

SMARY PLASTYCZNE



19.1 Skład i budowa smarów plastycznych

Smar plastyczny jest to substancja o konsystencji od ciekłej do stałej, której podstawowymi składnikami są faza ciekła i zagęszczacz (substancja żelująca). Niektóre smary plastyczne w swoim składzie zawierają zdyspergowane substancje stałe. Jakość i skład tych składników decydują o zasadniczych właściwościach smaru. W celu udoskonalenia niektórych właściwości eksploatacyjnych i dostosowania do określonych zastosowań, w składzie smaru znajdują się dodatki uszlachetniające. W wyniku zastosowania właściwych procesów technologicznych, składniki smaru tworzą jednolitą strukturę.

Mikroskopowy obraz smaru plastycznego przypomina gąbkę nasyoną cieczą. Gąbkę stanowi zagęszczacz, najczęściej substancja o charakterze mydła, a fazę ciekłą najczęściej olej mineralny lub syntetyczny. Zagęszczacz tworzy elastyczną, przestrzenną strukturę sieciową, która wiąże fazę ciekłą, nadając smarowi wymaganą konsystencję.

Właściwa struktura smaru jest utrzymywana dzięki istnieniu sił przyciągania powierzchniowego, sił kapilarnych oraz zjawiska adsorpcji powierzchniowej między zagęszczaczem i fazą ciekłą. W celu nadania odpowiednich cech użytkowych, do smaru są wprowadzane różnego rodzaju substancje, modyfikujące jego strukturę i właściwości.

Faza ciekła jest podstawowym składnikiem smaru plastycznego. W większości smarów stanowi ona 70...90% (m/m). Wybór fazy ciekłej decyduje o:

- właściwościach smarnych,
- zmianach właściwości w zależności od temperatury,
- odporności na utlenianie,
- właściwościach niskotemperaturowych,
- skłonności do odparowywania w podwyższonych temperaturach,
- i innych.

Jako faza ciekła smarów plastycznych najczęściej są stosowane następujące rodzaje substancji, zwanych olejami bazowymi:

- oleje mineralne,
- oleje syntetyczne węglowodorowe,
- oleje poliglikolowe,

- syntetyczne estry,
- oleje silikonowe,
- tłuszcze roślinne i zwierzęce oraz estry kwasów tłuszczowych i alkoholi monowodorotlenowych lub wielowodorotlenowych (smary biodegradowalne),
- etery polifenyłowe,
- chlorofluorowęglowodory
- i inne.

W skład smarów plastycznych mogą wchodzić także różnego rodzaju dodatki uszlachetniające:

- modyfikatory struktury,
- stabilizatory,
- inhibitory korozji,
- inhibitory utlenienia,
- dodatki smarnościcowe (AW i EP),
- dodatki adhezyjne (zwiększające przyczepność smaru do metali),
- barwniki i środki zapachowe, i inne.

Smary plastyczne są cieczami o właściwościach tiksotropowych (patrz p. 4.2), wykazują jednocześnie właściwości ciał stałych i cieczy. Pod działaniem niewielkich naprężeń ulegają odwracalnemu odkształceniom. Gdy naprężenia przekraczają określoną wartość, zaczynają płynąć jak ciecz.

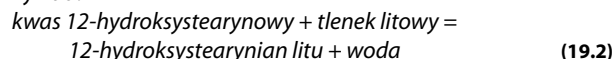
Nie wszystkie oleje bazowe są wzajemnie mieszalne. Z tego względu, również smary plastyczne z nich sporządzane, nie w każdym przypadku są mieszalne.

Problem wzajemnej mieszalności smarów plastycznych, zawierających w swoim składzie różne rodzaje olejów bazowych, wyjąsnia dane, przedstawione w tabeli 19.1.

Najczęściej stosowanym zagęszczaczem w składzie smarów plastycznych są mydła. W większości przypadków, są one wytwarzane z kwasów tłuszczowych i zasad, według reakcji (19.1):



na przykład:



Spośród zagęszczaczy mydlnych wyróżnia się mydła proste, hydroksylowe i kompleksowe. Mydła proste są to sole kwasów

Tabela 19.1 Mieszalność różnych olejów stosowanych jako bazy smarów plastycznych

Typ oleju	Mineralny	Węglowodorowy, syntetyczny	Poliglikolowy	Estrowy	Silikonowy
Mineralny	☺	☺	☹	☺	☹
Węglowodorowy, syntetyczny	☺	☺	☹	☺	☹
Poliglikolowy	☹	☹	☺	☹	☹
Estrowy	☺	☺	☹	☺	☹
Silikonowy	☹	☹	☹	☹	☺

☺ – mieszalne ☹ – niemieszalne

organicznych: tłuszczowych, żywicznych i naftenowych. Mydła hydroksylowe są to sole kwasów organicznych, zawierających w cząsteczce grupę hydroksylową (-OH). Mydła kompleksowe mają bardzo złożoną (kompleksową) strukturę cząsteczki zagęszczacza. Zawierają mydła, co najmniej dwóch kwasów, o różnej długości łańcucha: małowcząsteczkowego (np. octowego) i wielkowcząsteczkowego (np. stearynowego). Różnią się istotnie niektórymi właściwościami od pozostałych grup smarów plastycznych.

Właściwości mydlnych smarów plastycznych mogą zmieniać się w zależności od składu chemicznego bazy olejowej oraz rodzaju kationu w cząsteczce mydła.

Jako zagęszczacze są stosowane również substancje inne niż mydła, np.: woski, stałe węglowodory (parafina, cerezyna, petrolatum, gacze parafinowe), niektóre polimery, a także specjalnie preparowane glinki bentonitowe, hydrolizowana krzemionka i inne substancje, wykazujące właściwości zagęszczające, w odniesieniu do określonej fazy ciekłej.

Składnikami niektórych smarów plastycznych są substancje stałe o dużym stopniu rozdrobnienia, zwane również stałymi dodatkami smarnymi lub smarami stałymi, takie jak: grafit, disiarczek molibdenu, proszki metali i inne.

19.2 Klasyfikacja smarów plastycznych ze względu na rodzaj zagęszczacza

Najstarszą i powszechnie jeszcze stosowaną klasyfikacją mydlnych smarów plastycznych, jest klasyfikacja wg rodzaju zastosowanego zagęszczacza. Zagęszczacz w istotny sposób wpływa na właściwości eksploatacyjne smaru plastycznego. Na tej podstawie wyróżnia się smary:

- mydlane, z mydłami prostymi i kompleksowymi,
- zawierające zagęszczacze mieszane.
- węglowodorowe,
- z zagęszczaczami nieorganicznymi,
- z zagęszczaczami polimerowymi.

19.2.1 Smary mydlane

Smary mydlane są to smary, w których zagęszczaczami są mydła wyższych kwasów tłuszczowych i kationów metali takich jak: Li^+ , Al^+ , Ca^{++} , Na^+ , a w przypadku smarów kompleksowych mydła kwasów tłuszczowych o długim i krótkim łańcuchu alkilowym.

Smary litowe. Dominującą grupą smarów na światowym rynku są smary litowe. Ponad połowa smarów plastycznych należy do tej grupy. Dwa głównie stosowane zagęszczacze tego typu to: 12-hydroksystearynian litu oraz stearynian litu. Smary te są często określane jako uniwersalne, ponieważ znajdują bardzo szerokie zastosowanie w różnych skojarzeniach trących: łożyskach tocznych, łożyskach ślizgowych, w sworzniach i innych obciążonych elementach, zarówno w środkach transportu jak i w urządzeniach przemysłowych, w szerokim zakresie temperatury pracy.

Kompleksowe smary litowe. Kompleksowe mydła litowe pozwalają na podwyższenie temperatury użytkowania w stosunku do zwykłych smarów litowych, przy jednoczesnym zachowaniu innych korzystnych właściwości. Temperatura kroplenia tego typu smarów, wynosi około 280°C , zamiast 190°C , jak w przypadku zwykłych smarów litowych. Podobnie jak zwykłe smary litowe, mają one szerokie zastosowanie do smarowania skojarzeń trących w pojazdach samochodowych i w różnych urządzeniach przemysłowych.

Smary glinowe. Jako zagęszczacz smarów glinowych powszechnie jest stosowany stearynian glinu. Podstawowym zastosowaniem smarów glinowych są maszyny i urządzenia w przemyśle spożywczym. Tego typu smary są również używane w połączeniach przegubowych, łożyskach ślizgowych, otwartych przekładniach zębatych w środowisku wilgotnym, do temperatury rzędu 65°C .

Kompleksowe smary glinowe. Kompleksowe mydła glinowe,

o dobrych właściwościach żelujących, otrzymuje się w wyniku kokryształacji cząsteczek benzoesanu lub stearynianu glinowego. Podobnie, jak w przypadku kompleksowych smarów litowych, również temperatura kroplenia jest znacznie podwyższona, ze 100°C do 240°C . Smary te są stosowane zwłaszcza do smarowania otwartych przekładni zębatych.

Smary wapniowe. Do wytwarzania smarów plastycznych są stosowane dwa rodzaje mydeł wapniowych:

- mydła uwodnione: stearyniany, oleiniany i palmityniany wapnia,
- kompleksowe mydła bezwodne, 12-hydroksystearynian wapnia.

Te ostatnie pozwalają na otrzymywanie smarów o wyższej temperaturze kroplenia: 140°C zamiast 100°C , jak w przypadku mydeł uwodnionych. Podstawowe zastosowanie smarów wapniowych to smarowanie łożysk ślizgowych i tocznych, pracujących pod małym obciążeniem, maksymalnie do temperatury 65°C w przypadku smarów zawierających mydła uwodnione i 100°C dla smarów zawierających mydła bezwodne, w środowisku bardzo wilgotnym, w połączeniach przegubowych i w styczności z powłokami antykorozyjnymi.

Kompleksowe smary wapniowe. Smary z kompleksowym zagęszczaczem wapniowym mają bardzo wysoką temperaturę kroplenia (około 280°C) oraz dobre właściwości EP. Z tych względów, smary te znajdują bardzo szerokie zastosowanie: w przemyśle metalurgicznym, cementowniach, fabrykach papieru, lotnictwie, do smarowania łożysk tocznych, łożysk ślizgowych pracujących w ciężkich warunkach (duże obciążenie, wysoka temperatura i kontakt z wilgocią).

Smary zawierające kompleksowy sulfonian wapnia zasługują na wyróżnienie spośród innych kompleksowych smarów wapniowych. Są to smary zawierające zasadowe sulfoniany wapnia. Tylko niewielu producentów na świecie ma opanowane technologie tych zaawansowanych technicznie smarów, odznaczających się wybitnie wysoką jakością w zakresie następujących właściwości:

- zdolności do przenoszenia bardzo dużych obciążeń,
- właściwości przeciwdrobnoczątkowych,
- odporności na działanie wody,
- stabilności mechanicznej,
- odporności na duże prędkości ścinania,
- stabilności termicznej i termooksydacyjnej,
- właściwości w niskich temperaturach,
- własności antykorozyjnych i ochronnych.

Są to smary w pełnym tego słowa znaczeniu wielofunkcyjne do zastosowań przy niskich i średnich prędkościach obrotowych.

Smary sodowe. Smary zawierające mydła sodowe są produkowane w niewielkich ilościach, ponieważ są one rozpuszczalne w wodzie i mogą być wyłącznie stosowane do smarowania urządzeń, w których kontakt z wodą jest wykluczony. Stosowane są dwa rodzaje mydeł sodowych: oleinian i stearynian sodu. Smary tego typu są przeznaczone do smarowania łożysk ślizgowych w temperaturze do 120°C , w otoczeniu naturalnym oraz w pewnego rodzaju połączeniach przegubowych i łożyskach tocznych.

Kompleksowe smary sodowe. Zagęszczaczem w kompleksowych smarach sodowych jest tereftalaminian sodu. Jest on otrzymywany w wyniku reakcji wodorotlenku sodowego z estrem metylowym kwasu N-oktadecylotereftalamidowego. Dzięki bardzo wysokiej temperaturze kroplenia i całkowitemu braku rozpuszczalności w wodzie, smary te znajdują bardzo szerokie zastosowanie, np. w: łożyskach ślizgowych, łożyskach tocznych, urządzeniach pracujących w wysokich temperaturach (piece), elementach mających kontakt z parą wodną. Wyróżniają się wszechstronnością zastosowania, umożliwiającą smarowanie wszystkich urządzeń w fabryce czy na statku.

19.2.2 Smary zawierające zagęszczacze mieszane

Smary plastyczne, zawierające zagęszczacze (mydła) mieszane, stosuje się w celu połączenia cech charakterystycznych dla poszczególnych rodzajów zagęszczaczy. Podstawowe smary

mieszane, spotykane na rynku, zawierają następujące rodzaje zagęszczaczy:

- mydła litowe / mydła wapniowe,
- poliuretany / mydła wapniowe,
- kompleksy glinowe / bentonity,
- tereftalamian sodu / bentonity.

19.2.3 Smary węglowodorowe

Są to smary zawierające zagęszczacz w postaci stałych węglowodorów: parafiny, cerezyny, gacze parafinowych lub petrolatum, mogą również zawierać polimery. Najczęściej stosowanymi zagęszczaczami węglowodorowymi są stałe woski mikrokrystaliczne. Tworzą one jednolitą siatkę przestrzenną utrzymującą olej bazowy. Smary tego rodzaju mają niską temperaturę kroplenia, ale wykazują dobre właściwości ochronne i bardzo dobrą odporność na działanie wody. Przykładem tego typu smarów plastycznych może być wazelina.

19.2.4 Smary z zagęszczaczami nieorganicznymi

Do tej grupy smarów należą smary zagęszczane bentonitami, żelem krzemionkowym i innymi specjalnie obrabianymi minerałami.

Smary bentonitowe. Bentonity są to minerały o konsystencji miękkiej i tłustej w dotyku. Wykazują one właściwość tworzenia, w obecności niektórych substancji o charakterze polarnym (acetone), plastycznego i trwałego żelu. Smary zawierające jako zagęszczacze bentonity są przeznaczone przede wszystkim do smarowania urządzeń wówczas, gdy zbyt wysokie temperatury pracy uniemożliwiają zastosowanie smarów klasycznych (na przykład: smarów litowych), są one nietopliwe.

Smary krzemionkowe. Do wytwarzania smarów krzemionkowych jako zagęszczacz jest stosowana hydrofobizowana krzemionka. W specjalnych procesach jest ona uodporniana na działanie wody. Smary krzemionkowe są nietopliwe i z tego względu mogą być stosowane w wysokich temperaturach bez wyciekania ze smarowanego urządzenia.

19.2.5 Smary z zagęszczaczami polimerowymi

Polimery i organiczne związki wielkocząsteczkowe są efektywnymi zagęszczaczami stosowanymi w składzie specjalnych smarów plastycznych. Do tego typu związków należą: poliuretany (pochodne mocznika), sole kwasu tereftalowego, specjalnie preparowana celuloza i skrobia. Największe zastosowanie znalazły smary poliuretanowe.

Smary poliuretanowe. Poliuretany jest to obszerna grupa polimerów o zróżnicowanych właściwościach. Niektóre rodzaje poliuretanów mają bardzo dobre właściwości zagęszczające. Smary poliuretanowe znajdują zastosowanie, zwłaszcza jako bardzo trwałe smary uniwersalne do smarowania łożysk tocznych: silników elektrycznych, wentylatorów, suszarek, taśmociągów i innych urządzeń wymagających jednorazowego smarowania. Z powodzeniem nadają się do smarowania łożysk szybkoobrotowych, a także są stosowane jako smary tłumiące hałas.

Pod względem ich zdolności do pracy w wysokich temperaturach oraz długiego czasu życia są one porównywalne do niektórych smarów kompleksowych. Chociaż stosowane we wszystkich rodzajach łożysk, są one szczególnie odpowiednie do smarowania łożysk kulkowych, do temperatury pracy sięgającej 180°C.

Smary poliuretanowe mają wyróżniającą się odporność na utlenianie. Ich zagęszczacze nie zawierają mydeł czy innych związków zawierających metale, które w różnym stopniu są promotorami utlenienia. Zachowanie się w niskich temperaturach jest satysfakcjonujące.

Smary poliuretanowe wyróżniają się ponadto:

- odpornością na działanie wody,
- dobrymi właściwościami ochronnymi przed korozją,
- wyjątkowo dobrą stabilnością chemiczną i mechaniczną, co umożliwia ich stosowanie w przypadkach gdy jest wymagane napełnienie na cały czas życia mechanizmu.

Zagęszczacze mają istotny wpływ na wiele eksploatacyjnych właściwości smarów plastycznych, co w sposób syntetyczny, przedstawiono w tabeli 19.2.

Aby uzyskać smar łączący najlepsze właściwości poszczególnych składników nie wystarczy wymieszanie różnych rodzajów zagęszczaczy. Podobnie, jak w przypadku olejów bazowych, nie wszystkie zagęszczacze mogą być ze sobą mieszane. W tabeli 19.3 przedstawiono wzajemną mieszalność smarów plastycznych, zawierających różne substancje żelujące. Warto zauważyć, że smary poliuretanowe i bentonitowe nie powinny być mieszane z innymi rodzajami smarów.

Rodzaj zastosowanego zagęszczacza w istotny sposób rzutuje na cechy eksploatacyjne smaru, decydujące o jego przeznaczeniu, co uwidoczniło w tabeli 19.4.

19.3 Dodatki

Niektóre właściwości smarów mogą być ulepszone poprzez wprowadzenie do ich składu dodatków uszlachetniających. Dobór i zawartość w smarze dodatków jest wynikiem szeroko zakrojonych badań, dotyczących wpływu poszczególnych dodatków na właściwości eksploatacyjne smaru. Dodatki uszlachetniające, stosowane

Tabela 19.2 Wyróżniające właściwości różnych rodzajów zagęszczaczy

Zagęszczacz \ Właściwości	Litowe	Wapniowe	Glinowe		Teraftalamian sodu	Bentonity	Kompleks litu	Kompleks wapnia	Kompleks glinu
Zakres temperatur użytkowania	+			++	++	++	++	++	++
Odporność na działanie wody		++	+	+	++	+		++	+
Korozyjność		++	+		+			++	
Temperatura kroplenia	+			+	+	+	++	++	++
Pompowność		+		+		++			++
Przyczepność			++					+	+
Uniwersalność	+				+		+		
Prędkość				++					
Cena	+	+	+						

+ – dobre, ++ – bardzo dobre

Tabela 19.3 Mieszalność smarów plastycznych zawierających różne rodzaje zagęszczaczy

	Li prosty	Li hydroks.	Li kompleks.	Li/Ca hydroks.	Ca prosty	Ca hydroks.	Ca kompleks.	Al kompleks.	poliuretan	bentonit
Li prosty	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☹	☹	☹	☹
Li hydroks.	☺	☺	☺	☺	☹	☺	☹	☹	☹	☹
Li kompleks.	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☹	☹
Li/Ca hydroks.	☺	☺	☺	☺	☹	☺	☹	☹	☹	☹
Ca prosty	☺	☹	☺	☹	☺	☺	☹	☹	☹	☺
Ca hydroks.	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☹	☺	☹	☺
Ca kompleks.	☹	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☹	☺	☹
Al kompleks.	☹	☹	☺	☹	☹	☺	☹	☺	☹	☹
poliuretan	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☺	☹	☺	☹
bentonit	☹	☹	☹	☹	☺	☺	☹	☹	☹	☺

☺ – mieszalne ☹ – mieszalne w pewnych proporcjach ☹ – niemieszalne

Tabela 19.4 Wyróżniające cechy różnych smarów plastycznych w zależności rodzaju zagęszczacza

Rodzaj smaru ze względu na zagęszczacz	Wyróżniające cechy
Smary litowe	<ul style="list-style-type: none"> wszechstronność zastosowania słaba przyczepność średnia odporność na działanie wody dobra odporność na wysokie i niskie temperatury
Smary wapniowe	<ul style="list-style-type: none"> średnia odporność na wysokie temperatury bardzo dobre właściwości przeciwkorozyjne słaba przyczepność bardzo dobra odporność na działanie wody
Smary glinowe	<ul style="list-style-type: none"> słaba odporność na temperaturę dobra odporność na działanie wod bardzo dobra przyczepność
Smary kompleksowe	<ul style="list-style-type: none"> bardzo dobra odporność na temperaturę bardzo wysoka temperatura stosowania
Smary poliuretanowe	<ul style="list-style-type: none"> do smarowania łożysk szybkoobrotowych bardzo dobra odporność na wysoką temperaturę
Smary z tereftalamianem sodu	<ul style="list-style-type: none"> bardzo dobra odporność na działanie wody, również gorącej bardzo dobra odporność na wysoką temperaturę
Smary bentonitowe	<ul style="list-style-type: none"> bardzo dobra odporność na wysoką temperaturę brak mieszalności z innymi smarami bardzo dobra pompowność

w składzie smarów plastycznych, można podzielić na pięć głównych grup:

- przeciwzużyciowe (AW) i przeciwzatarciowe (EP), powodujące zmniejszenie zużycia współpracujących powierzchni skojarzeń trących oraz odporność na zatarcie przy dużych obciążeniach,
- antyutleniające (inhibitory utleniania), zapobiegające procesom starzenia smaru w wyniku utleniania,
- inhibitory korozji (przeciwkorozyjne), zapewniające ochronę metali kolorowych przed wilgocią i agresywnymi czynnikami chemicznymi,
- inhibitory rdzewienia (przeciwrdzewne), zapewniające ochronę przeciwkorozyjną stopów żelaza,
- deaktywatory metali, przeciwdziałające zjawisku przyspieszonego utleniania składników smaru poprzez katalityczny wpływ zdyspergowanych metali,
- dodatki adhezyjne, poprawiające smarowanie i przywieranie do podłoża, nadające właściwą przyczepność filmu smarnego,
- dodatki stałe w postaci: grafitu, disiarczku molibdenu, tetraazotku boru, proszków metali i innych, stosowane w pewnych specjalnych przypadkach jako środki przeciwzatarciowe i uszczelniające.

Nie tylko obecność dodatku decyduje o właściwościach użytkowych smaru, ale również sposób jego wbudowania w strukturę. Przykładowo ilustruje to rys. 19.1, na którego części A przedstawiono strukturę smaru litowego z dodatkiem EP, wprowadzonym w sposób konwencjonalny, a w części B, sposób w jaki ten dodatek jest wbudowany w strukturę smaru. Taka zmiana struktury smaru w sposób istotny poprawia jego wytrzymałość na duże naciski (właściwości EP).

Smary plastyczne bardzo dobrze nadają się do mieszania ze stałymi dodatkami smarnymi, które w istotny sposób zmniejszają siłę tarcia oraz zwiększają odporność na obciążenia i zatarcie.

W ciężkich warunkach pracy, stałe dodatki smarne zwiększają skuteczność działania smaru dzięki:

- odporności na działanie czynników chemicznych,
- dużo lepszej odporności na działanie wysokiej temperatury.

Najczęściej stosowanymi dodatkami tego typu są:

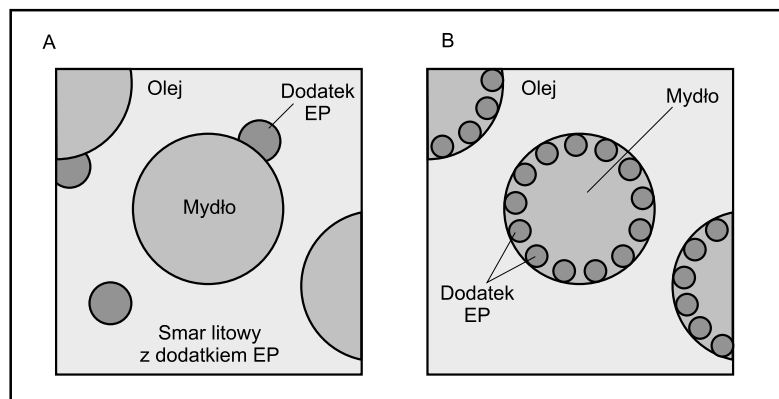
- grafit, który stopniowo przywiera do powierzchni metalu pod wpływem tarcia,
- disiarczek molibdenu, który szybko tworzy warstwę ochronną na powierzchni metalu.

W niektórych smarach jako stałe dodatki przeciwzatarciowe znalazły zastosowanie takie substancje jak teflon (PTFE), miedź i jej tlenki oraz chloroparafiny.

Zawartość dodatków jest uzależniana od ich efektywności i wymagań stawianych smarowi, poniżej podano

przeciętne zawartości typowych dodatków:

- dodatki AW i EP 0,5...5%,
- antyutleniające 0,1...1%,



Rys. 19.1 Porównanie struktury konwencjonalnego smaru litowego ze strukturą smaru kompleksowego. Wprowadzenie dodatku EP do cząsteczki mydła, w sposób istotny poprawia odporność smaru na duże naciski
A – normalny smar litowy, B – smar litowy kompleksowy z dodatkiem EP

- inhibitory korozji 0,5...3%,
- inhibitory rdzewienia 0,5...2%
- deaktywatory metali 0,05...0,1%,
- dodatki adhezyjne 0,1...1%,
- dodatki stałe 1...5%.

19.4 Wymagania stawiane smarom plastycznym

Ze względu na różnorodność zastosowań i warunków pracy, od smarów plastycznych wymaga się specjalnych właściwości, sprecyzowanych w tabeli 19.5.

W praktyce nie jest możliwe jednoczesne spełnienie wszystkich wymagań. Z tego względu istnieje wiele gatunków smarów o zróżnicowanych właściwościach. Niekiedy wymagania są wzajemnie przeciwstawne, wówczas są one odpowiednio optymalizowane i dobierane do konkretnych zastosowań.

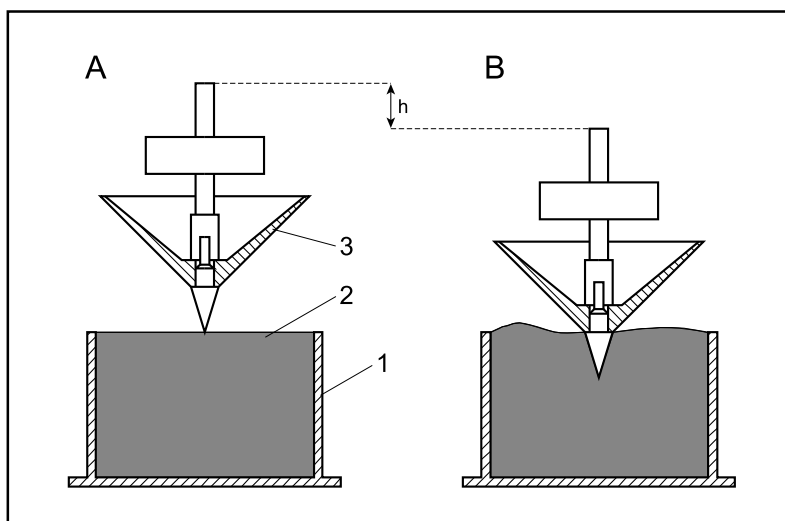
19.5 Podstawowe pojęcia i metody oceny jakości

Poniżej przybliżono podstawowe metody badań smarów plastycznych, stosowane do oceny ich jakości.

Penetracja. Podstawowym parametrem, stosowanym do oceny przydatności smaru do określonych zastosowań, jest penetracja po ugniataniu lub krócej penetracja. Badanie polega na pomiarze penetracji po 60 cyklach ugniatania, które jest cyklicznym ugniataniem smaru tłokiem o ruchu posuwisto-zwrotnym w specjalnym urządzeniu. Pomiar polegający na określeniu głębokości zanurzenia h w smarze stożka o ściśle znormalizowanym kształcie i okre-

Tabela 19.5 Wymagane właściwości smarów plastycznych [wg T.Mang i W. Dresel]

Obszar wymagań	Właściwości
Wysokie temperatury	Maksymalna stabilność termiczna
	Minimalna lotność
	Maksymalna lepkość
Niskie temperatury	Brak krystalizacji składników smaru
	Minimalna lepkość
Starzenie	Maksymalna odporność na utleniania
	Trwałość struktur
Kompatybilność	Brak reakcji z metalami nieżelaznymi
	Maksymalna kompatybilność z tworzywami sztucznymi
	Brak mieszalności z innymi cieczami
	Łatwość usuwania zanieczyszczeń stałych
Wydzielanie oleju	Optymalne do wymagań wynikających z zastosowania
Toksyczność	Brak toksyczności
	Maksymalna biodegradowalność
Przyczepność	Optymalna do wymagań wynikających z zastosowania
Płynność	Optymalna tiksotropia, stosowna do wymagań wynikających z zastosowania
	Maksymalna pompowalność
Odporność na obciążenia	Optymalna elastyczność, stosowna do wymagań wynikających z zastosowania
	Optymalna grubość filmu smarującego
	Dobre właściwości poślizgowe
Ścinanie	Maksymalna stabilność mechaniczna
	Optymalny czas relaksacji, stosowny do wymagań wynikających z zastosowania
Tarcie	Minimalne lub optymalne, stosowne do wymagań wynikających z zastosowania
Zużycie	Minimalne



Rys. 19.2 Schemat części pomiarowej penetrometru i zasada pomiaru penetracji
A – początek oznaczania, B – po 5 sekundach,
1 – naczynie penetrujące, 2 – badany smar, 3 – stożek penetrujący

ślonej masie, w czasie pięciu sekund, jest najczęściej wykonywany w temperaturze 25°C. Przykładowo, zakres penetracji 445...475 oznacza zanurzenie stożka pomiarowego po 5 sekundach, na głębokość h pomiędzy 44,5 a 47,5 milimetra.

Schemat pomiarowej części penetrometru i zasadę pomiaru penetracji przedstawia rys. 19.2. Do wykonania tego badania jest potrzebna dość duża ilość smaru: 350...400 gramów. Ponieważ czas i sposób przechowywania smaru mają często wpływ na jego konsystencję, penetracja jest zazwyczaj mierzona po ugniataniu (zmiksowaniu) smaru, które wykonuje się w znormalizowanym, automatycznym urządzeniu, co zapewnia powtarzalność warunków homogenizacji struktury smaru.

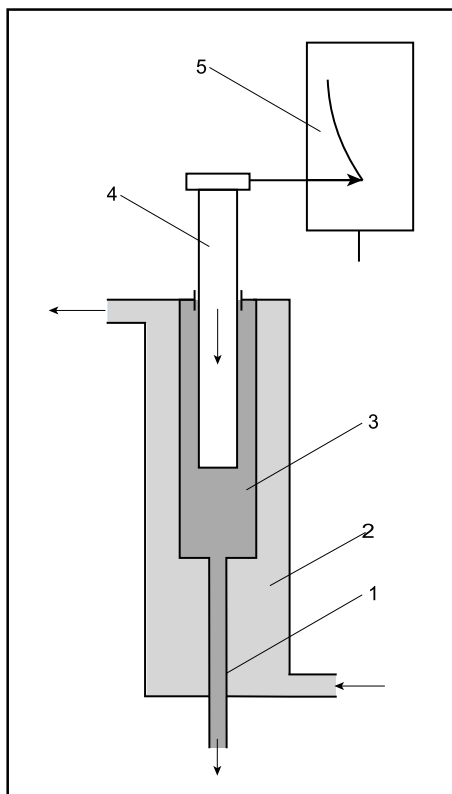
Jeżeli do przeprowadzenia pomiarów jest do dyspozycji niewielka ilość smaru, penetrację można zmierzyć przy użyciu stożków, w skali 1/2 lub 1/4. W celu określenia penetracji po ugniataniu po 60 cyklach, stosuje się ręczne mieszalniki. Dokładność uzyskiwanych wyników pomiarów, przy zastosowaniu zminiaturyzowanych stożków, jest jednak mniejsza niż przy zastosowaniu stożka o normalnym wymiarze.

Penetracja jest podstawą do powszechnie stosowanej klasyfikacji smarów plastycznych wg NLGI (National Lubricating Greases Institute – patrz p. 19.5).

Lepkość strukturalna (pozorna) (patrz p. 4.2). Z punktu widzenia reologii, przepływ smaru przez przewody rurowe nie przebiega w myśl prawa Newtona. Lepkość smaru, określana w klasycznym prawie Poiseuille'a zmienia się w zależności od naprężenia ścinającego. Substancje o takich właściwościach są nazywane cieczami nienewtonowskimi, a ich lepkość jest nazywana lepkością strukturalną lub pozorną. Wyznaczenie krzywej, określającej lepkość strukturalną smaru w funkcji naprężenia ścinającego, umożliwia prawidłowe projektowanie instalacji centralnego smarowania (dobór pomp, przekrojów i długości rur, połączeń itp.). Urządzenie testowe (rys. 19.3) do wyznaczania lepkości strukturalnej smaru, składa się z: tłoka, kapilary, pompy i czujników pomiarowych. Naprężenie ścinające jest regulowane przez zmianę średnicy kapilary i/lub zmianę natężenia przepływu.

Test wydzielania się oleju ze smaru. Istnieje wiele metod oceny wydzielania się oleju ze smaru. W jednej z metod próbka smaru jest umieszczana w metalowym naczyniu w kształcie stożka z metalowej blachy, poddana jest ona ciśnieniu wywieranemu przez ciężarek o masie 100 g. Ilość oleju, która wydzieli się po 42 lub 168 godzinach, w temperaturze 40°C, stanowi miarę trwałości układu zagęszczacz–olej i skłonności smaru do wydzielania oleju podczas przechowywania.

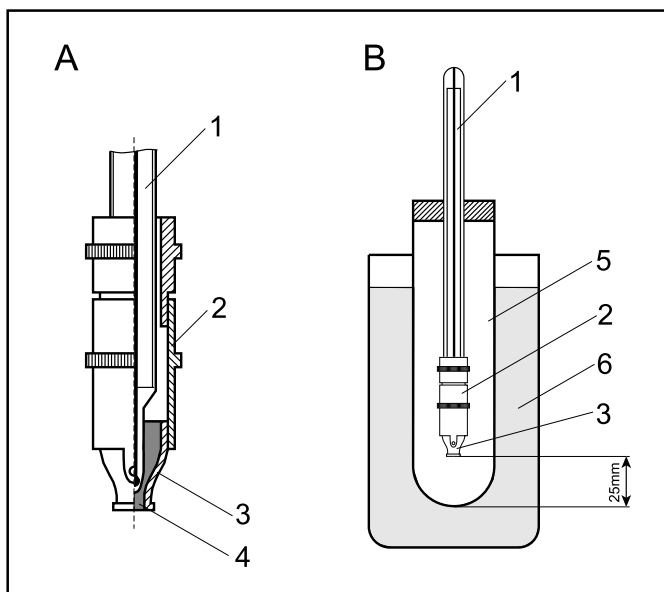
Temperatura kroplenia wg Ubbelohde'a. Temperatura kroplenia jest to najniższa temperatura, w której smar, w podgrzewanym



Rys. 19.3 Zasada pomiaru lepkości strukturalnej smarów plastycznych
1 – kapilara, 2 – łożnia termostatyczna, 3 – komora z badanym smarem, 4 – tłok, 5 – rejestrator

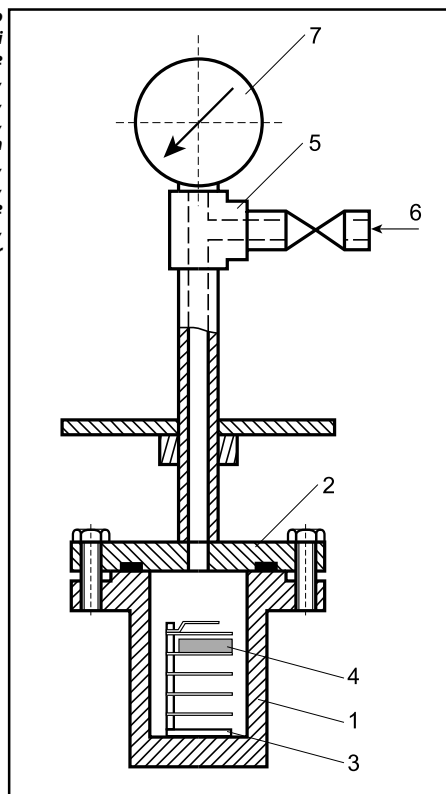
znormalizowanym urządzeniu zaczyna przybierać postać płynną i spływa w formie kropeł lub wypływa z naczynka pomiarowego, pod wpływem siły ciężkości. Temperatura kroplenia jest pośrednią miarą początku niszczenia (degradacji) gąbczastej struktury zagęszczacza. Zależy ona od rodzaju zagęszczacza, technologii jego produkcji, sposobu otrzymywania smaru.

Schemat aparatu Ubbelohde'a do pomiaru temperatury kroplenia smarów plastycznych, przedstawiono na rys. 19.4. W celu dokonania pomiaru często korzysta się z urządzeń w pełni zautomatyzowanych. Podgrzewanie próbki i próbki jest wstępnie programowane. Upadek kropli jest rejestrowany przez fotokomórkę. Przyjmuje się, że temperatura kroplenia smaru powinna być o kilkadziesiąt stopni wyższa niż temperatura, w której dany smar może pracować. Zwyczajowo przyjmuje się, że temperatura pracy smaru powinna być nie wyższa niż 2/3 temperatury kroplenia.



Rys. 19.4 Schemat aparatu do pomiaru temperatury kroplenia smarów plastycznych
A – nasadka na termometr ze zbiorniczkiem smaru, B – aparat, 1 – termometr, 2 – nasadka na termometr, 3 – zbiorniczek na smar, 4 – badany smar, 5 – próbówka, 6 – łożnia

Rys. 19.5 Bomba do oznaczania odporności smarów na utlenianie
1 – korpus bomby, 2 – pokrywa, 3 – podstawa, 4 – naczynko z badanym smarem, 5 – trójnik, 6 – doprowadzenie tlenu, 7 – manometr



Odporność na utlenianie. Dobra wytrzymałość smaru w czasie długiego okresu użytkowania, nawet w podwyższonych temperaturach, w znacznej mierze zależy od jego odporności na utlenianie. Ta właściwość jest określana poprzez dokonywanie pomiaru skłonności do reagowania smaru z tlenem – próba Norma-Hoffman. Polega ona na ogrzewaniu smaru w specjalnej bombie (autoklawie), przedstawionej na rys. 19.5, w atmosferze tlenu, w temperaturze 99°C (ciśnienie początkowe tlenu wynosi 0,77 MPa). Stopień utleniania smaru jest wyrażany przez pomiar spadku ciśnienia tlenu w funkcji czasu oraz zmianę zawartości wolnych zasad lub wolnych kwasów organicznych.

Odporność struktury smaru na naciski i inne wymuszenia mechaniczne jest podstawową właściwością, określającą wytrzymałość smaru w łożyskach tocznych. Jest ona określana przy zastosowaniu kilku następujących testów:

Penetracja po 100 000 cyklach ugniatania (odporność na ścinanie). W teście tym, smar jest poddawany przedłużonemu ugniataniu. Po zakończeniu mieszania jest mierzona penetracja zgodnie z punktem – penetracja po ugniataniu. Typowo określa się penetrację po 100 000 cyklach ugniatania. Różnica między tą penetracją i wyjściową (po 60 cyklach), pozwala określić odporność mechaniczną smaru na działanie sił ścinających podczas eksploatacji. Próba ta, mająca niewiele wspólnego z warunkami pracy smaru, powinna być traktowana tylko jako pewne przybliżenie do rzeczywistych wymuszeń, jakim smar jest poddawany podczas pracy.

Próba wałkowania (Roller test). W teście tym, próbka smaru (50 g) jest ugniatana między ściankami dwóch walców: wewnątrz wydrążonego walca wiruje walec o masie 5 kilogramów. Po dwóch godzinach ugniatania, z prędkością 160 obrotów na minutę, są mierzone zmiany wartości penetracji. Zasadę pomiaru ilustruje rys. 19.6. Test symuluje warunki pracy łożysk tocznych. Temperatura i czas trwania próby mogą być modyfikowane, stosownie do przewidywanych warunków pracy smaru.

Wyniki oznaczania penetracji po 100 000 cyklach ugniatania i próby wałkowania są porównywalne i mogą być stosowane zamiennie.

Próba wydzielania oleju i smaru z piasty koła samochodowego (Car wheel bearing). Smar może być wyrzucany z piasty koła samochodowego lub wydzielają się z niego olej, gdy jego struktura jest niestabilna. Do badania tej właściwości opracowano specjalny test. Aparat do przeprowadzenia testu jest modelem osi samocho-

dowej i składa się z dwóch stożkowych łożysk. Całość jest umieszczona w specjalnej komorze. Temperatura i prędkość są zmienne. Na koniec próby jest ważona ilość smaru, która została zebrana w specjalnym odrzutniku (wycieki spowodowane wykraplananiem i wydzielaniem się oleju).

Mieszanie w obecności wody. W teście tym, smar w obecności wody (na ogół 10%), jest poddawany wydłużonemu ugniataniu (100 000 cykli) w mieszalniku do ugniatania, stosowanym przy pomiarze penetracji. Odporność na działanie wody określa się na podstawie różnicy, między penetracją zmierzoną w obecności wody, a penetracją po 60 cyklach, bez obecności wody.

Próba wałkowania w obecności wody. W teście tym, smar jest ugniatany przy użyciu wałków, w obecności wody, w urządzeniu do testu wałkowania. Na koniec mierzy się penetrację mieszaniny smaru i wody przy użyciu stożka w skali 1/2 lub 1. Różnica między penetracją po wałkowaniu i penetracją po 60 cyklach, pozwala ocenić zachowanie smaru w łożyskach pracujących w obecności wody. Jako przykład różnicy w jakości smarów mogą posłużyć wyniki badań smaru litowego z dodatkiem EP oraz smaru odpornego na działanie wody, przedstawione na rys. 19.7.

Badanie wymywania wodą (Water washout). W teście tym, woda jest wtryskiwana bezpośrednio do obracającego się łożyska kulkowego wypełnionego smarem, schemat aparatu badawczego przedstawia rys. 19.8. Ubytki smaru spowodowane wypłukiwaniem są mierzone po ich osuszeniu przez ważenie elementów, które miały kontakt z wodą.

Od smarów łożyskowych wymaga się odporności na wymywanie wodą. Z tego względu mogą one być stosowane w łożyskach nieuszczelnionych, narażonych na incydentalny kontakt z wodą. W przypadku, jeżeli łożysko jest otwarte lub też przy bezpośrednim natrysku wody, wymagane są smary specjalne. Odporność na wymywanie wodą może być osiągnięta poprzez stosowanie w składzie smaru:

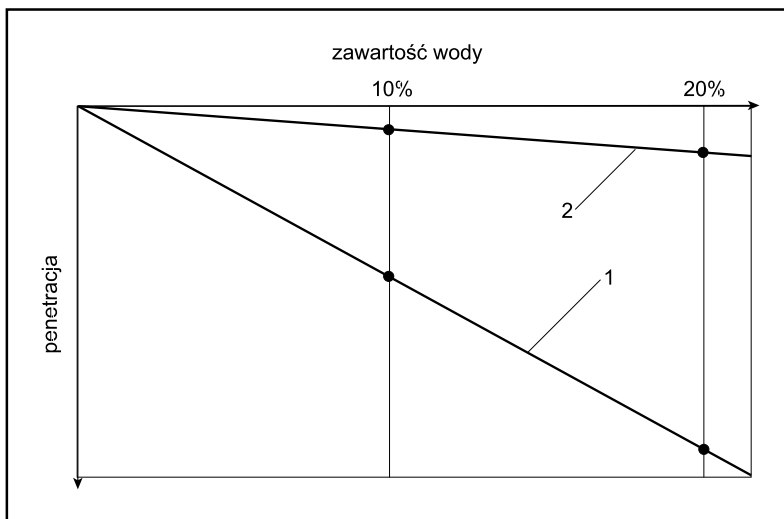
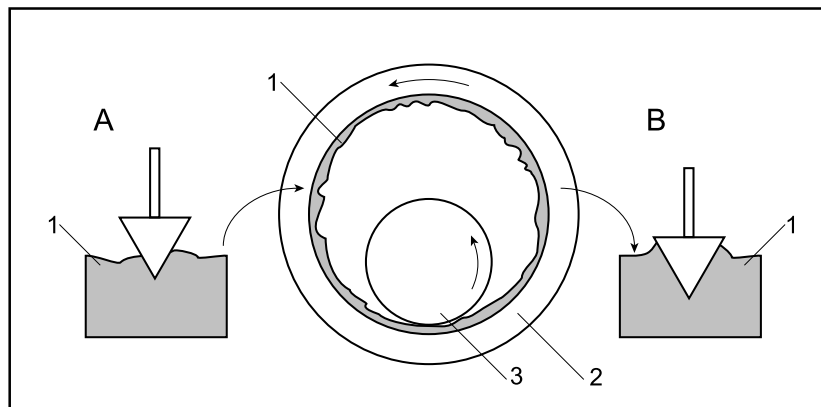
- dodatków adhezyjnych,
- specjalnych zagęszczaczy,
- oleju bazowego o dużej lepkości.

Właściwości ochronne. Ochronne właściwości smarów plastycznych, w stosunku do smarowanych części, są oceniane przy zastosowaniu kilku następujących testów:

Właściwości przeciwkorozyjne metodą dynamiczną (próba SKF-Emcor). W teście tym, w specjalnym aparacie, smar jest poddawany badaniu w wahliwych łożyskach kulkowych, zamontowanych na poziomym wale, obracającym się z prędkością 80 obrotów na minutę bez obciążenia, w obecności doprowadzanej wody destylowanej. Doświadczenie trwa przez 3 dni, po 8 godzin z 16 godzinnymi przerwami, po których następuje 108 godzin spoczynku. Właściwości ochronne smaru przed rdzewieniem są oceniane poprzez pomiar liczby i powierzchni plam powstałej rdzy na zewnętrznej bieżni pier-

Rys. 19.6 Zasada pomiaru w teście wałkowania

A – pomiar penetracji przed wałkowaniem, B – pomiar penetracji po wałkowaniu, 1 – badany smar, 2 – wałek zewnętrzny, 3 – wałek wewnętrzny



Rys. 19.7 Porównanie odporności na wodę smaru litowego z dodatkiem EP (1) oraz smaru litowego kompleksowego z dodatkiem EP (2), dla różnej ilości wody, zastosowanej w teście wałkowania w obecności wody

ścieni łożysk. W określonych przypadkach woda destylowana może być zastąpiona słoną wodą korozyjną lub syntetyczną wodą morską.

W przypadku smarów łożyskowych, najczęściej jest wymagane badanie prowadzone na łożysku, w środowisku wody destylowanej. Ten poziom ochrony przed korozją jest wystarczający dla większości zastosowań. W szczególnych przypadkach (transport morski, eksploatacja w klimacie tropikalnym itp.) jest zalecane stosowanie smarów specjalnych, zawierających efektywny inhibitor korozji.

Właściwości ochronne przed korozją. W teście tym, w specjalnym aparacie trzy łożyska stożkowe wypełnione badanym smarem, pod niewielkim obciążeniem i obracające się z szybkością 1750 obr/min, pracują przez jedną minutę. W tym czasie następuje rozprowadzenie smaru w łożysku w sposób zbliżony do warunków rzeczywistych. Następnie łożyska są przechowywane przez dwa tygodnie, w temperaturze 25°C, w atmosferze o 100% wilgotności względnej. Na koniec testu ocenia się ślady korozji na łożysku.

Obie opisanie metody oceny właściwości przeciwkorozyjnych smarów z założenia bardzo różnią się między sobą. Pierwsza z nich ma charakter dynamiczny, a druga statyczny. Stosowane są również inne testy określające właściwości ochronne smarów.

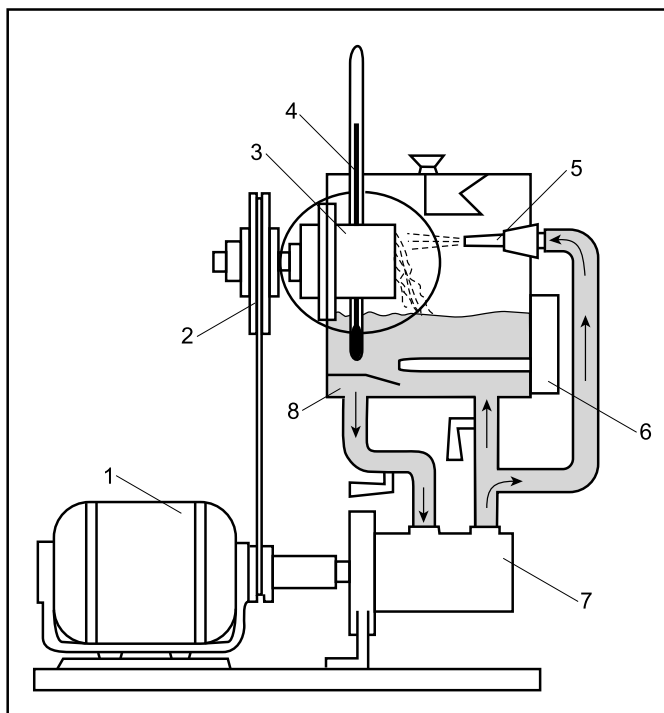
Testy (badania) w ujemnej temperaturze

Smary przeznaczone do zastosowań w niskiej temperaturze, są poddawane specjalnym testom, modelującym rzeczywiste warunki ich pracy.

Moment rozruchowy w ujemnej temperaturze. W teście tym, małe łożysko kulkowe załadowane badanym smarem, zamontowane na urządzeniu pozwalającym zmierzyć moment rozruchowy, umieszcza się w komorze klimatycznej. Po dwóch godzinach przetrzymywania smaru w zadanej temperaturze, mierzy się moment rozruchowy, a następnie powtarza się pomiar po jednej godzinie pracy. Różnica wyników tych pomiarów jest miarą przydatności smaru do zastosowań w ujemnej temperaturze.

Penetracja w ujemnej temperaturze. Badany smar i stożek pomiarowy przechowuje się przez 4 godziny w określonej temperaturze, a następnie mierzy się penetrację, zgodnie z punktem – penetracja po ugniataniu.

Badanie właściwości EP oraz właściwości przeciwzużyciowych. Spośród wielu urządzeń, służących do przeprowadzania badań właściwości EP i właściwości przeciwzużyciowych środków smarowych, do badania smarów plastycznych najczęściej stosowane są dwa: maszyna czterokulowa i maszyna Timken'a. W odniesieniu do smarów plastycznych przeznaczonych do przekładni zębatych, stosowane są testy przekładniowe, np. test FZG.



Rys. 19.8 Schemat aparatu do badania wymywania smaru wodą
1 – silnik, 2 – napęd łożyska, 3 – łożysko z badanym smarem, 4 – termometr,
5 – wtrysk wody, 6 – grzejnik, 7 – pompa wodna, 8 – zbiornik wody

Maszyna czterokulowa – właściwości przeciwzużyciowe. W teście tym (patrz: p. 4.6), w skojarzeniu trącym maszyny czterokulowej, trzy stalowe kulki umieszczone w naczyniu zawierającym smar, który ma zostać poddany próbie, są unieruchamiane i dociskane ze zmienną siłą kulką czwartą, umieszczoną w uchwycie zamontowanym na wałku silnika elektrycznego. Środki smarne są oceniane według wyników pomiarów lub obliczeń różnych parametrów, na podstawie zarejestrowanego współczynnika tarcia i pomiaru średnic skaz zużycia na kulkach. Ocenia się, że im mniejsza średnica skazy zatarcia i mniejszy współczynnik tarcia, tym lepsze właściwości przeciwzużyciowe i smarne ma badany smar.

Maszyna Timken'a. W teście tym (patrz p. 4.6, pierścień stalowy obraca się wokół poziomo ustawionego wałka, trąc o opierający się na nim stalowy blok. Nacisk bloku jest określony i może być zmienny. Badany smar jest natryskiwany w miejsce styku. Testy są prowadzone przy stałej prędkości obrotowej i przy rosnącym obciążeniu. Substancje smarujące są klasyfikowane według porównania obciążeń zatarcia, współczynników tarcia, ubytków masy smarowanych elementów i przenoszonych nacisków.

Wytrzymałość łożysk. Urządzenie pozwala na określenie czasu życia łożysk stożkowych, przy użyciu do ich smarowania badanego smaru plastycznego. Łożyska pracują pod obciążeniem osiowym i promieniowym. Osiem obciążonych, nasmarowanych łożysk, zamontowanych na czterech wałkach jest napędzane silnikiem elektrycznym, aż do awarii któregośkolwiek z łożysk, objawia się ona wysoką temperaturą lub wibracjami. Testy są przeprowadzane wielokrotnie, w celu uzyskania danych statystycznych, dotyczących wytrzymałości łożysk w zadanych warunkach pracy. Urządzenie może zostać zmodyfikowane w celu przeprowadzenia doświadczeń z łożyskami kulkowymi.

Odporność na zjawisko (efekt) Brinella (FEB). Zjawisko Brinella polega na powstawaniu na bieżniach łożysk kulkowych odcisków, spowodowanych naciskiem nieruchomych kulek (na przykład w łożyskach kół samochodowych). Aby określić zdolność smaru do zmniejszania efektu Brinella, w specjalnym aparacie dwa nasmarowane łożyska kulkowe są poddawane obciążeniu 800 daN, przy oscylacji (30 i przy częstotliwości 24 Hz). Po zakończeniu doświadczenia (50 godzin), zużycie w wyniku efektu Brinell'a jest określane wagowo.

Badania w przekładni homokinetycznej. Urządzenie to, za-

projektowane przez Glaenzera Spicera, umożliwia badanie smarów przeznaczonych do przekładni homokinetycznych pojazdów i analogicznych. Na test składa się 24-godzinny okres docierania, po którym następuje 150-godzinna próba wytrzymałości. Prędkość obrotowa jest stała i wynosi 750 obr/min. Parametry zmienne to: temperatura, odchylenie kątowe i moment oporowy. Po teście przekładnię rozbiiera się, a jej części są poddawane ocenie stanu zużycia.

19.6 Klasyfikacje według konsystencji

Ważną cechą eksploatacyjną smarów plastycznych jest tzw. konsystencja. Konsystencję można określić jako odporność (trwałość) smaru na deformację. Powszechnie stosowana klasyfikacja smarów plastycznych (tabela 19.6) wg NLGI (*National Lubricating Greases Institute*), opiera się na ich konsystencji, określonej liczbowo jako zakresy penetracji po ugniataniu. Według tej klasyfikacji smary plastyczne zostały podzielone na 9 klas. W klasyfikacji tej smary o konsystencji 000...0 są to tzw. smary półpłynne, a od klasy 6 są to smary o konsystencji stałej, produkowane w postaci brykietów. Większość smarów plastycznych do smarowania łożysk jest wytwarzana w klasach konsystencji 1, 2, 3.

Tabela 19.6 Klasyfikacja NLGI smarów plastycznych wg konsystencji

Klasa NLGI	Zakresy penetracji	Konsystencja	Podstawowe zastosowania
000	445...475	płynna	Przekładnie mechaniczne.
00	400...430	płynna	
0	355...385	półpłynna	
1	310...340	bardzo miękka	Łożyska toczne i ślizgowe.
2	265...295	miękka	
3	220...250	średnia	
4	175...205	półtwarda	Inne mechanizmy.
5	130...160	twarda	
6	85...115	bardzo twarda	

19.7 Klasyfikacja według przeznaczenia

Podstawowa, praktyczna klasyfikacja smarów plastycznych, ze względu na przeznaczenie obejmuje następujące grupy:

- smary przeciwcierne, zmniejszające tarcie i współczynnik tarcia,
- smary konserwacyjne, służące do przeciwdziałania korozji i rdzewienia,
- smary cierne, zwiększające współczynnik tarcia,

Tabela 19.7 Klasyfikacja smarów plastycznych wg ISO 6743/9 – Rodzina X

Kolejne elementy symbolu smaru	Znaczenie danego elementu symbolu
X	Ogólny symbol smaru
A – E Symbol 1	Minimalna temperatura stosowania: A (0 °C), B (-20 °C), C (-30 °C), D (-40 °C), E (poniżej -40 °C).
A – G Symbol 2	Maksymalna temperatura stosowania: A (60 °C), B (90 °C), C (120 °C), D (140 °C), E1 (60 °C), F (180 °C), G (>180 °C).
A – I Symbol 3	Zdolność smaru do pracy w obecności wody i ochrony przed korozją, wg tabeli 19.8
A – B Symbol 4	Element opisujący zdolność do przenoszenia obciążeń: A – do zastosowań nie wymagających stosowania dodatków EP, B – do zastosowań wymagających stosowania dodatków EP
000 – 6	Symbol klasy konsystencji NLGI

Tabela 19.8 Budowa symbolu smaru plastycznego wg zasad ISO 6743/9:1987

Symbol klasyfikacji	Klasa środków smarne	Rodzina smary	Najniższa temperatura pracy	Najwyższa temperatura pracy	Odporność na działanie wody i ochrona przeciwrdzewna	Odporność na obciążenia	Konsystencja
ISO –	– L –	– X –	– symbol 1 –	– symbol 2 –	– symbol 3 –	– symbol 4 –	Klasa wg NLGI

- smary przeciwcierniokonserwacyjne,
- smary uszczelniające,
- smary do specjalnych zastosowań.

Podejmowano liczne, inne próby klasyfikowania smarów plastycznych ze względu na ich przeznaczenie do określonych, z uwzględnieniem warunków pracy. Syntezą tych prób jest klasyfikacja wg ISO 6743/9:1987, którą w uproszczeniu przedstawiono w tabeli 19.7. Klasyfikacja jest przeznaczona do smarów plastycznych, przeznaczonych do smarowania skojarzeń trących: maszyn, pojazdów itp.

W tabeli 19.8 przedstawiono budowę symbolu smaru. Według tej klasyfikacji symbol smaru jest ośmiocłonowy.

Szczególnie rozbudowany jest symbol 3, opisujący kontakt z wodą i stopień ochrony przed rdzewieniem. Zasadę budowy tego symbolu przedstawiono w tabeli 19.9.

Tabela 19.9 Sposób wyznaczania symbolu 3

Warunki środowiska	Ochrona przed rdzewieniem	Symbol 3
L	L	A
L	M	B
L	H	C
M	L	D
M	M	E
M	H	F
H	L	G
H	M	H
H	H	I

W tabeli 19.9 oznaczono:

- warunki środowiska: L – suche, M – wilgotne, H – wymywanie wodą;
- ochrona przed rdzewieniem: L – bez ochrony, M – ochrona w obecności wody słodkiej, H – ochrona w obecności wody morskiej.

Przykład

Klasa ISO-L-XBEGA-2 jest przypisana dla smaru plastycznego, oznaczającego się następującymi właściwościami eksploatacyjnymi:

- najniższa temperatura pracy (symbol 1): -20°C ;
- najwyższa temperatura pracy (symbol 2): $+160^{\circ}\text{C}$;
- kontakt z wodą (symbol 3): dopuszczalny;
- nie jest wymagana ochrona przed rdzewieniem;
- warunki obciążeń: do dużych obciążeń, wymagane właściwości EP;
- klasa konsystencji wg NLGI = 2 (patrz p. 19.5).

Temu samemu smarowi plastycznemu może odpowiadać tylko jeden symbol i klasa. Z tego względu należy podawać symbol odpowiadający najostrzejszemu warunkowi pracy, w których smar może pracować.

Klasyfikacja została opracowana na podstawie warunków pracy smaru, ponieważ uznano że ze względu na różnorodność właściwości smarów plastycznych nie ma możliwości ich klasyfikowania wg smarowanych skojarzeń trących. Z tego względu, producent (dostawca) smaru w warunkach technicznych powinien podawać, do jakich zastosowań smar jest przeznaczony i przydatny, np.:

- łożyska toczne,
- łożyska ślizgowe,
- przeguby,

- prowadnice,
- przeguby homokinetyczne,
- przekładnie otwarte,
- przekładnie zamknięte,
- przekładnie linowe,
- kompatybilność z uszczelnieniami,
- możliwość incydentalnego kontaktu z żywnością.

Środowisko pracy:

- wilgoć,
 - słabe kwasy,
 - słabe zasady,
 - odporność obciążenia udarowe,
 - odporność na wibracje,
 - odporność na wysokie naciski,
 - możliwość pracy w próżni, itp.
- Sugerowany sposób doprowadzenia:
- ręczny (okresowy),
 - centralny.

Producent smaru powinien również podawać, jaki rodzaj oleju i zagęszczacza jest w składzie smaru. Pozwala to na łatwiejszy dobór zamiennika.

Klasyfikacja smarów plastycznych wg ISO 6743/9:1987, mimo wielu zalet, nie znalazła jeszcze powszechnego zastosowania, głównie ze względu na skomplikowaną budowę symbolu klasyfikacyjnego.

19.8 Zastosowania smarów plastycznych

Smary plastyczne są stosowane w tych przypadkach, gdy zastosowanie olejów jest nieuzasadnione względami technicznymi lub ekonomicznymi. Liczne zalety smaru jako substancji smarującej często uzasadniają jego zastosowanie zamiast olejów smarowych. Jednak w niektórych przypadkach smar plastyczny nie może być stosowany, gdyż w przeciwieństwie do olejów, nie jest zdolny do odprowadzenia ciepła wytwarzanego w skojarzeniu trącym na skutek tarcia, a także powstających w układzie zanieczyszczeń stałych. Smary są również źródłem większych oporów przepływu niż oleje.

Powody dla których są stosowane smary plastyczne, a nie bardziej efektywne oleje smarowe przedstawiono w formie tabelarycznej (tabela 19.10).

Tabela 19.10 Dlaczego warto stosować smar?

Lepsze właściwości uszczelniające; zabezpieczenie przed zanieczyszczeniami zewnętrznymi (kurz) oraz eliminacja wycieków.
Lepsza przyczepność – nie dochodzi do postępującego wyciekania po zatrzymaniu urządzenia, smar zmniejsza tarcie przy rozruchu i daje lepsze zabezpieczenie antykorozyjne w czasie przedłużonego postoju.
Czystość i bezpieczeństwo; brak wycieków i rozpryskiwania; możliwość ustawiania części smarowanych w dowolnym położeniu.
Większy zakres temperatur stosowania niż w przypadku olejów.
Oszczędność i prostota użycia – mniejsza częstotliwość wymiany, to długie okresy między konserwacjami. Smar może być wykorzystywany do smarowania, nawet „na całe życie” (łożyska toczne).
Proste połączenia i tańsze uszczelnienia.
Możliwość smarowania w wilgotnej atmosferze, bez ryzyka korozji.
W wielu przypadkach zmniejszenie hałaśliwości i wibracji (przekładnie zębate).
Lepsze zachowanie smaru w przypadku ekstremalnych nacisków, niewielkich prędkości, wibracji i pracy nieciąglej, niż w przypadku oleju.

Czas użytkowania smaru zależy od warunków pracy:

- konstrukcji skojarzenia trącego,
- oddziaływań mechanicznych (prędkości, obciążeń, drgań)
- maksymalnej temperatury pracy,
- kontaktu z wodą,
- zanieczyszczenia atmosfery,
- jakości smaru.

Czas pracy smaru w urządzeniach jest bardzo zróżnicowany: od 100 godzin, aż do smarowania na „cały okres pracy” maszyny. Nie w każdym przypadku jest możliwe oszacowanie wpływu warunków pracy na czas użytkowania smaru. Poszczególne gatunki smarów w różnym stopniu ulegają destrukcji podczas pracy. W przypadku większości maszyn, maksymalny okres pracy smaru do wymiany jest ustalany doświadczalnie przez konstruktorów lub na zasadzie podobieństwa i podawany w kartach smarowania lub instrukcjach użytkowania. Należy przestrzegać podanych zaleceń.

19.9 Ogólne zasady doboru smarów plastycznych do zastosowań

Czynniki wpływające na dobór smaru do urządzeń syntetycznie przedstawiono w tabeli 19.11.

Podczas doboru smaru plastycznego do zastosowań w maszynach, należy uwzględnić bardzo wiele czynników, takich jak:

- konstrukcję skojarzenia trącego,
- obciążenia (przedział zmienności, kierunek, czas trwania, częstotliwość),
- prędkość,
- częstotliwość uruchamiania maszyny,
- wymaganą niezawodność skojarzenia trącego
- precyzję wykonania np. możliwą niewspółosiowość,
- możliwość prowadzenia obsługi, w tym sposób doprowadzenia smaru do skojarzenia trącego,
- minimalną i maksymalną temperaturę pracy,
- możliwy kontakt z wodą lub parą wodną,
- potrzebę ochrony metali konstrukcyjnych przed rdzewieniem i korozją,
- rodzaj materiałów uszczelnień,
- agresywność substancji, z którymi smar będzie w styczności,
- zakładany czas pracy do wymiany,
- wymagania, wynikające z wpływu na środowisko naturalne,
- szczególne wymagania, wynikające z przepisów bezpieczeństwa (przemysł spożywczy, farmaceutyczny, górnictwo itp.).

Smar wysokiej jakości może mieć bardzo szerokie pole zasto-

Tabela 19.11 Czynniki wpływające na dobór smaru do urządzeń

Rodzaj mechanizmu, który ma być smarowany.
Stan techniczny mechanizmu do smarowania: problemy związane ze szczelnością (konsystencja i przyczepność) oraz względy natury ekonomicznej.
Zakres temperatur roboczych – dobór temperatury kroplenia, pompowalności, właściwości przeciwutleniających.
Sposób stosowania: na przykład, w przypadku centralnego systemu smarowania o dużej długości przewodów doprowadzających, funkcjonującego w bardzo niskich temperaturach, należy wybrać półpłynny smar o dużej odporności na działanie niskich temperatur.
Zakładany okres funkcjonowania przy długich okresach pracy, smar umożliwiają lepsze zabezpieczenie przed korozją i utlenianiem.
Obecność wody – odpowiedni dobór mydła i zabezpieczenia antykorozyjnego.
Wysokie obciążenia, wstrząsy, wibracje to konieczność zastosowania smaru o właściwościach EP, zapobiegających zużyciu przy dużych naciskach.
Zagrożenie zanieczyszczeniami spowodowane przez pewne substancje chemiczne, wymusza zastosowanie smaru nierozpuszczalnego, na przykład w węglowodorach.
Obecność metali katalizujących (przyspieszających) utlenianie (np. stopy miedzi) wymusza stosowanie smarów z dodatkami przeciwutleniającymi.

sowania i wpływać na znaczne uproszczenie procesu smarowania. Jednakże dobór smaru o optymalnych właściwościach dla danego urządzenia jest zagadnieniem trudnym i wymagającym uwzględnienia wielu wymienionych czynników. W bardziej złożonych przypadkach, problem doboru smaru najlepiej powierzyć specjalistom.

Większość urządzeń może być smarowana smarem w klasie konsystencji NLGI 2. Współczesne smary w tej klasie konsystencji, są stabilne w temperaturach 100...130°C, a powszechnie stosowane kompleksowe smary litowe do temperatury 140...180°C. Smar o klasie konsystencji NLGI 2, może również być przetłaczalny w większości systemów centralnego smarowania.

19.10 Smarowanie łożysk tocznych

Szczególnie trudnym zadaniem jest dobór smaru do smarowania łożysk tocznych. Jak zasygnalizowano wcześniej, każdy smar ze względu na zastosowanie w jego składzie określonego rodzaju oleju oraz zagęszczacza, ma określone właściwości. Zatem, aby odpowiednio dobrać smar, trzeba określić warunki pracy łożyska i jego podstawowe cechy konstrukcyjne i warunki eksploatacji. Należy brać pod uwagę: typ łożyska (igiełkowe, kulkowe, baryłkowe itd.), sposób jego smarowania oraz warunki pracy, takie jak:

- średnie obciążenie łożyska,
- czynnik oznaczany jako D_n lub DN,
- prędkość obwodową łożyska,
- czynniki atmosferyczne (wilgotność, czynniki korozyjne),
- maksymalną i minimalną temperaturę pracy,
- i inne wymienione wyżej.

Czynnik D_n jest wyznaczany jako iloczyn średniej średnicy łożyska (d_m) w milimetrach i maksymalnych obrotów (n) [min^{-1}], wg wzoru (19.4)

$$D_n = n \cdot d_m \quad (19.4)$$

Od czynnika D_n jest uzależniona optymalna lepkość oleju bazowego w maksymalnej temperaturze stosowania, co ilustruje tabela 19.12.

Tabela 19.12 Zależność minimalnej wymaganej lepkości oleju od czynnika D_n (DN)

Czynnik D_n (DN) [mm · obroty/minutę]	Minimalna lepkość oleju smarowego, [mm ² /s]
200	5 000
500	2 000
1 000	1 000
5 000	300
10 000	250
50 000	70
100 000	40
500 000	8
1 000 000	5

Średni podstawowy czas pracy łożyska (L_{10}), wyrażany w milionach obrotów, wg danych SKF może być obliczany jako stosunek (19.5):

$$L_{10} = \frac{(C)^p}{P} \quad (19.5)$$

gdzie:

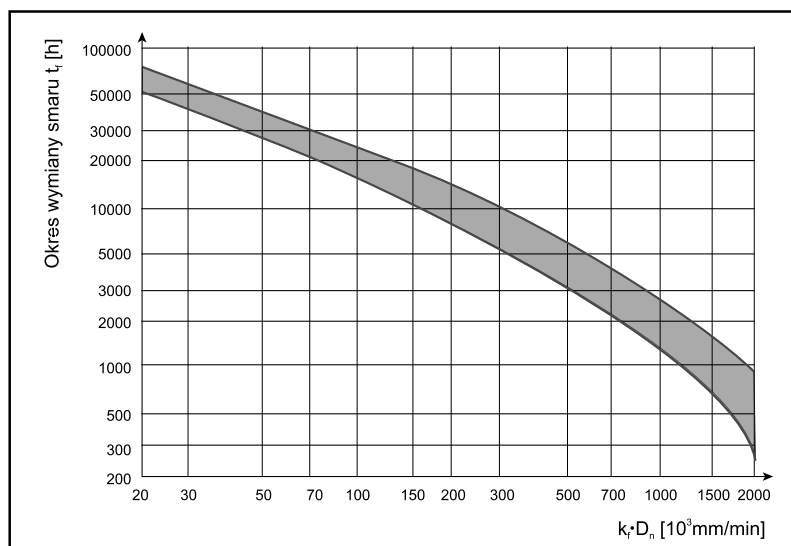
C – podstawowe obciążenie łożyska,

P – równoważne obciążenie łożyska,

p – wykładnik; $p = 3$ dla łożysk kulkowych, $p = 2$ dla łożysk ślizgowych.

Istnieją również nomogramy pozwalające na wyznaczenie maksymalnego czasu pracy łożysk kulkowych i ślizgowych.

W przypadku łożysk tocznych często występującym problemem jest ustalenie okresu wymiany smaru (t_f). W praktyce, okres wymiany dla normalnych warunków pracy smaru, w temperaturze poniżej 70°C i stosunku $P/C < 0,1$ może być wyznaczony w godzinach [h], na podstawie wykresu (rys. 19.9):



Rys. 19.9 Wykres do wyznaczania okresu wymiany smaru w łożyskach

Tabela 19.13 Współczynnik k_f dla łożysk do ustalenia okresu wymiany smaru

Typ łożyska	Charakterystyka łożyska	Wartość współczynnika k_f
Łożysko kulkowe	Jednorzędowe	0,9...1,1
	Dwurzędowe	1,5
Łożysko poprzeczno-wzdłużne (kątowe)	Jednorzędowe	1,6
	Dwurzędowe	2
Łożysko wrzecion	$\alpha = 15^\circ$	0,75
	$\alpha = 25^\circ$	0,9
Łożysko czteropunktowe		1,6
Łożysko kulkowe, wahiwe (samonastawne)		1,3...1,6
Łożysko oporowe, kulkowe		5...6
Łożysko oporowe, poprzeczno-wzdłużne (kątowe)	Dwurzędowe	1,4
Łożyska wałeczkowe	Jednorzędowe	3...3,5 ^{a)}
	Dwurzędowe	3,5
	Łożyska kompletne	25
Łożysko oporowe, wałeczkowe		90
Łożysko wałeczkowe, igiełkowe		3,5
Łożysko stożkowe		4
Łożysko wałeczkowe, baryłkowe		10
Sferyczne łożysko wałeczkowe bez rowka prowadzącego		7...9
Sferyczne łożysko wałeczkowe ze środkowym rowkiem prowadzącym		9...12

a) $k_f = 2$ w przypadku nacisku promieniowego lub zmiennego
 $k_f = 3$ w przypadku stałego kierunku działania nacisku

Współczynnik k_f niezbędny do tego celu, podano w tabeli 19.13.

Wyznaczony na tej podstawie okres wymiany t_f powinien być skorygowany do wartości t_{fq} zgodnie z wzorem (19.6), poprzez uwzględnienie współczynników f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 , których wartości podano w tabeli 19.14.

$$t_{fq} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot t_f \quad (19.6)$$

Częstą przyczyną nadmiernego grzania lub nawet uszkodzenia łożyska, jest wprowadzenie zbyt dużej ilości smaru. W przypadku łożyska uszczelnionego, przyczyną uszkodzenia jest blokowanie obrotu elementów tocznych przez zbyt dużą ilość smaru. Następuje znaczne zwiększenie udziału tarcia ślizgowego, co powoduje wzrost zużycia i wydzielania ciepła. Łożysko się rozgrzewa, aż do przekroczenia temperatury kroplenia smaru. Następuje wyciek smaru; brak smarowania, co pociąga za sobą przyspieszone zużycie powierzchni skojarzeń trących. Proces ma charakter sprzężenia zwrotnego.

W przypadku nowego, dotychczas nie smarowanego łożyska, przyjmuje się, że smar powinien zapewniać 30...50% wewnętrznej, swobodnej przestrzeni łożyska, obliczanej wg wzoru (19.7)

$$V = (\pi/4) \cdot B \cdot (D^2 - d^2) \cdot 10^{-9} - (G/7800) \text{ [m}^3\text{]} \quad (19.7)$$

gdzie:

d – wewnętrzna średnica łożyska, [mm],
 D – zewnętrzna średnica łożyska, [mm],
 B – szerokość łożyska, [mm],
 G – waga łożyska, [kg].

Zarówno niedostateczne jak i nadmierne napełnienie łożyska smarem niekorzystnie wpływa na trwałość łożyska. Napełnienie niewystarczające jest mniej szkodliwe. W skrajnych przypadkach, gdy $D_n > 1\,000\,000$, jest zalecane napełnianie łożyska ilością smaru, niewystarczającą do wytworzenia ciągłej warstwy pomiędzy elementami tocznymi i bieżnią łożyska.

W najczęściej występujących przypadkach uzupełniania smaru w łożysku, ilość smaru może być obliczona na podstawie jednego z podanych wzorów:

Tabela 19.14 Współczynniki korygujące okres wymiany smaru w łożysku

Czynniki wpływające na współczynniki korekcyjne	Współczynniki, do wzoru (19.6)
Czynniki zanieczyszczające łożysko	f_1
Umiarkowane	0,7...0,9
Duże	0,4...0,7
Bardzo duże	0,1...0,4
Obciążenia szokowe i wibracje	f_2
Umiarkowane	0,7...0,9
Duże	0,4...0,7
Bardzo duże	0,1...0,4
Temperatura pracy łożyska	f_3
Umiarkowana (do 75 °C)	0,7...0,9
Wysoka (75...85 °C)	0,4...0,7
Bardzo wysoka (85...120 °C)	0,1...0,4
Obciążenie łożyska	f_4
P/C = 0,1...0,15	0,7...1,0
P/C = 0,15...0,25	0,4...0,7
P/C = 0,25...0,35	0,1...0,4
Efekt przepływu powietrza przez łożysko	f_5
Lekki przepływ	0,5...0,7
Silny przepływ	0,1...0,5

- okresowo, w trakcie eksploatacji

$$m_1 = D \cdot B \cdot x \text{ [g]} \quad (19.8)$$

gdzie x przyjmuje wartość:

tygodniowo $x = 0,002$

miesięcznie $x = 0,003$

rocznie $x = 0,004$

- ilość smaru do przesmarowania (m_2) dla bardzo krótkich okresów międzyobsługowych

$$m_2 = (0,5 \dots 20) \cdot V \text{ [kg/h]} \quad (19.9)$$

- przed ponownym uruchomieniem łożyska, po kilku latach postoju

$$m_3 = D \cdot B \cdot 0,01 \text{ [g]} \quad (19.10)$$

W przypadku, gdy jest możliwe odprowadzenie smaru przez szczelinę w uszczelnieniu, całkowite zapełnienie łożyska może być korzystne. Wówczas smar uszczelnia szczelinę pomiędzy wałem i obudową, co zabezpiecza samo łożysko przed zanieczyszczeniem.