

OLEJE ICH KLASYFIKACJA I ZASTOSOWANIE

Oleje silnikowe do silników czterosuwowych

FUNKCJE OLEJU

Do podstawowych zadań oleju silnikowego należą:

a) smarowanie w szerokim zakresie temperatur,

- - zmniejszenie tarcia,
- - chłodzenie silnika,
- - utrzymanie czystości powierzchni smarowanych,
- - uszczelnienie elementów silnika (tłoki, cylindry, pierścienie itp.),
- - chronienie przed korozją,
- - ograniczenie zużycia ruchomych części w silniku.

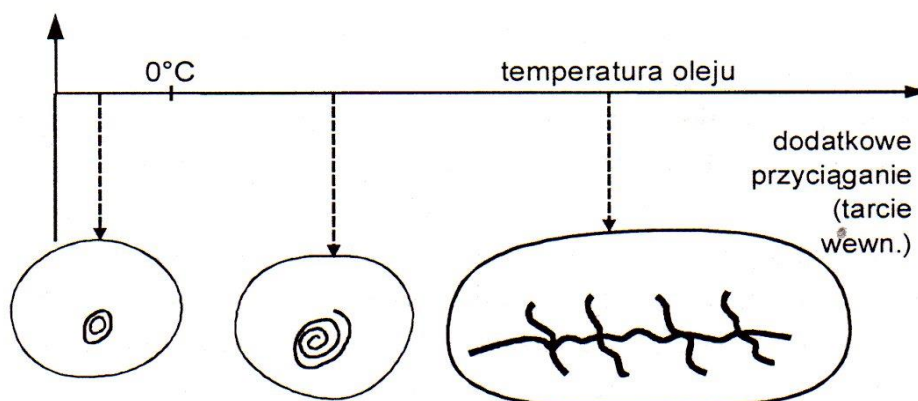
Umożliwienie uruchomienia wszystkich ruchomych zespołów w szerokim zakresie temperatur.

Aby olej mógł skutecznie smarować silnik w szerokim zakresie temperatur, poczynając od rozruchu, np. w warunkach zimowych do temperatur rzędu 150°C i wyżej przy normalnej pracy, musi posiadać odpowiednią charakterystykę lepkościową. Pożądana jest możliwie płaska zależność lepkości od temperatury (czyli wysoki wskaźnik lepkości), uniemożliwiająca łatwy rozruch silnika. Bliższe informacje o normowaniu lepkości oleju silnikowego podane zostaną przy omawianiu tzw. klasyfikacji lepkościowej SAE.

Względnie pełną charakterystykę reologiczną oleju silnikowego posiadamy, jeśli znamy wartości jego lepkości w temperaturach ujemnych (różnych dla różnych olejów) oraz dodatnich takich, jak 40, 100 i 150°C.

Lepkość w 40 i 100°C jest potrzebna do wyznaczenia tzw. wskaźnika lepkości WL (po angielsku VI-Viscosity Index). Im bardziej płaska charakterystyka lepkościowo-temperaturowa, tym wyższa wartość WL. Oleje silnikowe posiadają WL od 100 do 180, przy czym niższe wartości wykazują oleje z bazą mineralną, wyższe - z bazą syntetyczną. Oleje bazowe mineralne cechują się wskaźnikiem lepkości na poziomie 95-105.

Uzyskiwanie korzystniejszych ze względów eksploatacyjnych charakterystyk reologicznych, tzn. o wyższych wskaźnikach lepkości, możliwe jest dzięki wprowadzeniu do oleju bazowego dodatków lepkościowych, tzw. wiskozatorów. Prawdopodobny mechanizm ich działania przedstawiono na rys1.



NAPĘDZAMY CAŁY ŚWIAT

PPHTU ADWA Sp. z o.o. ul. Lodowa 107, 92-323 Łódź
Tel +48 42 649-15-68; sekretariat@adwa.pl; sprzedaz@adwa.pl

Wiskozatory są to związki o charakterze polimerów, które w niskiej temperaturze mają kształt gęsto upakowanych kłębków, rozwijających się w miarę wzrostu temperatury oleju w długie łańcuchy z bocznymi rozgałęzieniami. Pojawiają się dodatkowe oddziaływania przyciągające siłami międzycząsteczkowymi (Van der Waalsa) między molekułami oleju bazowego a rozgałęzionymi łańcuchami wiskozatora. Zjawisko to przeciwdziała naturalnemu spadkowi lepkości ze wzrostem temperatury. Lepkość obniża się, lecz mniej intensywnie, charakterystyka lepkościowo-temperaturowa staje się bardziej płaska, rośnie zatem wskaźnik lepkości WL.

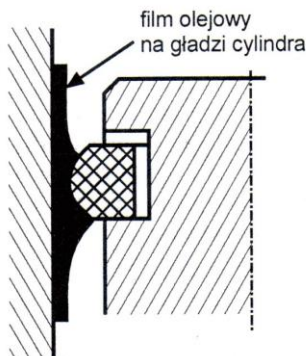
Przy rozruchu silnika w temperaturach ujemnych ważne jest to, aby olej w postaci płynnej, bez zakłóceń, dotarł w krótkim czasie do węzłów ruchowych silnika. Do oceny zachowania się oleju w takich warunkach wprowadzono, oprócz pomiaru lepkości, również wskaźnik zwany temperaturą pompowności, oznaczający najniższą temperaturę, w której olej zachowuje płynność w urządzeniu symulującym zimny rozruch (z ang. CCS - Cold Cranking Simulator). Temperatura krzepnięcia oleju jest niższa o kilka lub kilkanaście stopni.

Oleje bazowe mineralne wykazują temperaturę krzepnięcia na poziomie -9 do -22°C. Aby płynność oleju zachować również w niższych temperaturach, wprowadza się tzw. depresatory, czyli dodatki obniżające temperaturę krzepnięcia. Wiadomo, że z mieszaniny węglowodorów o różnej budowie, jaką stanowią oleje bazowe mineralne, przy obniżaniu temperatury najwcześniej krystalizują parafiny. Depresatory są to związki aktywne powierzchniowo, które adsorbując na zarodkach krystalizacji parafin, izolują je przed bezpośrednim kontaktem, przeciwdziałając tym samym łączeniu się ich w konstrukcję przestrzenną (krzepnięcie).

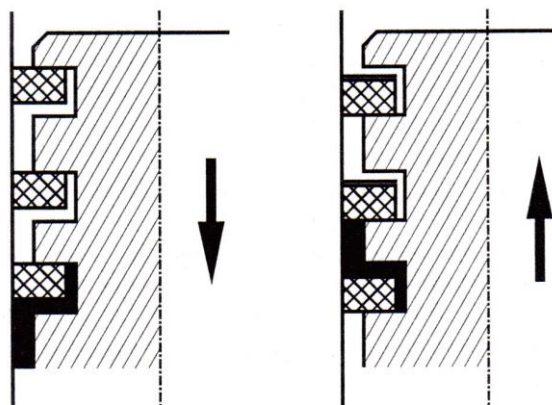
Własności reologiczne oleju (odpowiedzialne za smarowanie płynne) ulegają pogorszeniu, jeśli olej łatwo miesza się z powietrzem (tworzenie piany) lub wodą (tworzenie emulsji). Zjawiskom tym zapobiega się za pomocą dodatków antypiennych oraz deemulgatorów, substancji aktywnych powierzchniowo, wypierających powietrze i wodę z oleju.

W chwili rozruchu (zatrzymywania) silnika, nawet w węzłach zaprojektowanych na tarcie płynne, zachodzi tarcie mieszane. Wtedy powierzchnie współpracujące przed bezpośrednim kontaktem chronią tzw. warstwy graniczne. Cecha zespołowa, która łącznie wyraża zdolność do tworzenia warstw ochronnych na danej powierzchni, została nazwana smarnością. Umownie wyróżnia się dla takich warunków działanie antytarciowe (obniżenie współczynnika tarcia), antyzużyciowe i antyzatardiowe. Podobnie nazywa się dodatki uszlachetniające, które takie własności kształtują. U podłoża działania modyfikatorów tarcia i dodatków przeciwsużyciowych (tzw. AW - Anti Wear) leży adsorpcja fizyczna, zaś dodatki przeciwzatarciowe działają przy przeciążeniach układu, stąd ich nazwa EP (Extreme Pressure - wysokie naciski). Ciepło tarcia, generowane w zwiększonej ilości przy przeciążeniu węzła, aktywizuje dodatek EP, który reaguje chemicznie z powierzchnią metalu, tworząc warstwę chroniącą przed rozwojem procesu zacierania (zatarciem).

Uszczelniającą funkcję realizuje olej silnikowy głównie w układzie cylinder-pierścień tłokowe-tłok. Do wytworzenia ciągłego oleju smarowego na gładzi cylindra przez pierścień uszczelniający (rys. 2), niezbędna jest odpowiednia lepkość oleju w temperaturze pracy (150-315°C). W układzie tym występuje też zjawisko pompującego działania pierścieni tłokowych (rys. 3), będące przyczyną strat pewnej ilości oleju, przemieszczanego do komory spalania. Prawidłowe spełnianie przez układ funkcji uszczelniającej, izolującej komorę spalania od przestrzeni pod tłokiem, wymaga zachowania możliwości swobodnego przemieszczania się pierścieni w rowkach wykonanych na tłoku.

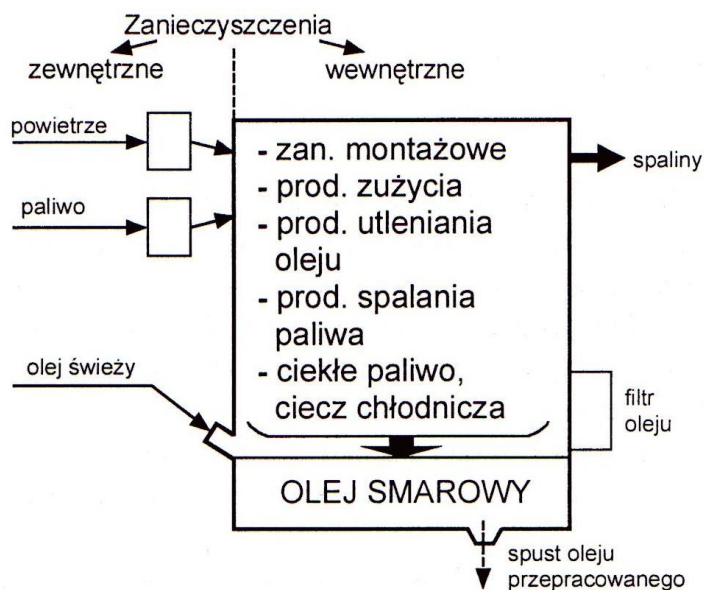


Rys. 2. Film olejowy na gładzi cylindrowej



Rys. 3. Pompujące działanie pierścieni tłokowych

Podczas pracy silnika w oleju pojawiają się różnego rodzaju zanieczyszczenia, negatywnie wpływające na jego pracę i trwałość. Ze względu na ich pochodzenie można mówić o zanieczyszczeniach zewnętrznych i wewnętrznych względem silnika (rys. 4). Część z zanieczyszczeń ma tendencję do tworzenia osadów na powierzchniach wewnętrznych silnika, czemu przeciwdziałać można poprzez zaprogramowanie odpowiednich właściwości oleju silnikowego.



Rys. 4. Schemat zanieczyszczania oleju w silniku spalinowym

NAPĘDZAMY CAŁY ŚWIAT

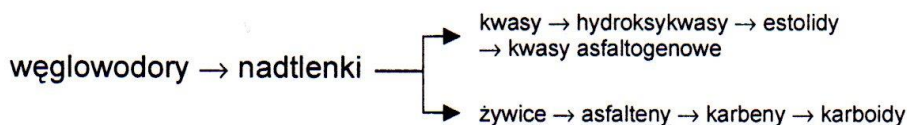
PPHTU ADWA Sp. z o.o. ul. Lodowa 107, 92-323 Łódź
Tel +48 42 649-15-68; sekretariat@adwa.pl; sprzedaz@adwa.pl

Z zewnątrz przedostają się na ogół cząstki stałe (pył) wraz z powietrzem, paliwem i olejem świeżym wprowadzanym do odpowiednich układów silnika. Ilość tych zanieczyszczeń zależy od czystości substancji zasilających, od jakości ich filtrowania na „wejściu” do silnika oraz, oczywiście, od staranności obsługi technicznej. Może się tą drogą pojawić również pewna niewielka ilość wody rozpuszczonej w paliwie, oleju świeżym, czy też zawartej pod postacią pary wodnej w powietrzu.

Na zanieczyszczenia pochodzenia wewnętrznego składają się pozostające w silniku nowym lub po remoncie cząstki pyłu, opilków, brudu itp. produkty zużycia trących się elementów silnika, produkty spalania paliwa i części oleju przedmuchiwane z komory spalania (sadza, bezwodniki kwasu siarkawego i siarkowego, woda) oraz produkty utleniania oleju. Należy również wspomnieć o przeciekach paliwa do miski olejowej spowodowanych „podciekaniem” wtryskiwaczy w silnikach wysokoprężnych lub zbyt bogatą mieszanką w silnikach gaźnikowych.

Przyczyną pojawiania się wielu różnorodnych substancji zanieczyszczających jest proces utleniania, szczególnie ułatwiony w czasie smarowania, gdy olej znajduje się w cienkiej warstewce, w podwyższonej temperaturze, przy jednoczesnym katalitycznym wspomaganie utleniania przez metaliczne podłoże. W silniku spalinowym utlenianie zachodzi w misce olejowej oraz na gładzi cylindrowej i w dolnych partiach tłoka, natomiast w strefie górnych pierścieni tłokowych przeważa proces rozkładu termicznego i spalania oleju.

Schemat utleniania węglowodorów, znajdujących się w oleju smarowym, przedstawia się następująco:

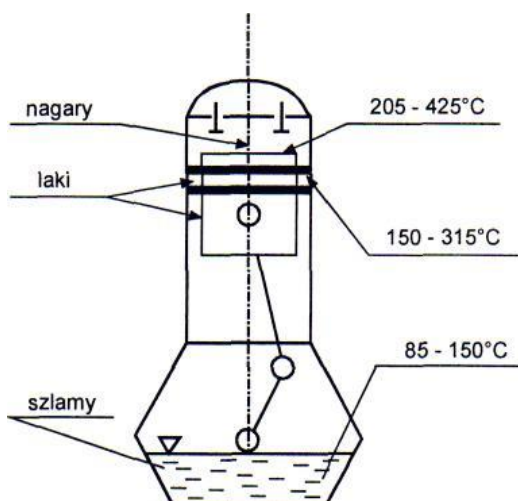


Rys. 5. Schemat utleniania węglowodorów.

Produkty kwasowe są wynikiem łączenia się tlenu z węglowodorami (tlen wbudowuje się w cząsteczkę), zaś substancje asfaltowo-żywiczne powstają poprzez odwodornienie i kondensację węglowodorów pierścieniowych, wywołaną działaniem tlenu. Tlen działa w tym przypadku jako czynnik odbierający wodór, co w dalszych stadiach procesu prowadzi do powstania bogatych w węgiel cząstek stałych, tzw. karbenów i karboidów.

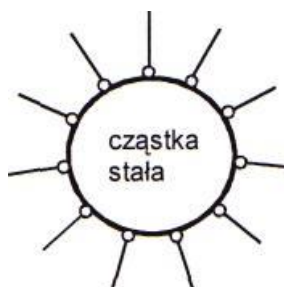
Produkty utleniania przebiegającego z różną intensywnością, w zależności od temperatury, tworzą charakterystyczne osady w różnych miejscach silnika (rys. 5):

- szlamy, czyli tzw. osady niskotemperaturowe w misce olejowej;
- laki (osady wysokotemperaturowe) na bocznych powierzchniach tłoka oraz w strefie pierścieni - tłokowych - mogą one powodować unieruchomienie pierścieni w rowkach pierścieniowych;
- nagary w komorze spalania i na denku tłoka - nagary powstają z produktów rozpadu termicznego i spalania paliwa oraz części oleju smarowego.



Rys. 5. Osady występujące w silniku spalinowym gaźnikowym

Tendencję do tworzenia osadów można zmniejszyć, jeśli się zablokuje lub spowolni proces utleniania węglowodorów. Funkcję taką pełnią dodatki -inhibitory utleniania. Sprawdza się również odporność na utlenianie gotowego oleju za pomocą różnych metod badawczych. Stosunkowo proste jest wyznaczenie tzw. liczby koksowania, charakteryzującej pośrednio skłonność oleju do przemian w wysokich temperaturach. Tworzeniu osadów na powierzchniach elementów smarowanych zapobiega się poprzez dodanie do oleju substancji aktywnych powierzchniowo, które adsorbując na powierzchniach cząstek - produktów utleniania, zawieszają je w formie koloidalnej (dyspergują) w oleju bazowym (rys. 3.6). Substancje aktywne powierzchniowo posiadają również zdolność odmywania osadów z powierzchni ciał stałych, stąd łącznie mówi się, że olej silnikowy posiada własności myjąco-dyspergujące, nadane mu przez detergenty (dodatki zmywające) i dyspergatory (dodatki rozpraszające).



Rys. 6. Mechanizm "wbudowywania" cząstek zanieczyszczeń w strukturę oleju smarowego

Należy wyjaśnić, że owo działanie dyspergujące olej przejawia się nie tylko w stosunku do stałych produktów utleniania, ale również względem innych cząstek stałych (pył, cząstki metaliczne, sadza). Rozpraszaniu (dyspergowaniu) -wbudowywaniu w strukturę oleju smarowego podlegają cząstki stałe o wymiarach $< 1 \mu m$. Micele utworzone przez zanieczyszczenia i dodatki dyspergujące mogą się łączyć w większe twory (asocjaty), które następnie wylapywane są przez filtry olejowe. Dyspergowane mogą być również drobne krople wody (tworzy się wtedy emulsja wodno-olejowa) bądź też woda uczestniczy w tworzeniu micel razem z zanieczyszczeniami stałymi. Olej eksploatowany jest zatem złożonym układem koloidalnym, w którym obok micel, złożonych z dodatków uszlachetniających, występują micelle utworzone przez zanieczyszczenia o małych wymiarach ($< 1 \mu m$) i dodatki dyspergujące.

Konieczność ochrony przed korozją części smarowanych wynika przede wszystkim z tego, że podczas eksploatacji silnika w oleju pojawiają się mocne kwasy nieorganiczne, pochodzące

z procesu spalania paliwa (głównie siarkawy i siarkowy) oraz słabe kwasy organiczne - produkty utleniania węglowodorów. Funkcje ochronne oleju silnikowego programuje się poprzez wprowadzanie do oleju dodatków alkalicznych (tzw. rezerwy alkalicznej), mających neutralizować mocne kwasy nieorganiczne. Zawartość tych dodatków charakteryzuje tzw. całkowita liczba zasadowa, wyrażona w mgKOH/g oleju, po angielsku zwana TBN (Total Base Number). Zasady reagują tylko z mocnymi kwasami, pochodzącymi z procesu spalania paliwa, nie reagują natomiast ze słabymi kwasami organicznymi - produktami utleniania węglowodorów oleju bazowego. Dlatego zachodzi swego rodzaju paradoks, że obok mocnych zasad mogą występować również pewne ilości słabych kwasów organicznych, których miarą jest tzw. liczba kwasowa (TAN - Total Acid Number), wyrażana również w mgKOH/g oleju. W tym przypadku oznacza to ilość zasady KOH zużytej podczas pomiaru do zneutralizowania kwasów zawartych w oleju (w przeliczeniu na 1 g). Drugą, niezależną od rezerwy alkalicznej formą ochrony przed korozją jest wprowadzenie do oleju bazowego inhibitorów korozji, które tworzą na powierzchniach metalicznych warstwy pasywne, nie poddające się korozji.

Należy wspomnieć również, że olej smarowy nie powinien działać niszcząco na materiały niemetaliczne, głównie elastomery uszczelnień. Sprawdza to się w specjalnych testach w fazie opracowywania technologii produkcji oleju smarowego.

Zaznaczyć także trzeba, że olej smarowy bywa zanieczyszczany ciekłym paliwem: benzyną lub olejem napędowym. Rozcieńczenie paliwem obniża lepkość oleju i zwiększa niebezpieczeństwo jego zapalenia się. Zjawisko to można kontrolować poprzez pomiar lepkości, ale istnieje również względnie łatwy do mierzenia wskaźnik - tzw. temperatura zapłonu. Świeże oleje silnikowe wykazują - w zależności od gatunku - temperaturę zapłonu na poziomie 220-250°C, oleje rozcieńczone mają temperaturę zapłonu tym niższą, im więcej lekkich frakcji paliwowych olej silnikowy zawiera.

W fazie opracowywania i produkcji oleju świeżego sprawdza się tzw. odparowalność (testem Noacka), czyli obecność lekkich frakcji oleju bazowego, które podczas użytkowania w silniku odparowują, zwiększając nieco lepkość oleju oraz przyczyniając się do jego ubytków ilościowych (strat). Wskaźnik ten jest szczególnie istotny dla olejów wykazujących niską lepkość w niskich (ujemnych) temperaturach. Oleje mineralne o obniżonej lepkości wykazują zwiększoną lotność, znacznie lepsze własności z tego punktu widzenia wykazują oleje syntetyczne.

Olej krążący w układzie smarowania silnika odprowadza część ciepła z tych obszarów, do których nie dociera czynnik z układu chłodzenia zewnętrznego. Własności cieplne, szczególnie pojemność cieplna oleju smarowego, są niskie, ale nie są one przedmiotem zainteresowania technologów. Własności tych nie normuje się. Skuteczność chłodzenia zwiększa się albo przez wzrost ilości oleju w układzie smarowania lub częściej przez zwiększenie cyrkulacji oleju w obiegu smarowniczym. W odpowiedzialnych układach stosuje się dodatkowe chłodnice oleju.

Podstawowe funkcje oleju silnikowego i odpowiadające za ich realizację własności olejów zebrano w tabeli 1.

Funkcje oleju	Niektóre własności odpowiedzialne za realizację
Smarowanie	lepkość w temp. ujemnych oraz w 40, 100, 150°C - wskaźnik lepkości - temperatura pompowności - temperatura krzepnięcia - własności przeciwpienne i deemulgujące
	odparowalność - temperatura zapłonu
	smarność (wł. antytarciowe, przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe)
Uszczelnianie lepkość	lepkość

Utrzymanie czystości	odporność na utlenianie (np. liczba koksowania) - własności myjąco-dyspergujące
Ochrona przed korozją	liczba zasadowa (TBN) - liczba kwasowa (TAN) - własności antykorozyjne (sprawdzone w różnych testach)
Chłodzenie	własności cieplne

Tabela 1. Funkcje i własności oleju silnikowego

Wymienione wcześniej dodatki uszlachetniające, których olej silnikowy wysokiej jakości może zawierać nawet do 30%, zebrano w tabeli 2 wraz z zasadami ich działania. Po przejrzeniu tej tabeli nasuwa się spostrzeżenie, że u podłoża działania dodatków smarnościowych (anty-tarciowych, antyzużyciowych i antyzatarciowych), inhibitorów utleniania, inhibitorów korozji, detergentów, leży to samo zjawisko - tworzenie warstewek ochronnych na powierzchniach metalicznych. Dlatego stosuje się dodatki wielofunkcyjne, spełniające wiele zadań jednocześnie.

Dodatki uszlachetniające	Mechanizm działania
wiskozatory	poprawiają lepkość i jej zależność od temp. (wskaźnik lepkości)
depresatory	obniżają temp. krzepnięcia, adsorbując na zarodkach krystalizacji (w. parafinowe), opóźniając ich łączenie się w ciała stałe
smarnościowe	tworzą na pow. smarowanych warstwy ochronne, tzw. graniczne (adsorpcja fizyczna i chemiczna, reakcje pow.)
inhibitory utleniania	spowalniają utlenianie; tworzą warstwy na pow. Metali, eliminujące ich katalityczne wspomag. utleniania
inhibitory korozji	tworzą warstwy na pow. metali (pasywacja - pozbawienie aktywności)
detergenty, dyspergatory	związki powierzchni. czynne zmywają osady z powierzchni, dyspergują w objętości drobne cząstki stałe, tworzą warstwy na pow. zabezp. przed osadami
rezerwa alkaliczna	neutralizuje kwaśne produkty, głównie z procesu spalania paliwa (kw. nieorganiczne), częściowo z proc. utleniania oleju
przeciwpienne	zmniejszają napięcie pow. na granicy olej - powietrze

Tabela 2. Zestawienie mechanizmów działania dodatków uszlachetniających

Niezbędna do funkcjonowania olejów silnikowych rezerwa alkaliczna jest zapewniona dzięki obecności dyspergatorów będących związkami wapnia, magnezu, czyli tzw. dyspergatorów popiołowych. Dodatki te tworzą popiół w wyniku spalania części oleju w komorze spalania silnika, zaś cząstki tego popiołu wraz z olejem mogą polerować gładź cylindra (zjawisko Bore Polishing). Istnieje również tendencja do zastępowania dodatków metalicznych (popiołowych) dodatkami bezpopiołowymi.

Dodatki uszlachetniające mogą być stosowane jako komponenty indywidualne lub pod postacią wielofunkcyjnych pakietów. Najczęściej stosuje się przy zestawianiu olejów silnikowych wielofunkcyjny tzw. pakiet jakościowy, który zawiera detergenty, dyspergatory, antyutleniacze, dodatki antykorozyjne, smarnościowe itp., uzupełniany indywidualnymi dodatkami typu wiskozatory, depresatory, ewentualnie dodatkami przeciwpiennymi. Pakiety oraz dodatki pojedyncze produkowane są przez wyspecjalizowane firmy o zasięgu światowym, co sprzyja zachowaniu wysokiej jakości wyrobów finalnych również w rafineriach regionalnych. Stosując takie technologie, unika się zjawisk antagonizmu między dodatkami, a w pakiecie jakościowym poszczególne dodatki dobiera się tak, aby wzajemnie zwiększały swą skuteczność.

Można na ten problem spojrzeć jeszcze inaczej. Otóż dodatki wprowadzane indywidualnie (wiskozatory, depresatory, ewentualnie dodatki przeciwpienne) kształtują własności reologiczne oleju, zasadnicze ze względu na funkcje smarownicze (możliwość zapewnienia optymalnych warunków tarcia płynnego). Dodatki zawarte w pakiecie jakościowym kształtują równie istotne, lecz mniej wymierne własności eksploatacyjne, tj. własności smarnościowe (przy tarcu mieszanym i granicznym), zdolności do przeciwdziałania utlenianiu, tworzeniu osadów, neutralizacji produktów starzenia oleju, ochrony przed korozją. Takie generalne rozgraniczenie własności znajduje odbicie w praktycznych klasyfikacjach olejów smarowych, gdzie ważnym elementem opisu produktu smarowego jest symbolika tzw. klasyfikacji lepkościowej oraz tzw. klasyfikacji jakościowej - rys. 7.



Rys. 7 Klasyfikacja lepkościowa oraz tzw. klasyfikacja jakościowa.