

Wiadomości

2022-08-04

Procesy żelowania olejów silnikowych w eksploatacji i ich przyczyny. Część I – Sadza.



Problem żelowania olejów silnikowych nie jest nowym zagadnieniem. Już w latach 90-tych ubiegłego wieku zaobserwowano, że oleje niższych klas jakościowych pod wpływem eksploatacji bardzo gęstnieją, tworząc galaretowatą strukturę. Początkowo wiązano to z dodatkami uszlachetniającymi, które dodawane do oleju silnikowego nadają im odpowiednie właściwości użytkowe. Z czasem zjawisko żelowania pojawiło się również w olejach silnikowych wyższych klas jakościowych, co obaliło teorię, że przyczyną żelowania olejów są dodatki uszlachetniające.

Cechą charakterystyczną oleju zżelowanego jest bardzo wysoka lepkość kinematyczna, przy czym pozostałe parametry fizykochemiczne są na poziomie oleju świeżego. Z danych literaturowych wynika, że przyczyną żelowania olejów silnikowych może być gwałtowny wzrost zanieczyszczeń, osadów i nagarów oraz sadzy. Ale skąd bierze się sadza w oleju i jakie są tego konsekwencje? Na to pytanie spróbujemy odpowiedzieć w niniejszym artykule.

Sadza w oleju silnikowym

Sadza to produkt powstający w silniku spalinowym w trakcie niepełnego spalania paliwa i innych substancji zawierających w swoim składzie chemicznym duże ilości węgla.

W spalinach silnika znajdują się różne związki toksyczne takie jak: CH , NO_x , CO oraz cząstki stałe, których głównym składnikiem jest sadza (Merkisz, 1999). Część sadzy nie ulega spalaniu i osadza się na ściankach cylindra. Niespalona sadza wraz z filmem olejowym jest zgarniana przez pierścienie i poprzez nie do końca szczelne połączenia między tłokami silnika i cylindrami przedostaje się do oleju silnikowego. Cząstki sadzy mogą też pochodzić z przedmuchiów do skrzyni korbowej jak i powstawać podczas destrukcji

(rozkładu) oleju. Część cząstek stałych wychwytywana jest przez filtry oleju a pozostała krąży w obiegu oleju silnikowego (Mruk, 2008). Do pewnego momentu sadza nie stanowi zagrożenia, ponieważ dobrej jakości olej silnikowy skutecznie ją rozprasza. Problem pojawia się wówczas, gdy stężenie sadzy w oleju osiągnie stężenie graniczne. Wtedy zaczynają powstawać większe skupiska sadzy i w konsekwencji może dojść do nagromadzenia się osadów w magistrali olejowej lub nawet zatkania kanałów olejowych.

Sadza wytworzona w silnikach może być przyczyną powstawania osadów, gwałtownego wzrostu lepkości oleju, zwiększenia tarcia elementów silnika, przyspieszenia jego zużycia, zatarcia, jak również żelowania oleju silnikowego. Nerozpuszczalne cząstki sadzy, które nagromadziły się na pierścieniach tłoka, a potem znalazły się w oleju mogą również zwiększać lepkość oleju smarowego.

W olejach smarowych stosowanych w silnikach wysokoprężnych, w skład osadów nierozpuszczalnych wchodzi: sadza, węglowodory i popiół. Generalnie osady nierozpuszczalne nie wywołują dużego wzrostu lepkości oleju, jeśli cząstki sadzy są rozproszone, ponieważ mają niewielkie średnice. Jednak cząstki sadzy mają tendencję do aglomeracji. Takie aglomeraty nierozpuszczalnych cząstek sadzy wywołują wzrost lepkości.

Dzieje się tak dlatego, że zgromadzone cząstki sadzy wiążą olej w swoich strukturach, przez co następuje wzrost lepkości oleju. W szczególnych przypadkach cząstki sadzy mogą utworzyć rozwiniętą sieć bardzo mocnej żelowej struktury. W silnikach, w których tworzy się bardzo dużo osadów nierozpuszczalnych, zaglomerowane cząstki sadzy mogą być główną przyczyną wzrostu lepkości.

Współczesne oleje silnikowe zawierają dużą ilość dodatków uszlachetniających, w tym przeciwutleniających. Dodatki te narażone na oddziaływanie bardzo rozgrzanych i niestabilnych chemicznie gazów spalinowych przedmuchiwanych do skrzyni korbowej ulegają rozkładowi, a zwiększona ilość produktów rozkładu dodatkowo obciąża olej, powodując jego zagęszczanie, a następnie sprzyja wypadaniu osadów (Jakóbiec i Budzik, 2007). Stosowanie niewłaściwego oleju do smarowania silnika powoduje jego przyspieszone zużycie, co może też mieć wpływ na tworzenie osadów w postaci żeli lub czarnych szlamów (Jakóbiec, 2003; Jakóbiec, 1997).

Gromadzenie się cząstek sadzy w oleju silnikowym

W olejach silnikowych stosowanych w silnikach wysokoprężnych poziom osadów nierozpuszczalnych zwykle waha się w granicach od 1 do 3%, ale może również sięgać do wartości ok. 7%. Badania osadów wykazały, że od 60 do 70 % całej masy osadów stanowi sadza. Pozostałą część stanowią węglowodory, popiół oraz produkty procesów utleniania oleju silnikowego (Mc Geehan et al., 1984), których źródłem są metale obecne w komponentach dodatków oraz metale pochodzące ze zużycia elementów silnika. Osady nierozpuszczalne nie wpływają znacząco na wzrost lepkości oleju, ponieważ są rozproszone w całej jego objętości. Niemniej jednak, osady nierozpuszczalne mają tendencję do grupowania się czyli do aglomeracji. Zjawisko aglomeracji może mieć istotny wpływ na wzrost lepkości, bowiem zgromadzone cząstki „łapią” olej w swoje struktury, zwiększając tym samym swoją objętość i masę. Ze względu na tendencję sadzy do aglomeracji zaleca się, aby do silników silnie obciążonych stosować oleje wyższych klas jakościowych, które zawierają odpowiednią ilość dodatków dyspergujących. Zadaniem dodatków dyspergujących jest zminimalizowanie problemu osadów nierozpuszczalnych. Cząsteczki dyspergatora działają w ten sposób, że osadzają się na powierzchni cząstek osadów utrzymując je w ten sposób w rozproszeniu i zapobiegając ich aglomeracji. Poprzez zminimalizowanie procesu gromadzenia się cząstek sadzy dyspergator może mieć ogromny wpływ na poziom wzrostu lepkości i zahamowanie procesu żelowania oleju silnikowego. (Mc Geehan et al., 1984). Skłonność sadzy do aglomeracji w znacznym stopniu zależy od efektywności działania dyspergatora w oleju silnikowym. Efektywnie działające dyspergatory zapobiegają aglomeracji sadzy i nie dopuszczają do wzrostu lepkości, a tym samym do żelowania oleju.

Wzrost lepkości i żelowanie oleju na skutek obecności sadzy

Jak już wcześniej wspomniano, wzrost lepkości zależy m.in. od ilości sadzy w oleju, których aglomeraty mogą być jedną z przyczyn zjawiska żelowania. Spostrzeżenia te oparto na wynikach badań przeprowadzonych olejów silnikowych (Mc Geehan et al., 1984). Na podstawie tych badań autorzy doszli do wniosku, że wzrost lepkości zależy od obecności sadzy w oleju smarowym bowiem:

- lepkość oleju przepracowanego może być zmniejszona poprzez usunięcie nierozpuszczalnych osadów zawierających sadzę;
- po usunięciu osadów nierozpuszczalnych liczba utleniania oleju była bardzo niska, co dowodzi, że wzrost lepkości nie był spowodowany utlenianiem oleju;
- zawartość sadzy w osadach nierozpuszczalnych wynosiła ponad 75%;
- lepkość oleju wzrastała wraz ze wzrostem ilości osadów nierozpuszczalnych.

Stosunkowo niewielki wzrost ilości osadów nierozpuszczalnych wywołuje tak duży wzrost lepkości, że cząstki sadzy łączą się ze sobą tworząc formę żelu. Zjawisko to ma większy wpływ na wzrost lepkości, niż poziom osadów nierozpuszczalnych.

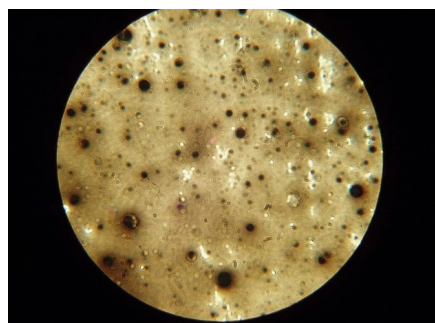
Żel powstały z sadzy jest niestabilną strukturą (Gaynor et al., 1998). Świadczy o tym:

- że forma żelowa łatwo ulegała ścinaniu podczas przechodzenia przez łożysko i filtr,
- dodatek oleju w ilości około 10% w stosunku do oleju w misce olejowej może częściowo zapobiec wzrostowi lepkości, bowiem następuje rozcieńczenie oleju. Odległości między cząsteczkami sadzy są większe i nie tworzą tak dużej ilości aglomeratów.

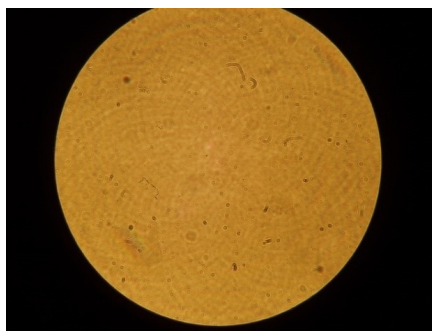
Sadza wytworzona w silnikach wysokoprężnych pracujących przy wysokich momentach obrotowych, wytwarza podobną, strukturę żelową jak w mniejszych silnikach z bezpośrednim wtryskiem. Taki żel może być przyczyną powstawania nadmiernej ilości szlamów i blokować przepływ oleju podczas rozruchu silnika.

Poniżej przedstawiono zdjęcia zżelowanego oleju silnikowego zawierającego sadzę. Zdjęcia zostały wykonane pod mikroskopem elektronowym.

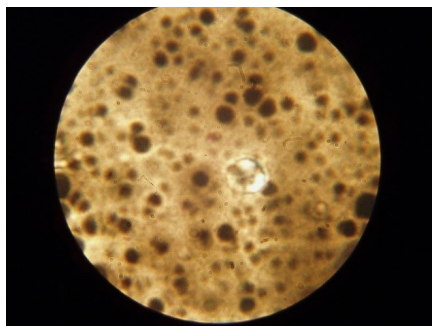
Czarne, kuliste plamy widoczne na zdjęciu 1 i 3 świadczą, że sadza w oleju skumulowała się w postaci aglomeratów. Natomiast na zdjęciu 2 i 4 przedstawiono olej świeży niezawierający sadzy.



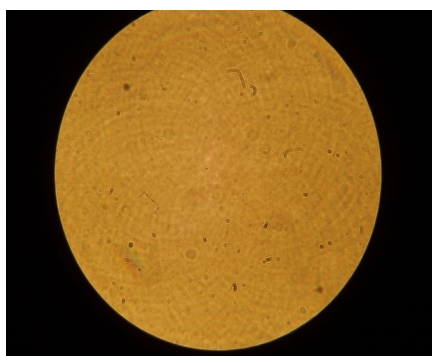
Zdjęcie 1. Aglomeraty sadzy w oleju silnikowym SAE 15W/40 API



Zdjęcie 2. Olej świeży SAE 15W/40 API CG-4 niezawierający sadzy



Zdjęcie 3. Aglomeraty sadzy w oleju silnikowym SAE 10W/40 API CF



Zdjęcie 4. Olej świeży SAE 10W/40 API CF niezawierający sadzy

Cechą charakterystyczną żelu powstałego na skutek aglomeracji sadzy w oleju silnikowym jest znaczny wzrost lepkości oleju w temperaturze 40oC i 100oC.

W tabeli 1 i 2 przedstawiono wyniki badań lepkości kinematycznej olejów silnikowych:

- SAE 15W/40 API CG-4,
- SAE 10W/40 API CF.

Tabela 1: Właściwości fizykochemiczne oleju silnikowego zżelowanego

SAE 15W/40 API CG-4

Badane parametry	Jedn. miary	Uzyskany wynik	Olej świeży
Wygląd zewnętrzny	-	Ciemny, gęsty w postaci galarety. Pod palcami wyczuwalne drobiny obcej substancji np. sadzy	Jasny, klarowny, bez widocznych osadów i zanieczyszczeń
Lepkość kinematyczna			

- w temp. 40°C	mm ² /s 2374,5	106,2	
- w temp. 100°C		1888,3	14,07

Tabela 2: Właściwości fizykochemiczne oleju silnikowego zżelowanego

SAE 10W/40 API CF

Badane parametry	Jedn. miary	Uzyskany wynik	Olej świeży
Wygląd zewnętrzny	-	Ciemny, gęsty w postaci galarety. Pod palcami wyczuwalne drobiny obcej substancji np. sadzy	Jasny, klarowny, bez widocznych osadów i zanieczyszczeń
Lepkość kinematyczna			
- w temp. 40°C	mm ² /s	264,4	90,26
- w temp. 100°C		167,8	13,14

Na zdjęciach 5 i 6 przedstawiono zżelowany olej silnikowy zawierający duże ilości sadzy.



Zdjęcie 5. Zżelowany olej SAE 15W/40 API CG-4 zawierający sadzę



Zdjęcie 6. Zżelowany olej SAE 10W/40 API CF zawierający sadzę

Sadza ma bardzo duży wpływ na proces żelowania olejów silnikowych ze względu na tendencję do aglomeracji. Podczas eksploatacji pojazdu, w jego silniku tworzy się duża ilość osadów nierozpuszczalnych, a zgromadzone cząstki sadzy mogą być główną przyczyną wzrostu lepkości.

Nadmierna ilość osadów nierozpuszczalnych powoduje zatykanie filtra olejowego powodując zwiększone zużycie elementów silnika z powodu nadmiernego tarcia. Zminimalizowanie procesu gromadzenia się cząstek sadzy może być ograniczone poprzez odpowiedni dobór typu jak i stężenia dyspergatora w oleju silnikowym.

Większość problemów związanych z gęstnieniem oleju silnikowego można uniknąć poprzez monitorowanie stopnia zanieczyszczenia w trakcie eksploatacji oleju silnikowego (zwłaszcza osadami, cząstkami stałymi i sadzą). Rutynowa analiza oleju może pomóc wykryć problemy związane z żelowaniem oleju zanim nastąpi poważne uszkodzenie silnika.

mgr Monika Ziółkowska

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Artykuł ukazał się w nr 2/2022 Paliw Płynnych

LITERATURA

Gaynor M., Kavanagh, Simon B., Ross-Murphy "Rheological Characterisation of Polymer Gels" Biopolymer Group, Division of Life Sciences, King's College London. Prog. Polym. Sci., Vol.23, str. 533-562, 1998.

Jakóbiec J., Dwugłós w sprawie doboru oleju silnikowego. Taksówkarz Polski 2003, Nr 5, str. 11-12.

Jakóbiec J., Dobór oleju silnikowego układu wewnętrznego chłodzenia tłoka silnika spalinowego, Technika Transportu Szynowego 1997, Nr 7/8, str. 18-22.

Jakóbiec J., Budzik G., Czynniki mające wpływ na stopień degradacji oleju silnikowego w okresie eksploatacji, Archiwum Motoryzacji 3. str.209-216(2007).

Mc Geehan J.A, Rynbrandt J.D., and Hansel T.J. "Effect of Oil Formulations in Minimizing Viscosity Increase and Sludge Due to Diesel Engine Soot" 1984 SAE Technical Paper Series 841370, monografia str.20.

Merkisz J., Ekologiczne problemy silników spalinowych, Podręcznik akademicki T.1 i T.2, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.

Mruk A., Wpływ obecności sadzy w oleju silnikowym na jego własności tribologiczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Czasopismo Techniczne 7-M/2008, ISSN 0011-4562, ISSN 1897-6328, str. 275-285.

Źródło:

<http://paliwa.pl/strona-startowa/archiwum/procesy-zelowania-olejow-silnikowych-w-eksploatacji-i-ich-przyczyny-czesc-i-sadza>