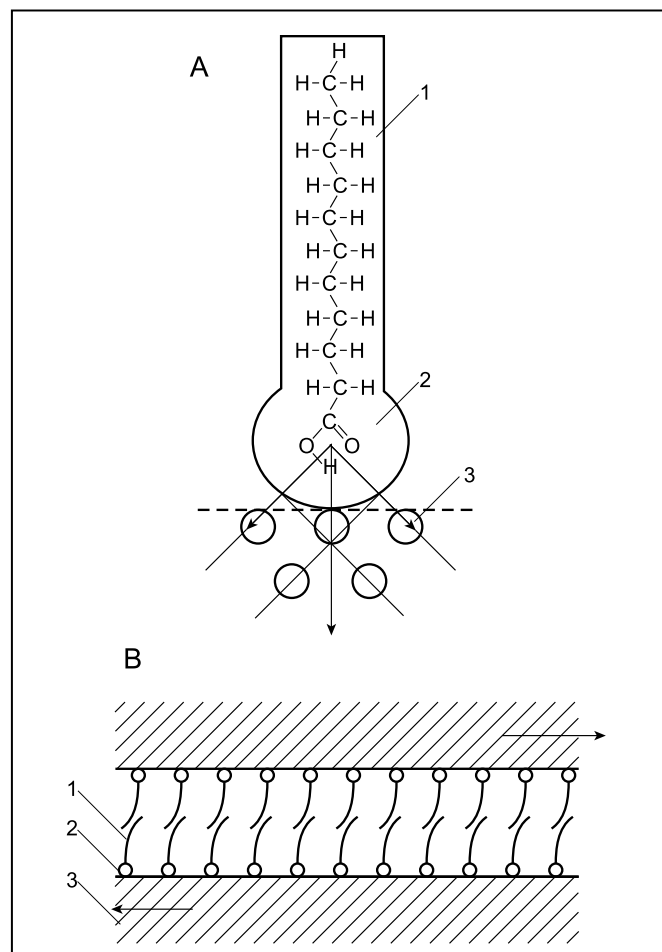
Dodatki smarowościowe jest to grupa związków chemicznych, działających w warunkach tarcia granicznego. Wyróżnia się dodatki:

- przeciwzużyciowe (AW),
- przeciwzatarciowe (EP),
- modyfikatory tarcia.

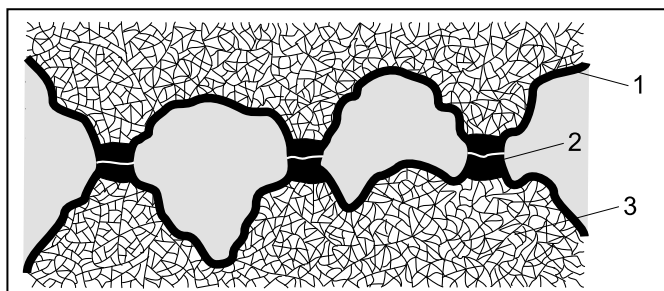
Poprawę właściwości smarnych można również uzyskać w wyniku mieszania olejów mineralnych z estrami organicznymi, tłuszczami zwierzęcymi lub roślinnymi. Otrzymywane w ten sposób oleje są nazywane olejami kompaudowanymi.

Dodatki przeciwzużyciowe (dodatki AW – anti wear) – jest to grupa dodatków smarowościowych, które wprowadzone do środków smarnych, przeciwdziałają nadmiernemu zużyciu współpracujących powierzchni skojarzenia trącego, a także zmniejszają współczynnik tarcia.

Mechanizm ich działania polega na tworzeniu na powierzchni metalu trwałej warstewki polarnych cząsteczek dodatku. Przylega on do powierzchni metalu, nie tworząc z nim trwałych związków chemicznych. Cząsteczki dodatku tworzą z powierzchnią metalu związki chemiczne lub są związane z podłożem międzycząsteczkowymi siłami van der Waalsa. Mechanizm adsorbowania polarnych cząsteczek dodatku AW przedstawia rys. 2.15A. Fragment cząsteczki („głowa”) 2 jest zaadsorbowany przez cząsteczki metalu 3, natomiast jej część



Rys. 2.15 Mechanizm działania dodatków AW
A – Polarna cząsteczka dodatku AW zaadsorbowana na powierzchni metalu, B – Cząsteczki dodatku AW tworzące film olejowy („szczołki”) ograniczające możliwość bezpośredniego styku współpracujących powierzchni; 1 – „ogon” cząsteczki dodatku, 2 – „głowa” cząsteczki dodatku, 3 – metal



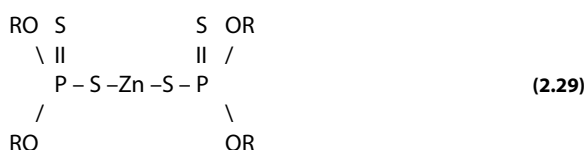
Rys. 2.16 Mechanizm działania dodatków EP
1 – warstewka dodatku EP (siarczki lub fosforany cynku) przylegająca do warstwki tlenków żelaza, 2 – miejsce styku metali w skojarzeniu trącym, 3 – metal

węglowodorowa („ogon”) 1 jest skierowana w stronę oleju, tworząc tzw. film olejowy. Obie współpracujące powierzchnie skojarzenia trącego są pokryte takim ściśle przylegającym filmem, co ogranicza możliwość bezpośredniego styku ich powierzchni, a tym samym zmniejsza zużywanie. Warstewka cząsteczek dodatku, tworzących na współpracujących powierzchniach metalu, tzw. „szcztokę” (rys. 2.15B) ułatwia wzajemne ich przemieszczanie, zmniejszając w ten sposób także współczynnik tarcia.

Dodatki przeciwzatarciowe (dodatki EP – extreme pressure) – jest to grupa dodatków smarowościowych, które są wprowadzone do środków smarnych, przeznaczonych do stosowania w tych przypadkach, gdy w skojarzeniu trącym występują bardzo duże naciski między współpracującymi powierzchniami. Jako dodatki EP najczęściej są stosowane alkilowe pochodne ditiofosforanu cynku (ZDTP), a także organiczne związki siarki, chloru i fosforu. Rodzaj dodatku EP jest zależny od metali, jakie olej ma smarować. Przykładowo niektóre dodatki EP zawierające związki siarki mogą reagować z miedzią i stopami miedzi, a dodatki fosforowe z glinem i jego stopami.

Związki te na powierzchni metalu tworzą trwale przylegającą warstewkę, wchodząc w reakcję z warstewką tlenków żelaza przylegających do powierzchni metalu, w przypadku wystąpienia dużych nacisków i w wysokiej temperaturze towarzyszącej procesom tarcia metal–metal. W przypadku zniszczenia przylegającej warstewki dodatku, następuje jej szybkie odtworzenie. Mechanizm działania dodatków EP przedstawiono na rys. 2.16. Dodatki EP przeciwdziałają nadmiernemu zużyciu współpracujących powierzchni oraz zmniejszają ryzyko wystąpienia zatarcia.

ZDTP są to związki chemiczne, o budowie strukturalnej przedstawionej wzorem (2.29). Na powierzchni metalu tworzą trwałą warstewkę siarczków lub fosforanów cynku, związków o dobrych właściwościach ochronnych, smarnych i przeciwzatarciowych.



Dodatki EP znalazły również szerokie zastosowania w składzie smarów plastycznych, zwłaszcza przeznaczonych do smarowania silnie obciążonych części maszyn, np. przekładni przemysłowych, silnie obciążonych łożysk ślizgowych i tocznych. Są one wprowadzane w składzie oleju jak to przedstawiono na rys. 2.17A lub w składzie zagęszczacza, jak przedstawia rys. 2.17B. Dodatki EP zawarte w składzie zagęszczacza działają efektywniej, lecz technologia otrzymywania takich smarów jest trudniejsza.

Modyfikatory tarcia. W zakresie niewielkich prędkości poślizgu, przy nieznacznych naciskach jednostkowych, w przypadku małej lepkości oleju, smarowanie płynne może ła-

two przejść w tarcie mieszane. Aby zapobiec drganiom ciernym i zgrzytom oraz w celu redukcji sił tarcia, zwykle są stosowane tzw. modyfikatory tarcia. Działają one w temperaturach, przy których dodatki AW i EP nie są jeszcze aktywne, tworząc jednocząsteczkowe warstwy, fizycznie zadsorbowanych, rozpuszczalnych w oleju dodatków (analogicznie jak dodatki AW) lub redukują one tarcie przez przereagowane warstwy, które mają znacznie mniejszy współczynnik tarcia, niż typowy olej bez dodatków. Z tego względu modyfikatory tarcia mogą być uważane za łagodne dodatki AW lub EP, działające przy umiarkowanych temperaturach i naciskach, w miejscach gdzie występuje tarcie mieszane. Zasadnicza różnica między modyfikatorami tarcia i dodatkami AW i EP polega na tym, że modyfikatory tarcia działają na zasadzie fizycznej

Modyfikatory tarcia, zależnie od sposobu działania, można podzielić na kilka grup:

- działające mechanicznie (stałe związki smarne np.: disiarczek molibdenu, grafit, miedź metaliczna, siarczek miedzi, PTFE, poliamid, fluorowany grafit itp.),
- tworzące warstwy adsorpcyjne (np. długołańcuchowe kwasy karboksylowe, estry kwasów tłuszczowych, eter, alkohole, aminy, amidy, imidy),
- tworzące warstwy w wyniku reakcji trybochemicznych (nasycone kwasy tłuszczowe, estry kwasów fosforowego i tiofosforowego, ksantogeniany, siarkowane kwasy tłuszczowe),
- tworzące polimery (estry etoksylowanego kwasu dikarboksylowego, estry dialkylowe kwasu ftalowego, metakrylany, nienasycone kwasy tłuszczowe, siarkowane olefiny),
- związki organometaliczne (związki molibdenu, takie jak ditiofosforany molibdenu, ditiokarbaminiany molibdenu i ich synergistyczne kombinacje z ZDTP, związki organiczne miedzi).

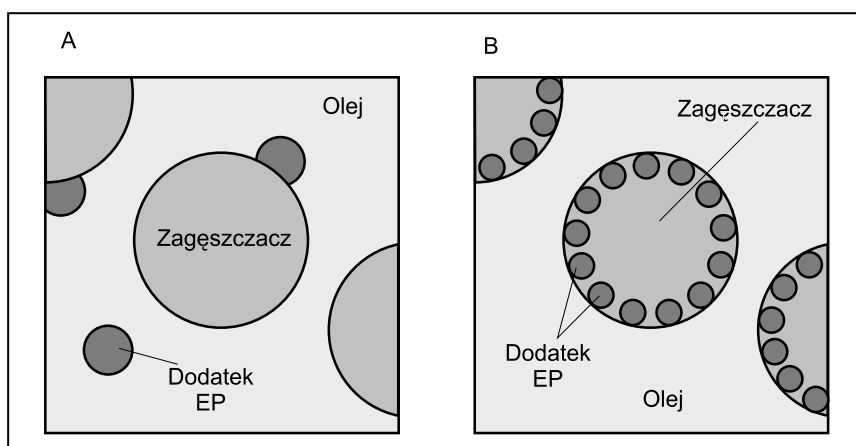
Rozpowszechnioną grupą modyfikatorów tarcia są związki działające na zasadzie adsorpcji, których działanie wzrasta wraz ze wzrostem ciężaru cząsteczkowego, w kolejności:



Podstawowe znaczenie mają kwasy karboksylowe C12 do C18, alkohole tłuszczowe i syntetyczne estry kwasów tłuszczowych lub naturalne tłuszcze (glicerydy).

Typowe zastosowania modyfikatorów tarcia to nowoczesne energooszczędne oleje silnikowe i przekładniowe, oleje do prowadnic ślizgowych, oleje do przekładni automatycznych (ATF), środki smarne do wrzecion oraz innych części maszyn z ograniczonym poślizgiem, które wymagają w składzie oleju tzw. dodatków przeciwdziałających drganiom ciernym (patrz p. 10).

Inhibitory korozji i rdzewienia są to związki chemiczne przeciwdziałające korozji stopów metali kolorowych lub rdzewieniu stopów żelaza oraz hamujące procesy korozji chemicznej materiałów konstrukcyjnych, z którymi styka się środek smarny.



Rys. 2.17 Dodatki EP w smarach plastycznych
A – dodatek EP w oleju; B – dodatek EP w zagęszczaczu

Procesy korozji i rdzewienia bardziej szczegółowo przedstawiono w p. 16. Wyróżnia się:

- inhibitory korozji, działające w strefie ciekłej,
- lotne inhibitory korozji, działające w strefie gazowej,
- inhibitory rdzewienia.

Kwaśne produkty utleniania bazy i dodatków, a w przypadku olejów silnikowych również kwaśne produkty spalania paliw, mogą wykazywać agresywność korozyjną w stosunku do materiałów konstrukcyjnych, czemu przeciwdziała się wprowadzając do oleju odpowiednie inhibitory korozji i rdzewienia.

Jako inhibitory korozji są stosowane: pochodne kwasu bursztynowego, niektóre kwasy, estry oraz aminy.

Niektóre organiczne kwasy rozpuszczają się w wolnej wodzie będącej w kontakcie z olejem. Woda często w niewielkich ilościach, towarzyszy środkom smarnym, np. w wyniku kondensacji pary wodnej z powietrza. Woda ekstrahuje i zatacza kwasy. Po osiągnięciu określonego stężenia, mogą one wywoływać rdzewienie. Specjalną grupą inhibitorów korozji są inhibitory rdzewienia. Ich zadaniem jest zapobieganie korozji elementów wykonanych ze stali, a wywołanej kontaktem z wodą lub wilgotnym powietrzem.

Jako inhibitory rdzewienia są stosowane zasadowe sulfoniary i fenolany metali, o budowie chemicznej, analogicznej do inhibitorów utlenienia i detergentów.

Niektóre małowcząsteczkowe kwasy organiczne, powstające w procesach utleniania bazy oleju, takie jak: mrówkowy, octowy, propionowy i inne są lotne. Mogą one powodować procesy korozyjne i rdzewienie materiałów konstrukcyjnych, nie będących w bezpośrednim kontakcie ze środkiem smarnym. W takich przypadkach do składu środków smarnych są wprowadzane lotne inhibitory korozji, zapewniające ochronę korozyjną powierzchni metali będących w kontakcie z fazą gazową.

Jako lotne inhibitory korozji są stosowane małowcząsteczkowe kwasy organiczne i aminy oraz niektóre inne związki organiczne, charakteryzujące się wystarczającą lotnością, aby odparować ze środka smarnego, ale jednocześnie nie tak dużą, aby odparowywać z chronionych powierzchni. Z powierzchnią metalu tworzą one związki chemiczne chroniące przed dalszą korozją tych wewnętrznych części maszyny, które bezpośrednio nie stykają się ze środkiem smarnym lub tracą z nim kontakt podczas długotrwałego postoju maszyny.

Inhibitory korozji i rdzewienia są dodawane do środków smarnych w ilości 0,5 ... 3%. W większości przypadków, nie są one dodawane do środka smarnego jako samodzielne, lecz w składzie dodatków wielofunkcyjnych. Tworzą one na powierzchni metalu trwałą warstwę chroniącą metal przed bezpośrednim działaniem: tlenu, wody i produktów utleniania składników środka smarnego.

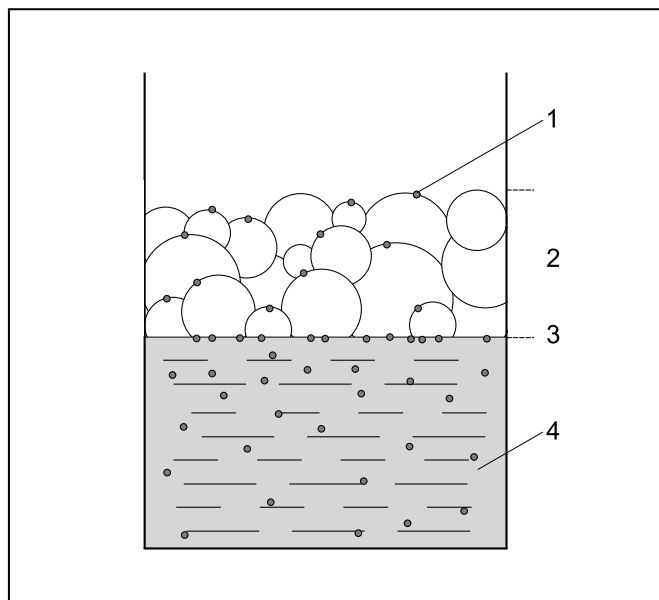
Pasywatory metali są to związki chemiczne wytwarzające na powierzchni metali cienkie, prawie niewidoczne warstewki, najczęściej tlenków, pod wpływem których metal staje się bardziej odporny na korozję (stan pasywny). Pasywatory metali najczęściej są wprowadzane do cieczy do obróbki metali skrawaniem, będących roztworami wodnymi lub emulsjami.

Dodatki przeciwpienne. Pienienie się olejów, występujące w przypadku intensywnego ich mieszania z powietrzem, może mieć wiele negatywnych skutków, takich jak:

- kawitacja,
- wypływanie oleju z układu poprzez odpowietrzniki,
- zmniejszenie ilości oleju przepływającego przez układ, co może pogorszyć smarowanie, odprowadzenie ciepła i zanieczyszczeń mechanicznych.

Powodem pienienia się olejów najczęściej są obecne w nich substancje zmniejszające napięcie powierzchniowe, stanowiące zanieczyszczenia lub wprowadzane jako: detergenty, inhibitory korozji i inne związki chemiczne o charakterze jonowym.

Jako dodatki przeciwpienne najczęściej są stosowane ciekłe silikony, o budowie liniowej lub cyklicznej, w stężeniu 5 ... 100 mg/kg (ppm). Są one nierozpuszczalne w olejach mineralnych, syntetycznych węglowodorotlenowych oraz estrowych. Me-



Rys. 2.18 Mechanizm działania silikonowych dodatków przeciwpiennych
1 – kropelki silikonu, 2 – warstwa piany, 3 – powierzchnia cieczy, na której gromadzą się cząsteczki silikonu, 4 – olej

chanizm ich działania polega na przerywaniu pęcherzyków powietrza, na powierzchni których są usytuowane mikrokropelki silikonu (rys. 2.18).

W niektórych olejach hydraulicznych oraz cieczach do obróbki metali, obecność silikonów w oleju może być szkodliwa. W takich przypadkach są stosowane dodatki przeciwpienne nie zawierające silikonów, takie jak: glikole, polietera, estry fosforanowe.

Barwniki w składzie środków smarnych, są stosowane w celu odróżnienia niektórych specjalnych gatunków olejów i smarów plastycznych, np.: lotniczych olejów hydraulicznych. Obecność barwnika w oleju pozwala na szybką lokalizację miejsca przecieku. Do barwienia olejów smarnych i smarów plastycznych, są stosowane tzw. barwniki tłuszczowe, łatwo rozpuszczalne w olejach, a nie rozpuszczalne w wodzie. Od barwników wymaga się, aby nie zmieniały właściwości środka smarnego, nie barwiły lakierów, a także nie zmieniały koloru podczas pracy. W przypadku niektórych barwników, niezbędne jest dodawanie stabilizatorów koloru, którymi najczęściej są odpowiednie inhibitory utlenienia.

Substancje zapachowe są stosowane w celu zamaskowania nieprzyjemnego zapachu składników niektórych środków smarnych. Jako środki zapachowe są stosowane różnego rodzaju naturalne olejki eteryczne i niektóre związki chemiczne o przyjemnym zapachu, np. estry niskocząsteczkowych kwasów tłuszczowych.

Dodatki wielofunkcyjne. Niektóre substancje mogą jednocześnie spełniać kilka funkcji, z tego względu są nazywane dodatkami wielofunkcyjnymi. Przykładami dodatków wielofunkcyjnych mogą być:

- ditiofosforan cynku (ZDPP) stosowany jako inhibitor utlenienia i dodatek smarnościowy
- fosforan trójkretylu, stosowany jako inhibitor korozji i dodatek smarnościowy,
- kopolimer metakrylanu i N-winylopirydonu, stosowany jako modyfikator właściwości reologicznych i dodatek dyspergujący.

Pakiety dodatków. Niektóre wyspecjalizowane firmy oferują producentom środków smarnych, tzw. pakiety dodatków. Są to mieszaniny dodatków jednofunkcyjnych i/lub wielofunkcyjnych, najczęściej rozpuszczonych w oleju bazowym. Udział poszczególnych rodzajów dodatków w pakiecie oraz poziom dozowania pakietu, są związane z wymaganiami, jakie olej powinien spełniać. Celem stosowania pakietów dodatków jest uproszczenie procesu blendingu. Niektóre dodatki, ze względu na zachodzące między nimi reakcje chemiczne, nie mogą być stosowane w pakietach.

2.5.4 Smary stałe

Smary stałe są definiowane jako ciała stałe, mające zdolność zmniejszania zużycia i przeciwdziałające zacieraniu skojarzenia trącego.

Wyróżnia się dwa następujące, podstawowe rodzaje smarów stałych:

- mające specjalną płytkową budowę krystaliczną
- działające na zasadzie mechanicznej,
- tworzące film metaliczny,
- substancje aktywne chemicznie.

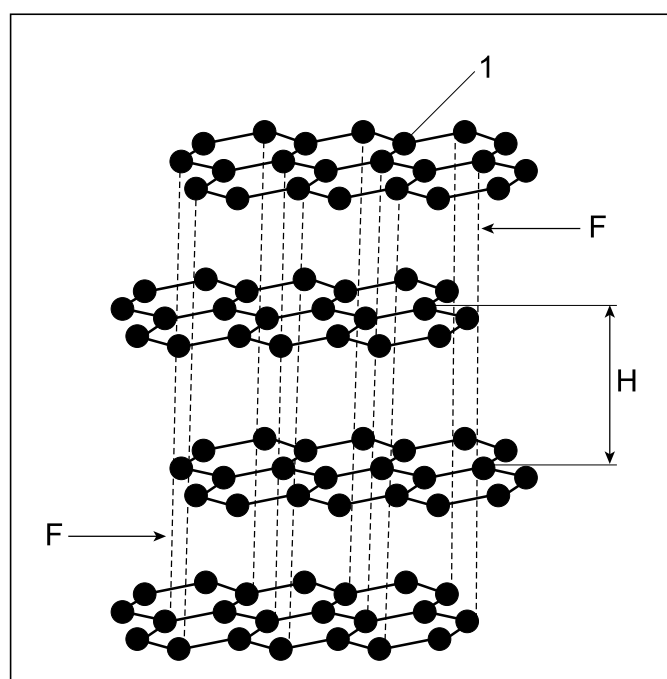
Niektóre substancje o płytkowej, heksagonalnej strukturze krystalicznej i właściwościach anizotropowych, pod wpływem przyłożonego, niewielkiego naprężenia ścinającego, wykazują łatwe przemieszczania warstw kryształu. Właściwość ta jest podstawą do ich stosowania jako środków smarnych lub składników środków smarnych. Przykładem takiej substancji jest grafit, którego struktura przedstawiona na rys. 2.19, ilustruje tę właściwość.

Obok grafitu znanych jest wiele związków chemicznych o takich właściwościach. Powszechne zastosowanie znalazły następujące związki chemiczne i minerały:

- azotek boru – NB,
- boraks – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$,
- mika – $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$,
- diselenek molibdenu – MoSe_2 ,
- disiarczek molibdenu – MoS_2 ,
- disiarczek wolframu – WS_2 ,
- talk – $\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$.

Smarowanie substancjami działającymi na zasadzie mechanicznej, polega na utrzymywaniu współpracujących powierzchni skojarzenia trącego w odległości większej niż sumaryczna wysokość nierówności. Działają one analogicznie, jak sprężyste kulki gęsto rozsypane na poziomej powierzchni i przykryte drugą powierzchnią. Do tej grupy smarów stałych zalicza się:

- politetrafluoroetylen (PTFE) i różne stałe polimery zawierające w cząsteczce atomy fluoru,
- polietylen (PE) i polipropylen (PP),



Rys. 2.19 Struktura krystaliczna grafitu
1 – atomy węgla, F – siły powodujące ślizganie warstw grafitu po sobie, H – odległość między warstwami

- poliuretany (PU),
- poliamidy,
- polisilikony.

Smarowanie i zmniejszanie zużycia może również być osiągnięte poprzez pokrycie współpracujących powierzchni cienkim filmem metalu, bardziej miękkiego niż materiał konstrukcyjny skojarzenia trącego. Metal taki wypełnia szczeliny i skazy występujące na smarowanej powierzchni, wygładzając ją i oddzielając od drugiej współpracującej powierzchni. Do takich metali zalicza się:

- ołów (Pb),
- cyna (Sn),
- srebro (Ag),
- złoto (Au),
- miedź (Cu),
- i niektóre inne metale.

W niektórych przypadkach, jako smary stałe są stosowane substancje aktywne chemicznie, to znaczy takie, które wchodzi w reakcję ze smarowanymi powierzchniami, tworząc nowe związki chemiczne, o lepszych właściwościach smarujących lub izolujące współpracujące powierzchnie skojarzenia trącego.

2.6 Technika smarownicza

Pod pojęciem technika smarownicza rozumie się:

- urządzenia techniczne, służące do doprowadzenia środka smarnego do skojarzenia trącego,
- środek smarny o właściwościach wymaganych do smarowania skojarzenia trącego, w warunkach eksploatacji,
- wiedzę o poprawnym smarowaniu.

Istnieje bardzo wiele rozwiązań konstrukcyjnych układów smarowania maszyn i urządzeń służących do doprowadzania środka smarnego do skojarzeń trących. Z tego względu, w niniejszym opracowaniu przedstawiono jedynie przykłady rozwiązań, ilustrujących zasadę poszczególnych sposobów smarowania. Niektóre urządzenia smarowe są znormalizowane, co umożliwia ich zamienne stosowanie, w maszynach pochodzących od różnych producentów.

2.6.1 Sposoby smarowania

Stosowane sposoby smarowania zależą od bardzo wielu czynników, jakimi są:

- rodzaj i właściwości środka smarnego,
- konstrukcja i warunki pracy układu smarowego,
- niezbędna ilość środka smarnego,
- okresowość obsługi,
- sposób doprowadzenia środka smarnego do skojarzenia trącego.

Uproszczone⁴ podział sposobów smarowania, ze względu na rodzaj środka smarnego, przedstawiono w tabeli 2.6.

Ponadto, ze względu na ciśnienie jakie panuje w układzie, wyróżnia się smarowanie:

- bezciśnieniowe, gdy w momencie dozowania środka smarnego w układzie smarowania maszyny występuje ciśnienie nie wyższe od atmosferycznego,
- ciśnieniowe, gdy środek smarny musi być wtłaczany do układu pod określonym ciśnieniem, wyższym od atmosferycznego, ze względu na panujące w układzie ciśnienie.

Ze względów praktycznych, sposoby smarowania są najczę-

⁴ Inne podziały sposobów smarowania znajdzie Czytelnik w pracy: Zbigniew Lawrowski: Technika smarowania, PWN, Warszawa.

TABELA 2.6 Ogólna charakterystyka sposobów smarowania

Środek smarny	Sposób smarowania	Urządzenia smarownicze	Najczęstsze zastosowania
Olej smarowy, smarowanie skąpe	Kropłowe	Smarownica kropłowa	Wszystkie typy łożysk tocznych, łożyska ślizgowe
	Mgłą olejową	System smarowania mgłą olejową	Wszystkie typy łożysk tocznych
	Olejowo-powietrzne	System smarowania olejowo-powietrzego	Wszystkie typy łożysk tocznych, przekładnie mechaniczne
Olej smarowy, smarowanie pełne	Zanurzeniowe	System smarowania zależny od konstrukcji smarowanego mechanizmu	Wszystkie typy łożysk tocznych, przekładnie mechaniczne, przeguby, wrzeciona
	Obiegowe	System smarowania obiegowego	Wszystkie typy łożysk tocznych, łożyska ślizgowe, przekładnie mechaniczne, wrzeciona
	Natryskowe	System smarowania obiegowego z dyszami natryskowymi	Wszystkie typy łożysk tocznych, przekładnie mechaniczne
Smar plastyczny	Na cały okres żywotności	Nie są wymagane	Wszystkie typy łożysk tocznych poza łożyskami baryłkowymi wzdłużnymi, przeguby, sprzęgła
	Z dosmarowywaniem	Smarowniczka ręczna lub pompa smarowa	Wszystkie typy łożysk tocznych, przekładnie mechaniczne
	Rozpyleniowe	System smarowania zależny od konstrukcji smarowanego mechanizmu	Wszystkie typy łożysk tocznych, przekładnie mechaniczne
Smar stały	Na cały okres żywotności	Nie są wymagane	Główne łożyska kulkowe, otwarte przekładnie mechaniczne
	Z dosmarowywaniem	Łopatkki, smarownice	

ściej klasyfikowane ze względu na sposób obsługi maszyny. Wyróżnia się:

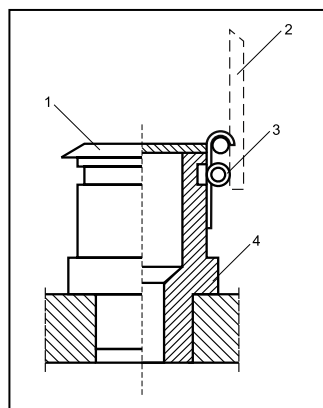
- smarowanie ręczne,
- smarowanie samoczynne,
- smarowanie automatyczne.

2.6.2 Smarowanie ręczne

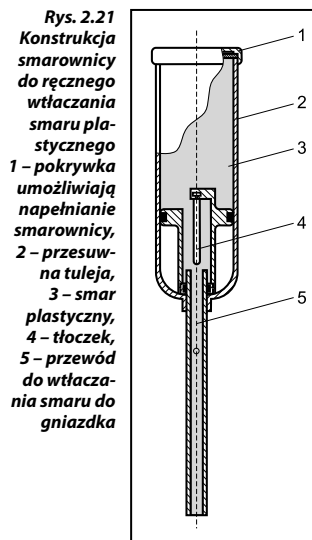
Smarowanie ręczne polega na okresowym doprowadzeniu środka smarnego do skojarzenia trącego, przez personel obsługujący maszynę. W takim przypadku, maszyna zazwyczaj jest wyposażona w specjalne zaworki lub rzadziej otwory, przez które środek smarny jest doprowadzany do skojarzenia trącego olejkami lub smarownicami ręcznymi.

Zaworki lub otwory smarownicze są rozmieszczone w pobliżu wymagających smarowania skojarzeń trących. Środek smarny jest dozowany i doprowadzany w określonych odstępach czasu, najczęściej ustalonych przez producenta maszyny, w tzw. kartach smarowniczych lub instrukcjach obsługi maszyny. Przykład konstrukcji znormalizowanego typoszeregu zaworków o różnych wymiarach, przedstawia rys. 2.20. Korzystnie jest, gdy zaworek taki jest wyposażony w pokrywkę, uniemożliwiającą przedostawanie się zanieczyszczeń stałych i wody do skojarzenia trącego. Otwór zaworka jest dostosowany do końcówki smarownicy.

Pokrywka w położeniu „zamknięte” chroni układ przed zanieczyszczeniami zewnętrznymi, a w położeniu „otwarte” umożliwia łatwe doprowadzenie środka smarnego do skojarzenia trącego.



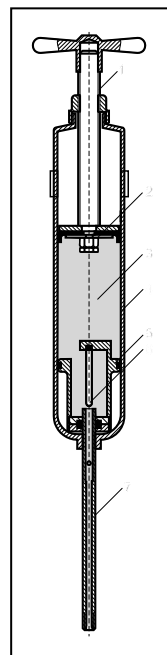
Rys. 2.20 Konstrukcja znormalizowanego zaworka smarowego z odchylaną pokrywką
1 – pokrywka w położeniu „zamknięte”,
2 – pokrywka w położeniu „otwarte”,
3 – sprężyna ustalająca położenie pokrywki, 4 – tulejka z gwintem do umocowania w obudowie skojarzenia trącego



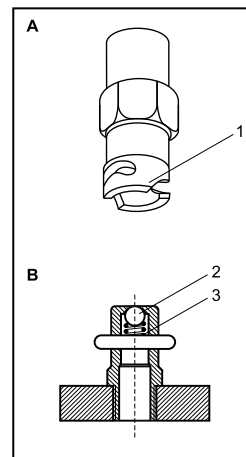
Rys. 2.21 Konstrukcja smarownicy do ręcznego wtlaczania smaru plastycznego
1 – pokrywka umożliwiająca napełnianie smarownicy,
2 – przesuwana tuleja,
3 – smar plastyczny,
4 – tłoczek,
5 – przewód do wtlaczania smaru do gniazdka

Do ręcznego doprowadzania oleju smarnego do układów bezciśnieniowych są stosowane ręczne olejkarki, o bardzo zróżnicowanej konstrukcji i pojemności (od kilku mililitrów do kilku litrów), a do smarów plastycznych ręczne smarownice, przykładowo przedstawione na rysunkach 2.21 oraz 2.22.

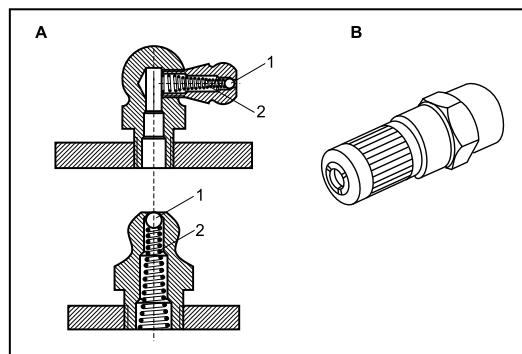
Układy, w których środek smarny znajduje się pod niewielkim ciśnieniem są wyposażone w specjalne zaworki zwrotne, uniemożliwiające wypływanie środka smarnego z układu, o konstrukcji przy-



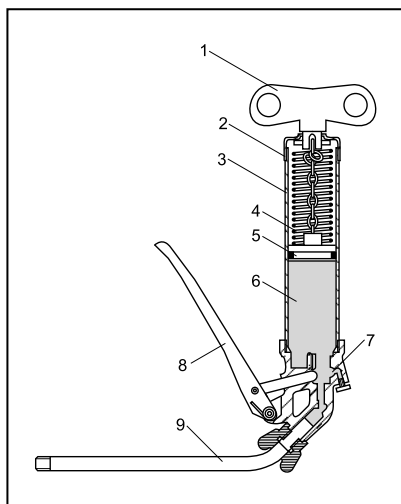
Rys. 2.22 Konstrukcja smarownicy z tłokiem do ręcznego wtlaczania smaru plastycznego
1 – śruba napędzająca tłok, 2 – tłok, 3 – smar plastyczny, 4 – pojemnik na smar, 5 – mechanizm zaworka, 6 – tłoczek, 7 – przewód do wtlaczania smaru do gniazda



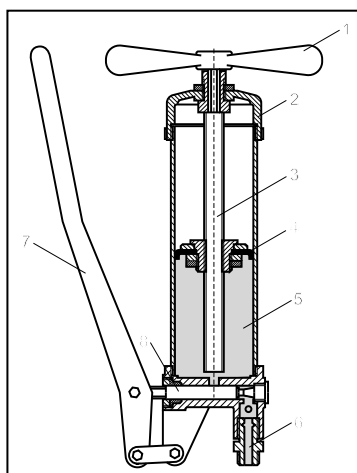
Rys. 2.23 Konstrukcja przyłącza bagnetowego i zaworku zwrotnego do układów smarowania, w których olej znajduje się pod niewielkim ciśnieniem
A – zaworek kulowy, B – przyłącze typu „bagnetowego”, 1 – przyłącze typu bagnetowego, 2 – kulka zaworka, 3 – sprężyna utrzymująca kulkę w położeniu zamkniętym



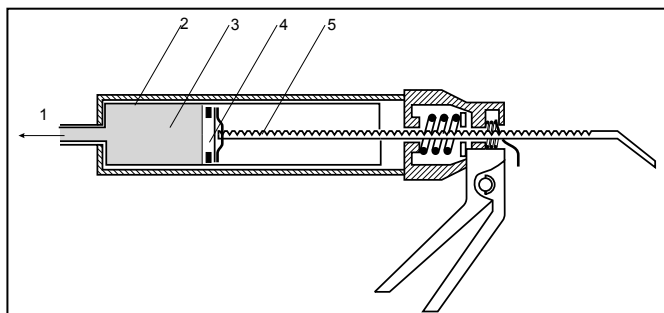
Rys. 2.24 Konstrukcja przyłącza „wiertarskiego” i zaworku zwrotnego do układów smarowania, w których olej znajduje się pod niewielkim ciśnieniem
A – zaworek smarowniczy, kulowy, B – przyłącze typu „wiertarskiego”, 1 – kulka zaworka, 2 – sprężyna utrzymująca kulkę w położeniu zamkniętym



Rys. 2.25 Smarownica ręczna do podawania smaru pod naciskiem sprężyny.
 1 – uchwyt do wyjmowania tłoka, 2 – łańcuch, 3 – obudowa, 4 – sprężyna napędzająca tłok, 5 – tłok, 6 – środek smarny, 7 – zaworek, 8 – dźwignia zaworki, 9 – przewód doprowadzający środek smarny



Rys. 2.26 Smarownica ręczna do podawania smaru z mechanizmem śrubowym
 1 – pokrętko śruby, 2 – pokrywa, 3 – śruba napędzająca tłok, 4 – tłok, 5 – środek smarny, 6 – przewód doprowadzający środek smarny, 7 – dźwignia zaworki, 8 – zaworek



Rys. 2.27 Smarownica pistoletowa z wymienną tubą zawierającą smar plastyczny
 1 – przewód doprowadzający środek smarny, 2 – wymienna tuleja ze smarem, 3 – smar plastyczny, 4 – tłok, 5 – cięgło napędzające tłok

kładowo przedstawionej na rysunkach 2.23B i 2.24A. Wymagają one stosowania smarownic wyposażonych w tzw. szybkozłącza, których przykłady konstrukcji również przedstawiono na powyższych rysunkach. Szybkozłącze jest tak skonstruowane, że podczas łączenia samoczynnie otwiera ono zaworek (najczęściej kulowy), umożliwiając wtłaczanie środka smarnego do smarowanego mechanizmu.

W takich rozwiązaniach konstrukcyjnych, siła niezbędna do wtłoczenia środka smarnego jest nieco większa. Z tego względu smarownice są wyposażane we wspomagające sprężyny (rys. 2.25) powodujące przesuw tłoka. W innych rozwiązaniach przesuw tłoka jest powodowany po przez obrót centralnie usytuowanej śruby (rys. 2.26). Zawór umożliwiający wypłynięcie środka smarnego ze smarownicy jest uruchamiany specjalną dźwignią. W smarownicach tego typu, końcówka doprowadzająca środek smarny ma gwint umożliwiający przyłączenie przewodu wyposażonego w szybkozłącze, lub innego umożliwiającego hermetyczne połączenie z zaworkiem smarowniczym maszyny. W smarownicach ręcznych środek smarny jest uzupełniany okresowo, po wyczerpaniu porcji, jaką zostały napełnione.

Istnieją również rozwiązania konstrukcyjne smarownic ręcznych, gdzie smar plastyczny jest umieszczony w wymiennej tubie, przeznaczonej do jednorazowego zastosowania. Smar z takiej tuby jest wypychany działaniem tłoka uruchamianego dźwignią, w którą jest wyposażony specjalny pistolet (rys. 2.27).

2.6.3 Smarowanie samoczynne

Smarowanie samoczynne jest stosowane, gdy smarowanie okresowe jest niewystarczające do zapewnienia smarowania hydrodynamicznego lub, gdy częstotliwość smarowania ręcznego powinna być duża. Smarowanie samoczynne może być: beciśnieniowe lub pod ciśnieniem. Wśród indywidualnych urządzeń smarowniczych działających beciśnieniowo wyróżnia się smarowanie:

- grawitacyjne,
- knotowe (kapilarne),
- zanurzeniowe,
- rozbryzgowo,
- powielaczowe.

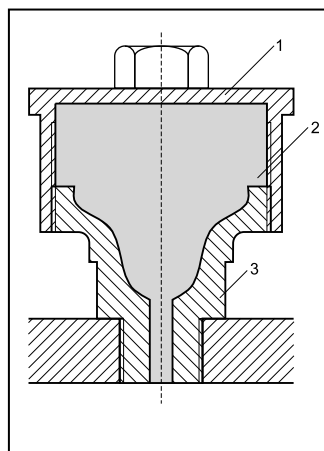
Wiele rozwiązań konstrukcyjnych sposobów doprowadzania środka smarnego do skojarzeń trących jest oparte na zasadzie działania urządzeń mechanicznych, napędzanych ręcznie lub poprzez mechanizmy o bardzo zróżnicowanej konstrukcji, począwszy od bardzo prostych jak to przedstawia rys. 2.28, w których smar jest wtłaczany poprzez okresowe dokręcanie pokrywy lub tłoka (rys.2.29).

Stosunkowo prostym i skutecznym rozwiązaniem są smarowniczki działające okresowo i samoczynnie, w których tłok jest napędzany sprężyną (rys. 2.30 i 2.31), a ilość podawanego smaru może być regulowana ręcznie, zaworkiem.

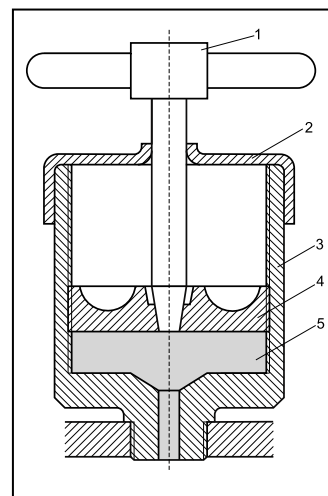
W niektórych konstrukcjach przesuw tłoka jest dokonywany w sposób ciągły, mechanizmem zewnętrznym (rys. 2.32), tylko podczas pracy maszyny.

Istnieją rozwiązania konstrukcyjne indywidualnych smarowniczek, działających na zasadzie rozprężania gazu wytwarzanego przez substancje chemiczne. Uruchomienie smarowniczki następuje w chwili wprowadzenia zawartego w ampułce inicjatora do płynnego elektrolitu, znajdującego się w elastycznym zbiorniku. Zachodząca reakcja powoduje wydzielanie się gazu. Rozprężający się gaz powoduje nacisk na tłok, który powoduje wypływ smaru do smarowanego mechanizmu. Przykład tego typu smarowniczki przedstawia rys. 2.33.

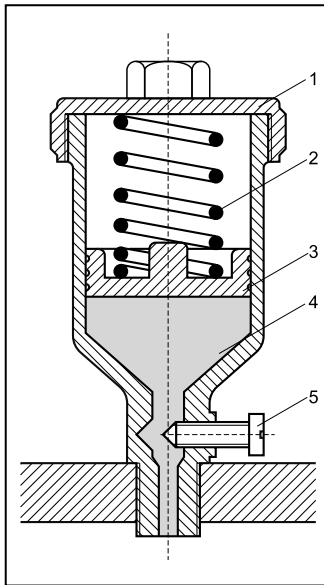
W przedstawionym rozwiązaniu smarowniczka jest uruchamiana poprzez przekręcenie śruby 1, która rozgniata ampułkę 2 zawierającą inicjator 3, wchodzący w reakcję z elektrolitem 4. W momencie stłuczenia ampułki aktywizuje się komora gazowa,



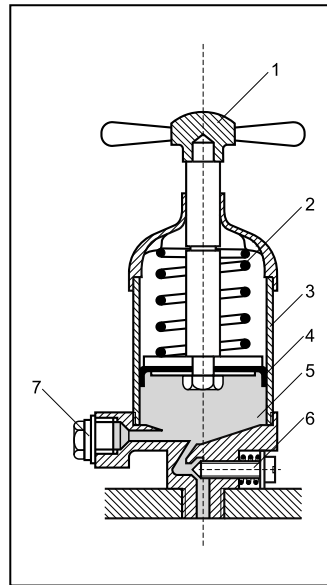
Rys. 2.28 Indywidualna ręczna smarownica do smaru plastycznego
 1 – pokrówka stanowiąca tłok i pojemnik na smar plastyczny, 2 – smar plastyczny, 3 – gniazdo smarownicze



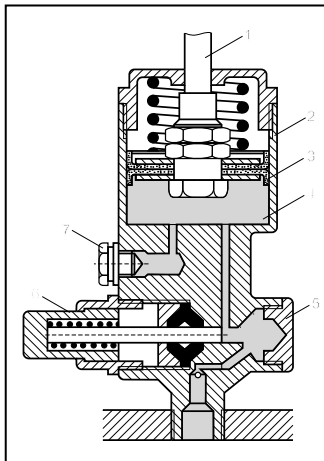
Rys. 2.29 Indywidualna smarownica z ręcznym napędem tłoka
 1 – pokrówka tłoka, 2 – pokrówka umożliwiającą wprowadzenie smaru, 3 – pojemnik na smar, 4 – tłok, 5 – smar plastyczny



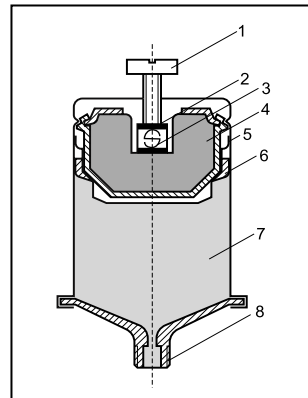
Rys. 2.30 Indywidualna smarownica ze sprężynowym napędem tłoka
1 – pokrywa umożliwiająca wprowadzenie smaru, 2 – sprężyna tłoka, 3 – tłok, 4 – smar plastyczny, 5 – zawór do regulacji dozowania smaru



Rys. 2.31 Smarowniczka z ręczną regulacją tłoka napędzanego sprężyną
1 – pokrętło, 2 – sprężyna wspomagająca działanie tłoka, 3 – tuleja stanowiąca zbiornik smaru plastycznego, 4 – tłok, 5 – smar plastyczny, 6 – zawór do regulowania dozowania smaru, 7 – wlot do okresowego napełniania



Rys. 2.32 Smarowniczka mechaniczna z zewnętrznym napędem tłoka
1 – cięgło przenoszące napęd na tłok, 2 – pojemnik na smar, 3 – tłok, 4 – smar plastyczny, 5 – korek do opróżniania smarownicy regulacji skoku zaworka, 6 – mechanizm zaworka, 7 – korek otworu do napełniania smarownicy



Rys. 2.33 Indywidualna smarowniczka działająca na zasadzie rozprężania gazu
1 – śruba do rozgniatania ampułki, 2 – ampułka, 3 – substancja inicjująca powstawanie gazu, 4 – substancja wytwarzająca gaz, 5 – zaczep tłoka, 6 – tłok, 7 – smar plastyczny, 8 – końcówka gwintowana do podłączenia przewodu lub wkręcenia do obudowy skojarzenia trącego

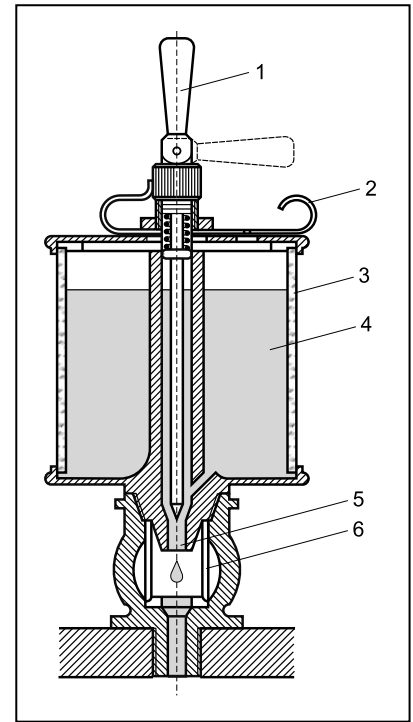
wykonana z elastycznego materiału. Smar jest wypychany tłokiem pod wpływem powiększającej swoją objętość komory gazowej.

Smarowanie grawitacyjne polega na doprowadzaniu środka smarnego do skojarzenia trącego na zasadzie działania sił grawitacji. i w tym przypadku jest wiele różnych rozwiązań konstrukcyjnych.

Typowe rozwiązanie konstrukcyjne olejarki kropłowej, działającej na zasadzie grawitacyjnej, przedstawia rys. 2.34. Olejarki tego typu najczęściej są stosowane do smarowania poprzecznych łożysk ślizgowych, ale również do smarowania olejem wielu innych rodzajów skojarzeń trących. Szklany pojemnik zawierający olej pozwala na kontrolę jego poziomu w smarowniczce, a zawór iglicowy i wziernik, na ustalenie wymaganego dozowania.

Smarowanie grawitacyjne często jest stosowane w niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych układów przelotowych (patrz p. 5). W tego rodzaju układach smarowania olej jest podawany do zbiornika górnego, umieszczonego nad smarowanymi mechanizmami i spływa do nich grawitacyjnie, do zbiornika położonego poniżej, skąd po przefiltrowaniu, jest podawany pompą do zbiornika górnego.

Rys. 2.34 Olejarka kropłowa
1 – dźwignia otwierająca zawór iglicowy, 2 – sprężyna dźwigni, 3 – szklana tuleja stanowiąca pojemnik na olej, 4 – olej, 5 – gniazdo zaworu iglicowego, 6 – wziernik



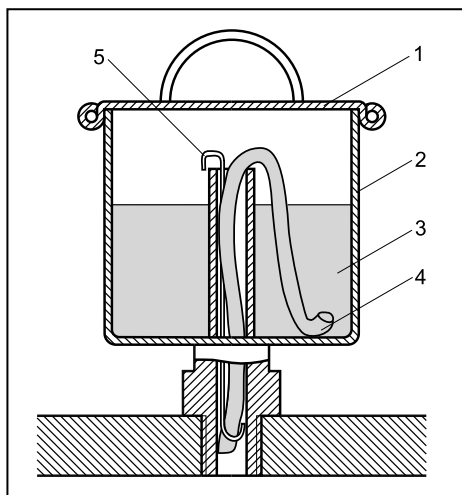
Smarowanie knotowe polega na wykorzystaniu zjawiska sił kapilarnych w knocie. W rozwiązaniu takim olej jest podawany ze zbiorniczka do skojarzenia trącego przez nasyczony olejem knot. Istnieją rozwiązania, w których olejarka knotowa jest umieszczona nad smarowanym skojarzeniem trącym oraz takie, gdy olej jest umieszczony poniżej smarowanego skojarzenia trącego. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego olejarki knotowej przedstawia rys. 2.35. W rozwiązaniach tego typu knot, jednym końcem jest zanurzony w oleju, drugi natomiast jest usytuowany w taki sposób, że styka się z powierzchnią smarowanego skojarzenia trącego lub skapują z niego krople do smarowanego mechanizmu. Olejarki knotowe najczęściej są stosowane w przypadkach indywidualnego smarowania łożysk ślizgowych oraz połączeń przewodnicowych (patrz p. 10).

Smarowanie zanurzeniowe polega na przenoszeniu oleju do skojarzenia trącego przez ruchomy element maszyny, częściowo zanurzony w oleju. Element ten, najczęściej wykonujący ruch obrotowy, nabiera na swoją powierzchnię olej z miski olejowej i przenosi go do skojarzenia trącego.

Systemy smarowania zanurzeniowego najczęściej są stosowane do smarowania przekładni zębatych (patrz p. 7). Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych tego rodzaju smarowania przedstawiono na rysunkach 7.23; 7.24; 7.25 oraz 7.26. Olej z miski olejowej jest transportowany przez zanurzone w nim koło zębate na kolejne współpracujące z nim koła. Nadmiar oleju spływa do miski olejowej. W niektórych rozwiązaniach istnieje kilka misek olejowych, w których są zanurzone kolejne koła zębate, co ilustrują rys. 7.25 i 7.26. W tego typu rozwiązaniach część oleju jest rozbryzgiwana i smaruje łożyska przekładni.

Smarowanie rozbryzgowe polega na rozbryzgiwaniu oleju z miski olejowej na smarowane skojarzenia trące, specjalnie ukształtowanym czerpakiem. Podczas obrotów maszyny czerpak zanurza się okresowo w oleju i rozbryzguje olej. Rozwiązania tego typu są często stosowane w silnikach spalinowych, do smarowania układu cylinder-tłok i sworzni-panewka, a także w silnikach małej mocy do smarowania łożysk. Smarowanie rozbryzgowe jest również stosowane w niektórych szybkoobrotowych przekładniach mechanicznych. Zaletą takiego rozwiązania jest prosta konstrukcja, wadą natomiast brak możliwości regulacji i kontroli ilości podawanego środka smarnego.

Smarowanie natryskowe polega na ciągłym lub okresowym natryskiwaniu oleju lub smaru plastycznego na skojarzenie trące. Istnieją rozwiązania, w których środek smarny jest po-



Rys. 2.35 Olejarka knotowa
1 – pokrywa umożliwiająca uzupełnianie oleju, 2 – pojemnik na olej, 3 – olej, 4 – knot, 5 – spinka umożliwiająca wymianę knota

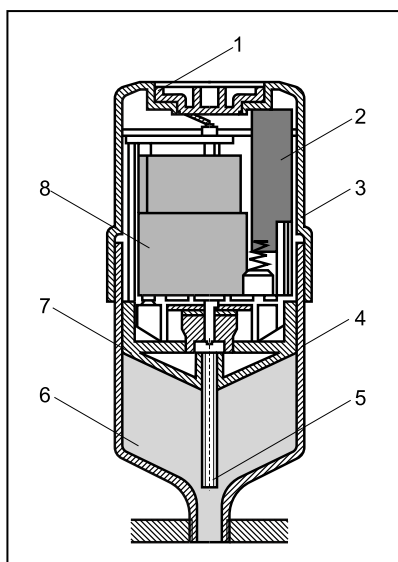
bierany ze zbiornika i natrykiwany przy pomocy indywidualnej pompki (rys. 7.22) lub w przypadku, gdy jest smarowanie wiele mechanizmów, jednocześnie, poprzez centralne systemy smarowania. Smarowanie natrykowe znalazło liczne zastosowania do smarowania przekładni linowych (rys.7.31), wolnoobrotowych łożysk tocznych, wolnoobrotowych przekładni zębatych (rys. 7.21 i 7.22), przekładni łańcuchowych, a także obrzeży kół pojazdów szynowych.

Smarowanie powielaczowe polega na nanoszeniu oleju na smarowane elementy poprzez element pośredniczący w postaci: wałka, stożka, taśmy itp. wykonanych z materiału porowatego, np. filcu. Element pośredniczący jest częściowo zanurzony w oleju, a drugą częścią styka się z powierzchnią smarowanego elementu. Ruch smarowanego elementu powoduje odpowiedni ruch elementu pośredniczącego, który przenosi na niego olej z miski olejowej. Sposób taki jest stosowany w mechanizmach wolnoobrotowych. Zaletą smarowania powielaczowego jest prosta konstrukcja układu smarowego i brak konieczności ciągłego nadzoru, który sprowadza się do dopilnowania właściwego poziomu oleju w misce olejowej.

2.6.4 Smarowanie automatyczne

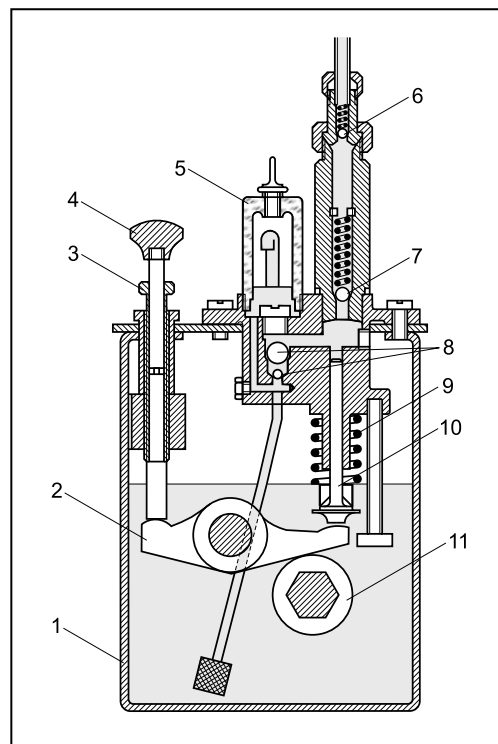
Smarowanie automatyczne ma miejsce wówczas, gdy środek smarny jest podawany do skojarzenia trącego w czasie i w ilości, jakie wynikają z chwilowego zapotrzebowania. Smarowniczki indywidualne, powszechnie stosowane w smarowaniu automatycznym, różnią się sposobem napędu tłoka wypychającego smar.

Smarowniczki z napędem elektrycznym (rys. 2.36) mają zainstalowany silniczek napędzany baterią elektryczną. Silniczek jest



Rys. 2.36 Indywidualna, automatyczna smarowniczka z napędem tłoka silnikiem elektrycznym
1 – urządzenie ustawiania i regulacji pracy silnika, 2 – akumulator, 3 – obudowa mechanizmów napędowych tłoka, 4 – pojemnik na smar, 5 – przewodnik tłoka, 6 – smar, 7 – tłok, 8 – silnik

Rys. 2.37 Indywidualna, automatyczna smarowniczka z napędem mechanicznym
1 – zbiornik oleju, 2 – dźwignia napędzająca tłok, 3 – regulator ruchu cięgła ręcznego, 4 – przycisk ręczny napędzający dźwignię, 5 – szklany wzniosek do kontroli dozowania oleju, 6,7,8 – zaworki kulowe zapobiegająca powrotowi oleju z przewodu, 9 – sprężyna powodująca ruch powrotny tłoka, 10 – tłok, 11 – krzywka napędzająca tłok



włączany i wyłączany przez nastawny układ sterujący. Włączenie silniczka powoduje przeniesienie jego ruchu obrotowego na ruch obrotowy śruby napędzającej tłok, który dozuje smar. Czas działania smarowniczki jest synchronizowany z czasem pracy maszyny lub jej zespołu. Po wyczerpaniu porcji smaru może być on uzupełniony poprzez ponowne napełnienie pojemnika. Tego typu smarowniczki mogą również być napełniane olejem. Wymaga to zastosowania specjalnego dławika.

Innym rozwiązaniem, stosowanym w indywidualnych smarowniczkach z nastawianiem czasu pracy, są smarowniczki, w których przesuw tłoka jest realizowany poprzez ciśnienie wytwarzanego gazu, przy czym ilość wytwarzanego gazu jest regulowana przy pomocy elektronicznego sterownika zasilanego baterią. Ilość dozowanego smaru może być regulowana w zależności od potrzeb, poprzez odpowiednie ustawienie przełączników. o pracy smarowniczki w danym momencie, sygnalizuje migająca dioda. Do zbiornika smarowniczki może być załadowany środek smarny właściwy do smarowania skojarzenia trącego. Niektóre wersje smarowniczek tego typu umożliwiają synchronizację pracy z cyklami pracy maszyny. W takim przypadku, końcówki elektrycznych przewodów są podłączone do styków zwierających wyłącznika lub przekaźnika, którego praca jest zależna od pracy maszyny. Smarowniczka pracuje tylko podczas pracy maszyny.

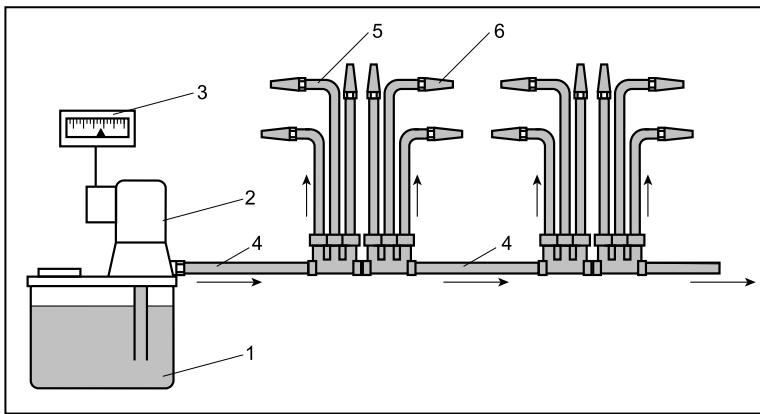
Istnieją również rozwiązania konstrukcyjne indywidualnych olejarek, napędzanych mechanicznie, w których ruch na tłoczek dozujący olej jest przenoszony z pracującej części maszyny. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego tego typu smarowniczki przedstawia rys. 2.37.

W olejarkach tego typu podawanie oleju może również odbywać się poprzez ręczne naciśnięcie dźwigni 2, napędzającej tłok 10 lub poprzez ruch obrotowy krzywki 11. Ręczne dozowanie oleju jest stosowane podczas uruchamiania maszyny.

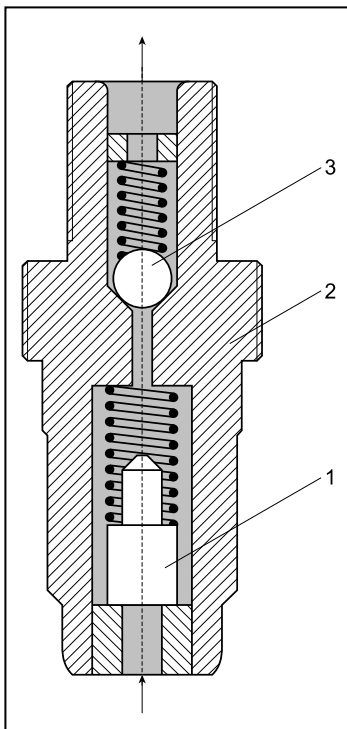
2.6.5 Systemy smarowania

W dużych zakładach przemysłowych, gdy niezbędne jest jednocześnie smarowanie wielu mechanizmów, są stosowane systemy smarowania, dozujące środek smarny, wg aktualnego zapotrzebowania. W tym zakresie wyróżnia się systemy smarowania:

- centralnego,
- obiegowego,
- mgłą olejową,



Rys. 2.38 Schemat instalacji centralnego systemu smarowania
 1 – zbiornik środka smarnego, 2 – pompa, 3 – urządzenie sterujące, 4 – przewód główny (magistrala), 5 – przewody doprowadzające środek smary do smarowanych mechanizmów, 6 – zawór dozujący (patrz rys. 2.39)



Rys. 2.39
 Przykładowa konstrukcja zaworu dozującego
 1 – tłoczek, 2 – obudowa, 3 – zawór kulowy

- olejowo-powietrznego,
- rozpyleniowego,
- przelotowego.

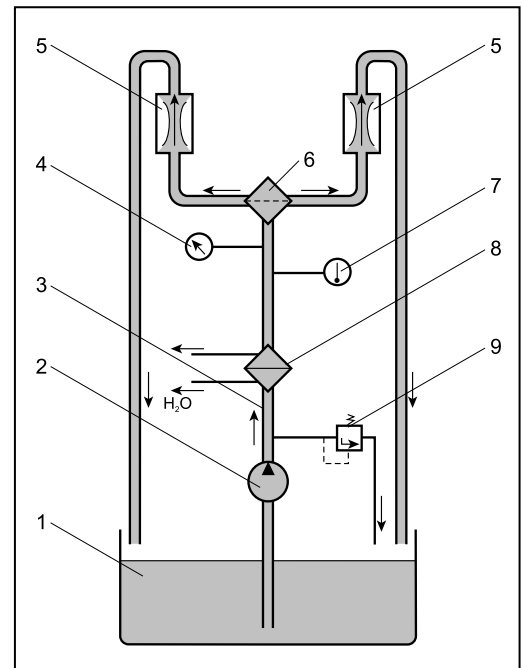
Systemy smarowania centralnego

są stosowane w celu ciągłego dostarczania środka smarnego do skojarzeń trących, zgodnie z zapotrzebowaniem. Przykładowy schemat takiego systemu przedstawia rys. 2.38. System taki składa się z zasobnika środka smarnego 1, urządzenia sterującego 2, pompy 3, przewodu głównego 4, zaworów sterujących 5, przewodów rozprowadzających do skojarzeń trących 6. Środek smarny (olej lub smar plastyczny) jest podawany przez pompę, sterowaną przez urządzenie sterujące, do zaworów sterujących. Zawory te podają

odmierzony środek smarny do zaworów dozujących (rys. 2.39). Do smarowanego skojarzenia trącego środek smarny jest podawany w ilości i w czasie, wynikających z indywidualnego zapotrzebowania. Systemy takie umożliwiają jednoczesne podawanie środka smarnego do wielu smarowanych mechanizmów.

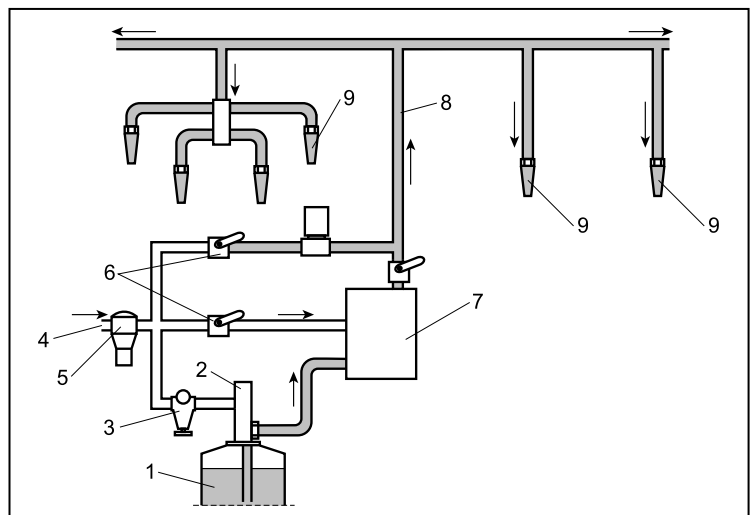
Systemy smarowania obiegowego (rys. 2.40) składają się ze zbiornika oleju 1, pompy olejowej 2, zaworu przelewowego 3, chłodnicy 4, filtrów 5, rozdzielacza 6, manometru 7, termometru 8, smarowanych mechanizmów 9 oraz przewodów powrotnych.

Olej ze zbiornika jest podawany pompą i układem przewodów podających w zaprogramowanej ilości. Systemy smarowania obiegowego, najczęściej ciśnieniowego, są stosowane w przypadkach, gdy ze smarowanych mechanizmów jest niezbędne intensywne odprowadzanie ciepła i zanieczyszczeń stałych. W niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych systemu smarowania obiegowego znajduje się układ wstępnego podgrzewania środka smarnego, używany w okresach rozruchu urządzenia po dłuższych postojach. Rozwiązanie to stosuje się w celu zmniejszenia oporów hydrodynamicznych „zimnego” oleju a tym samym skrócenia czasu jego dotarcia do smarowanych elementów.

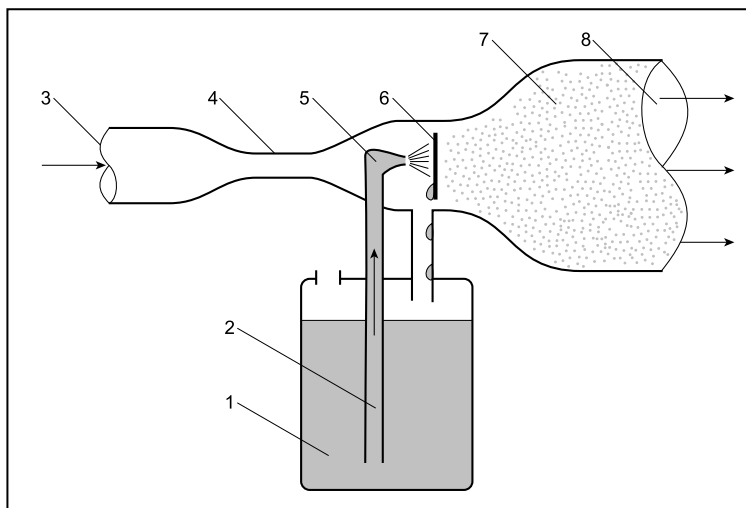


Rys. 2.40 Schemat instalacji systemu smarowania obiegowego
 1 – zbiornik oleju, 2 – pompa, 3 – przewód główny (magistrala), 4 – manometr, 5 – smarowane mechanizmy, 6 – filtr, 7 – termometr, 8 – wymiennik ciepła (chłodnica), 9 – zawór zwrotny

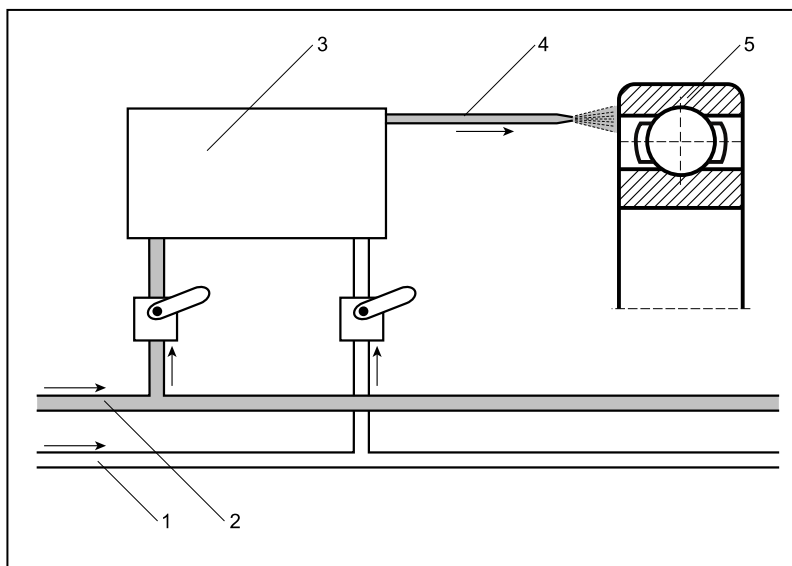
Systemy smarowania mgłą olejową (rys. 2.41) składają się z układu podawania powietrza 1, na końcu, którego jest zamontowany filtr powietrza 2, regulatora ciśnienia 3, zasobnika oleju 4, pompy olejowej 5, urządzenia do wytwarzania mgły olejowej 6, przewodów mgły olejowej 7, dysz rozpylających 8. Powietrze jest podawane przez urządzenie do wytwarzania mgły olejowej, którego zasadniczą częścią jest zwężka Venturiego. Zasadę działania zwężki Venturiego przedstawia rys. 2.42. W zwężce powietrze uzyskuje dużą prędkość i zasysa olej z zasobnika oleju. Jest on rozpylany przez rozpylacz, a duże krople osadzają się na blaszce oporowej i spływają do zasobnika. Olej, w postaci mgły, jest podawany systemem przewodów do dysz rozpylających. Mgła olejowa, o kropelkach o średnicy 0,5 ... 2 μm, jest podawana przewodami rurowymi do smarowanych mechanizmów. Część kropelek oleju osadza się na przewodach z tego względu, bezpośrednio przed smarowanym mechanizmem jest sprężana dyszą sprężarki lub zwrotną dyszą rozpylającą. Wadą tego systemu jest możliwość zanieczyszczenia otoczenia mgłą olejową.



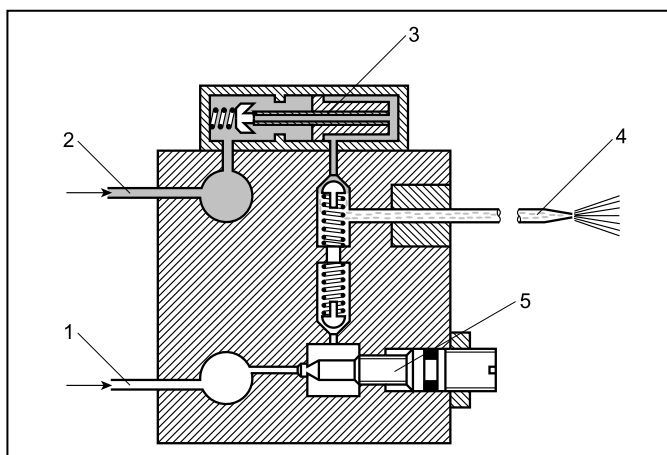
Rys. 2.41 Schemat instalacji systemu smarowania mgłą olejową
 1 – zbiornik oleju, 2 – pompa, 3 – regulator ciśnienia, 4 – przewód sprężonego powietrza, 5 – filtr powietrza, 6 – zawory w linii powietrza, 7 – urządzenie do wytwarzania mgły olejowej (rys. 2.42), 8 – przewody rozprowadzające mgłą olejową, 9 – zawory dozujące



Rys. 2.42 Urządzenie do wytwarzania mgły olejowej z zastosowaniem zwichły Venturiego
1 – zasobnik z olejem, 2 – przewód do zasysania oleju, 3 – wlot powietrza, 4 – zwichła Venturiego, 5 – rozpylacz (dysza), 6 – płytkę oporową, 7 – mgła olejowa, 8 – wylot mgły olejowej do smarowanych mechanizmów



Rys. 2.43 Schemat instalacji do smarowania olejowo-powietrznego
1 – przewód doprowadzający sprężone powietrze, 2 – przewód doprowadzający olej, 3 – urządzenie do wytwarzania mieszanki olejowo-powietrznej (rys.2.44), 4 – przewód olejowo-powietrzny, 5 – smarowane mechanizmy



Rys. 2.44 Konstrukcja mechanizmu do wytwarzania mieszanki olejowo-powietrznej
1 – przewód doprowadzający sprężone powietrze, 2 – przewód doprowadzający olej, 3 – urządzenie do dawkowania oleju, 4 – przewód doprowadzający mieszankę olejowo-powietrzną do smarowanych mechanizmów, 5 – zawór do regulacji dopływu powietrza

Istnieją liczne rozwiązania konstrukcyjne wytwornic mgły olejowej, przeznaczone do smarowania indywidualnych mechanizmów (patrz p. 14).

Systemy smarowania olejowo-powietrznego, których podstawowy schemat przedstawia rys. 2.43, działają w taki sposób, że olej jest wtryskiwany cyklicznie, w ustalonych odstępach czasu, zaworem dozującym (rys. 2.44) do stale płynącego strumienia powietrza. Ilość podawanego oleju jest regulowana urządzeniem sterującym, które okresowo włącza pompę olejową. Olej jest przenoszony po ściankach przezroczystych przewodów do smarowanego mechanizmu. Stosowanie przezroczystych przewodów ma na celu umożliwienie obserwacji strumienia płynącego oleju. Równomierny dopływ oleju zapewniają węże o średnicy wewnętrznej 2... 5 mm i minimalnej długości 400 mm. Do smarowania w tym systemie są stosowane oleje o klasie lepkości ISO VG 100... 150. Zaletą systemów smarowania olejowo-powietrznych jest uniknięcie przedostawania się mgły olejowej do otoczenia.

Systemy smarowania rozbryzgowego mają budowę analogiczną do systemów olejowo-powietrznych. Różnica polega na cyklicznym otwieraniu magnetycznego lub mechanicznego zaworu powietrznego. Ciśnienie powietrza otwiera zawór, przez który pompą (tłocznica) jest podawany środek smarny. Ilość podawanego środka smarnego jest ustalana specjalną głowicą dozującą.

Systemy smarowania rozbryzgowego są stosowane do smarowania olejem o klasie lepkości ISO VG 100 lub 150 lub smarem plastycznym o konsystencji wg NLGI 000... 3.

Systemy smarowania przelotowego działają w taki sposób, że środek smarny (olej lub smar plastyczny) jest podawany do skojarzenia trącego w sposób ciągły lub w momencie wystąpienia zapotrzebowania, a po przejściu przez smarowane mechanizmy usuwany poza układ. Systemy smarowania przelotowego bardziej szczegółowo opisano w rozdziale 5.

2.7 Elastomery a środki smarne

W celu zapobiegnięcia wyciekom środków smarnych z urządzeń smarowych maszyn, układów hydraulicznych oraz przeciwdziałania zanieczyszczenia środka smarnego zanieczyszczeniami pochodzącymi z zewnątrz są stosowane uszczelnienia. Materiały (elastomery), z których są wykonane uszczelnienia, powinny być odporne na działanie środka smarnego, w każdych normalnych warunkach pracy maszyny.

2.7.1 Materiały uszczelnień

Ze względu na duże zróżnicowanie składu chemicznego cieczy eksploatacyjnych i warunków ich pracy niezbędne jest stosowanie dużego asortymentu kompatybilnych z nimi materiałów uszczelnień. W maszynach są stosowane następujące rodzaje elastomerów (w porządku alfabetycznym):

Buna-N (NBR – nitrile-butadiene rubbers) – kauczuk butadienowo-akrylonitrylowy; kopolimery butadienu i akrylonitrylu. Wykazuje on dobrą odporność na działanie benzyny, nafty i rozpuszczalników alifatycznych. Jest rozpuszczalny w rozpuszczalnikach i paliwach o dużej zawartości węglowodorów aromatycznych i pochodnych chlorowcowych. Ulega wulkanizacji, dając tzw. gumy twarde, aż do bakelitu lub może być mieszany z tworzywami winylowymi. Może być stosowany w zakresie temperatury -55... 125°C.

Buna-S (SBR – styrene-butadiene rubbers) – kauczuk butadienowo-styrenowy; kopolimery butadienu oraz styrenu i akrylonitrylu. Ulega wulkanizacji i bywa mieszany z sadzą. Wykazuje małą odporność na działanie produktów naftowych i innych cieczy, stosowanych jako składniki środków smarnych. Odporny na działanie wody i roztworów wodnych. Może być stosowany w zakresie temperatury -55... +100°C.

Estry poliuretanowe (AU – polyester urethanes) grupa ter-

moplastycznych tworzyw sztucznych, otrzymywanych w wyniku poliaddycji di- i triizocyjannianów z poliestrami. Stosowane m.in. jako elastomery, zwłaszcza wówczas, gdy jest wymagana dobra przyczepność do metalowego podłoża (zawory, tłoki hydrauliczne itp.). Wykazują odporność na działanie produktów naftowych i mogą być stosowane w zakresie temperatury $-55 \dots +100^{\circ}\text{C}$, w uszczelnieniach dynamicznych i statycznych.

Etery poliuretanowe (EU – polyeter urethanes) grupa termoplastycznych tworzyw sztucznych, otrzymywanych w wyniku poliaddycji di- i triizocyjannianów z glikolami. Stosowane m.in. jako elastomery, zwłaszcza wówczas, gdy jest wymagana dobra przyczepność do metalowego podłoża (zawory, tłoki hydrauliczne itp.). Wykazują odporność na działanie produktów naftowych i mogą być stosowane w zakresie temperatury $-55 \dots +100^{\circ}\text{C}$, w uszczelnieniach dynamicznych i statycznych.

Kauczuki butylowe (IIR – isobutene-izoprene rubbers) kopolimery izobutylenu oraz wariantowo: izoprenu lub butadienu. Odporne na działanie wielu chemikaliów, olejów roślinnych i zwierzęcych, estrów, wykazuje dobrą odporność na działanie estrów fosforanowych. Pęcznieją pod działaniem produktów naftowych i rozpuszczalników o dużej zawartości węglowodorów aromatycznych. Mogą być stosowane w zakresie temperatury $-55 \dots +100^{\circ}\text{C}$, zarówno w uszczelnieniach statycznych jak i dynamicznych.

Kauczuki etylenowo-propylenowe (EPDM – ethylene propylene diene terpolimer rubbers) – etylenowo-propylenowo-dienowe; kopolimery etylenu i dienu propylenowego. Odporne na działanie wielu chemikaliów, olejów roślinnych i zwierzęcych, estrów, wykazują dobrą odporność na działanie estrów fosforanowych. Mogą być stosowane w zakresie temperatury $-55 \dots +150^{\circ}\text{C}$, zarówno w uszczelnieniach statycznych jak i dynamicznych.

Kauczuki fluorowe (FPM lub FKM) – ogólny symbol elastomerów zawierających jako podstawniki w łańcuchu polimeru: atomy fluoru i fluoroalkile lub grupy fluoroalkoxy. Typowym kauczukiem fluorowym jest viton.

Kauczuk naturalny (NR – natural rubbers) – naturalny polimer izoprenowy, otrzymywany z żywicy drzewa kauczukowego. NR jest odporny na działanie zimnej i gorącej wody, roztworów wodnych, pary wodnej pod niskim ciśnieniem w zakresie temperatury: $-55 \dots +100^{\circ}\text{C}$. Nie jest odporny na działanie olejów węglowodorowych, estrowych i innych.

Kauczuki neoprenowe (CR – chloroprene rubbers) – polimer chloroprenu. Jest odporny na działanie węglowodorów aromatycznych oraz produktów naftowych o niskim punkcie anilinowym. Nie wykazuje dostatecznej odporności na oleje parafinowe (o wysokim punkcie anilinowym) i rozpuszczalniki alifatyczne. Mogą być stosowane w zakresie temperatury $-55 \dots +140^{\circ}\text{C}$, zarówno w uszczelnieniach statycznych jak i dynamicznych.

Kauczuki silikonowe, silikony (SR – silicone rubbers) wielkocząsteczkowe polimery siloksanów. Odporne na działanie olejów o wysokim punkcie anilinowym i mniej odporne na działanie olejów o niskim punkcie anilinowym i rozpuszczalników węglowodorowych. Są przeznaczone do stosowania w bardzo szerokim zakresie temperatury $-75 \dots +250^{\circ}\text{C}$, głównie w uszczelnieniach statycznych.

Kauczuki tiokolowe (TR – thiokole rubbers) organiczne polisilarszki otrzymywane w procesach polikondensacji dichloropochodnych organicznych z wielosiarczkiem sodu w postaci lateksu. Podatne na wulkanizację tlenkiem cynkowym. Wykazują odporność na działanie większości rozpuszczalników za wyjątkiem węglowodorów aromatycznych oraz olejów mineralnych. Mogą być stosowane w zakresie temperatury $-55 \dots +140^{\circ}\text{C}$, w uszczelnieniach statycznych.

Teflon (PTFE – politetrafluoroethylene) stały polimer tetrafluoroetanu. Wykazuje doskonałą odporność na działanie rozpuszczalników organicznych i wszelkiego rodzaju olejów smarnych. Może być stosowany w zakresie temperatury $-40 \dots +225^{\circ}\text{C}$, zarówno w uszczelnieniach statycznych jak i dynamicznych.

Viton – kauczuk fluorowy, kopolimer fluorku winylidienu i hexafluoropropylenu. Wykazuje bardzo dobrą odporność na działanie wielu agresywnych cieczy w tym olejów. W zależności od wykazywa-

nej odporności wyróżnia się gatunki A, B, C. Gatunki B i C mogą być stosowane w kontakcie z olejami smarnymi. Może być stosowany w zakresie temperatury $-30 \dots +200$ (nawet do 225°C), zarówno w uszczelnieniach statycznych jak i dynamicznych.

2.7.2 Kompatybilność materiałów uszczelnień i cieczy eksploatacyjnych

Ważnym wymaganiami stawianym cieczom eksploatacyjnym jest zgodność materiałowa z materiałami uszczelnień i innych elementów wykonanych z kauczuków i tworzyw sztucznych (elastomerów). Zgodność materiałowa jest nazywana kompatybilnością materiałów.

Kompatybilność materiałów – jest to właściwość stykających się materiałów, które pomimo różnego pochodzenia i składu chemicznego mogą ze sobą współdziałać, w określonych warunkach eksploatacji.

Działanie cieczy eksploatacyjnych na elastomery może powodować następujące procesy:

- absorpcję cieczy przez elastomer; proces ten powoduje tzw. pęcznienie elastomeru,
- ekstrakcję przez ciecz rozpuszczalnych składników elastomeru; proces ten powoduje tzw. skurcz elastomeru,
- reakcję chemiczną składników cieczy ze składnikami elastomeru. Należy się liczyć również z przypadkami, gdy ma miejsce więcej niż jeden z tych procesów.

W przypadku jednoczesnej absorpcji i ekstrakcji, na ogół udział absorpcji jest większy niż udział ekstrakcji, wynikiem jest również pęcznienie.

Absorpcja cieczy eksploatacyjnej przez elastomer, obok pęcznienia, może istotnie zmienić właściwości fizyczne i chemiczne elastomeru, takie jak:

- wytrzymałość na rozciąganie,
- twardość,
- wydłużenie przy zerwaniu.

Z tego względu te właściwości elastomerów są badane podczas oceny działania cieczy eksploatacyjnych.

Ekstrakcja rozpuszczalnych składników elastomerów (najczęściej plastyfikatorów i inhibitorów utlenienia) może również być przyczyną zmian właściwości fizycznych i chemicznych elastomeru, zwłaszcza po usunięciu cieczy eksploatacyjnej (wysuszeniu).

Z tych względów przy ocenie kompatybilności cieczy eksploatacyjnych i elastomerów wykonuje się badania polegające na kontakowaniu elastomeru i cieczy eksploatacyjnej w określonych, ściśle znormalizowanych warunkach. Po badaniu najczęściej oznacza się następujące parametry:

- zmianę masy elastomeru,
- zmianę objętości elastomeru,
- zmianę wymiarów elastomeru,
- zmianę twardości elastomeru,
- ilość i rodzaj substancji wyekstrahowanych z elastomeru przez cieć eksploatacyjną,
- zmianę właściwości wytrzymałościowych elastomeru.

W przypadku elastomerów pracujących w warunkach stwarzających stałe lub cykliczne naprężenia elastomeru, celowe jest prowadzenie badań w warunkach modelujących rzeczywiste warunki pracy lub w rzeczywistych warunkach pracy.

W niektórych przypadkach badań kompatybilności, warunki pracy elastomeru w kontakcie z cieczą eksploatacyjną dość dobrze modelują rzeczywiste warunki eksploatacji, jednak należy się liczyć, że w rzeczywistych warunkach pracy zachowanie się elastomeru może być inne. Wynika to zarówno z wymiarów uszczelnień, kontaktu z tlenem powietrza, czasu pracy, a także stanu powierzchni elastomeru będącej w kontakcie z cieczą eksploatacyjną. Elastomery pracujące w wysokich temperaturach są szczególnie narażone na działanie tlenu atmosferycznego. Wyniki badań kompatybilności elastomerów

TABELA 2.7 Ciecze wzorcowe zalecane do badań kompatybilności elastomerów i rozpuszczalników naftowych oraz paliw nie zawierających związków tlenowych

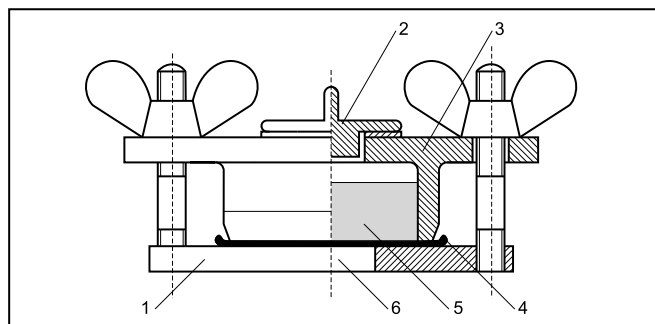
Składniki cieczy wzorcowej	Skład cieczy wzorcowej, %(V/V)					
	A	B	C	D	E	F
2,2,4-Trimetylopentan (izooktan)	100	70	50	60	-	-
Toluen	-	30	50	40	100	-
Ciekłe węglowodory parafinowe o łańcuchu prostym C12 ... C18	-	-	-	-	-	80
1-Metylonafalen	-	-	-	-	-	20

i ciecze eksploatacyjnych prowadzone w danej temperaturze nie mogą być przenoszone na temperatury wyższe. Zasada ta dotyczy również badań kompatybilności w temperaturach ujemnych, gdyż elastomer w skrajnie niskich temperaturach może wykazywać kruchość, wywołującą mikropęknięcia, przez które będzie się przesączała ciecz eksploatacyjna.

Badania kompatybilności elastomerów i ciecze eksploatacyjnych ze względu na zmienność składu tych ostatnich, zwłaszcza w przypadku produktów naftowych, najczęściej są prowadzone z użyciem tzw. cieczy wzorcowych. Funkcją cieczy wzorcowych jest narzucenie wymagań mieszanom gumowym, używanym następnie do badań konkretnego produktu. Guma wzorcowa przed zastosowaniem do badania w konkretnym oleju wcześniej musi być oceniona w cieczy wzorcowej. Przykładowe ciecze wzorcowe modelujące paliwa nie zawierające związków tlenowych, przedstawiono w tabeli 2.7

Ciecze wzorcowe A...E modelują benzyny i rozpuszczalniki naftowe, a ciecz wzorcowa F nafty i oleje napędowe. Jako ciecze wzorcowe przedstawione w tabeli 2.7 mogą również być stosowane jako rozpuszczalniki i plastyfikatory naftowe. Skład cieczy wzorcowej może być modyfikowany w zależności od rzeczywistego składu cieczy eksploatacyjnej. Zaleca się, aby badania były prowadzone na więcej niż jednej cieczy wzorcowej, wybranych w taki sposób, aby obejmowały one rzeczywiste zawartości poszczególnych składników, występujące w stosowanych cieczach eksploatacyjnych, np. węglowodorów aromatycznych i parafinowych w rozpuszczalnikach węglowodorowych i olejach naftowych.

W badaniach odporności elastomerów na działanie olejów



Rys. 2.45 Przyrząd do badania działania cieczy eksploatacyjnej na jedną tylko powierzchnię elastomeru
1 – płytka dolna, 2 – pokrywka do wlewania badanej cieczy eksploatacyjnej, 3 – komora w kształcie otwartego cylindra, 4 – płytka z badanego elastomeru, 5 – badana ciecz eksploatacyjna, 6 – otwór w płytce dolnej umożliwiający oglądanie spodniej powierzchni elastomeru

naftowych są stosowane ciecze wzorcowe będące specjalnie wyselekcjonowanymi olejami mineralnymi bez dodatków⁵, tzw. oleje odniesienia.

W metodyce badań wg ISO 1817 są stosowane następujące oleje odniesienia:

- Olej nr 1 (olej ASTM Nr 1); jest to olej wywołujący mały przyrost objętości, składający się z mieszaniny odpowiednio dobranych olejów mineralnych, o punkcie anilinowym 124°C;
- Olej nr 2 (olej IRM 902 wg ASTM D 471); jest to olej wywołujący średni przyrost objętości, składający się z mieszaniny specjalnie obrabianych olejów mineralnych z rop naftenowych, o punkcie anilinowym 93°C;
- Olej nr 3 (olej IRM 903 wg ASTM D 471); jest to olej wywołujący duży przyrost objętości, składający się z mieszaniny frakcji specjalnie obrabianych olejów mineralnych z rop naftenowych, o punkcie anilinowym 70°C.

Znormalizowano również ciecze eksploatacyjne modelujące: oleje syntetyczne na bazie estrów (ciecz 101), specjalnych olejów hydraulicznych, przeznaczonych do pracy w ekstremalnie wysokich temperaturach (ciecz 102) oraz olejów hydraulicznych na bazie estrów fosforanowych (ciecz 103).

W przypadkach badania odporności elastomerów na działanie cieczy eksploatacyjnych o składzie chemicznym odbiegającym od znormalizowanych w ISO 471, w badaniach należy stosować ciecze wzorcowe o składzie identycznym jak ciecz eksploatacyjna.

TABELA 2.8 Odporność podstawowych rodzajów elastomerów na działanie środków smarnych

Oleje	Elastomery (oznaczenia wg ASTM D 1418)							
	Kauczuki naturalne (NR)	Buna S, kauczuki styrenowo-butadienowe (SBR)	Buna N, kauczuki nitorylowe (NBR)	Kauczuki neoprenowe (chloroprenowe) (CR)	Kauczuki butylowe (IIR)	Kauczuki tiokolowe, polisulfidy (tiokole) (T)	Elastomery silikonowe (VMO)	Viton, elastomery fluorowęglowodorowe (FKM)
Oleje mineralne i rozpuszczalniki o niskim punkcie anilinowym	•	•	••••	••	•	••••	•	••••
Oleje mineralne i rozpuszczalniki o wysokim punkcie anilinowym	•	•	••••	•••	•	••••	•••	••••
Poli- α -olefiny	•	•	•••	•••	•	••••	•••	••••
Diestry	•	•	••	•	•	•	••	•••
Estry polioliowe	•	•	••	•	•	•	••	•••
Estry kompleksowe	•	•	••	•	•	•	••	•••
Silikony	•	•	••	••	•	••	•	••••
Estry krzemianowe	•	•	••	•	•	••	••	••••
Estry fosforanowe	•	•	•	•	••••	••	•	•••
Estry polifenolowe	•	•	••	••	••	•••	••	••••

• - słaba, •• - wystarczająca, ••• - dobra, •••• - bardzo dobra

Badania odporności elastomerów na działanie cieczy eksploatacyjnych polegają na zanurzeniu kształtki elastomeru, o znormalizowanych wymiarach, w naczyniu szklanym tak, aby kształtka była całkowicie zanurzona, a stosunek objętości cieczy do objętości próbki elastomeru zgodny ze znormalizowanymi warunkami badań. Czas kontaktowania elastomeru z cieczą najczęściej jest to 24 h, 72 h, 7 dni lub wielokrotność 7 dni. Znormalizowane (ISO 471) są również temperatury badania. Do badań właściwości wytrzymałościowych na rozciąganie i zerwanie, są stosowane próbki gum o kształcie wiosełek (zgodnie z ISO 37).

W badaniach, w których są odtwarzane rzeczywiste warunki pracy elastomeru i cieczy eksploatacyjnej, stosuje się warunki badań zbliżone do rzeczywistych warunków eksploatacji, w temperaturze standardowej, równej lub wyższej od temperatury pracy.

W niektórych przypadkach, np. elastyczne zbiorniki na ciecze eksploatacyjne, rurociągi, węże itp. wykonane z elastomerów, zachodzi konieczność badania oddziaływania cieczy eksploatacyjnej na jedną tylko powierzchnie elastomeru. Stosuje się wówczas przyrząd przedstawiony na rys. 2.45.

Warunki badań odporności wyrobów wykonanych z elastomerów najczęściej są szczegółowo ustalone w normach produkcyjnych na ciecz. Wymagania najczęściej dopuszczają znaczny przyrost objętości elastomeru rzędu: + 10 ... +50% skurcz rzędu -5 ... -10% oraz niewielką zmianę twardości.

W większości przypadków są dostępne dane oraz dotyczące kompatybilności cieczy eksploatacyjnych i materiałów uszczelnień. Dla większości cieczy eksploatacyjnych i elastomerów zostały opracowane specjalne tabele kompatybilności. Podczas doboru rodzaju elastomeru do współpracy z określoną cieczą eksploatacyjną, należy je jednak traktować jako dane wyjściowe, które powinny być potwierdzone przynajmniej w badaniach laboratoryjnych.

Porównanie odporności podstawowych rodzajów elastomerów na działanie różnych cieczy stosowanych w składzie środków smarnych przedstawiono w tabeli 2.8.

⁵ Oleje wzorcowe mogą zawierać jedynie dodatki obniżające temperaturę płynięcia oleju (depresatory) w ilości nie przekraczającej 0,1%.

