

Stabilność termooksydacyjna smarów plastycznych

Thermal oxidation stability of lubricating greases

Agnieszka Skibińska

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Niniejszy artykuł przeglądowy dotyczy szczególnej właściwości smarów plastycznych – odporności na utlenianie. Właściwość ta, określana również jako stabilność oksydacyjna lub termooksydacyjna, ma decydujący wpływ na jakość i długość czasu pracy smarów w węzłach tarcia, łożyskach i układach smarowania. Smary plastyczne stanowią układy koloidalne, w których zagęszczacz tworzy elastyczną przestrzenną sieć, utrzymując fazę ciekłą. Przedstawiono budowę smarów plastycznych, podział smarów na rodzaje w zależności od wykorzystywanego zagęszczacza. Opisano podstawowe dodatki występujące w smarach, a szczegółowo omówiono grupę stosowanych dodatków antyutleniających. W warunkach eksploatacji smar podlega działaniu szeregu czynników, które powodują jego niszczenie, takim jak: naprężenia ścinające, ciśnienie, obciążenia, zmienne warunki pracy, szczególnie zmiany temperatury. Przedstawiono rodzaje degradacji smarów, a także metody i techniki oceny procesów starzenia. Podczas eksploatacji smar, spełniając w układzie smarowania swoje podstawowe funkcje, narażony jest przede wszystkim na działanie wysokiej temperatury. Dominującym procesem starzenia, bezpośrednio wpływającym na okres użytkowania smaru, jest utlenianie. Omówiono proces utleniania z wyszczególnieniem czterech jego etapów: inicjacji, propagacji, rozgałęzienia łańcucha oraz terminacji. Jedną z metod zapobiegania procesowi utleniania jest dobór odpowiednich dodatków uszlachetniających. Stabilność termooksydacyjna smarów plastycznych może być modyfikowana poprzez wprowadzenie odpowiednich przeciwutleniaczy, których dobór zależy od rodzaju zagęszczacza smaru plastycznego oraz temperatury pracy smaru. Zamieszczony przegląd literatury z ponad dziesięciu ostatnich lat wskazuje, jak różnorodne są sposoby modyfikacji stabilności termooksydacyjnej smarów i metody oceny tej właściwości.

Słowa kluczowe: smar plastyczny, antyutleniacz, proces utleniania, degradacja, odporność na utlenianie, stabilność termooksydacyjna.

ABSTRACT: This review article deals with a particular property of lubricating greases – resistance to oxidation. This property, also referred to as oxidative or thermal oxidation stability, has a decisive influence on the quality and duration of lubricating greases service life in friction nodes, bearings and lubrication systems. Lubricating greases are colloidal systems in which the thickener creates an elastic three-dimensional network, maintaining the liquid phase. The structure of lubricating greases, division of greases into types, depending on the thickener used, is presented. The basic additives in lubricating greases are described, and the group of used antioxidant additives is discussed in detail. Under operating conditions, the grease is subject to factors that cause its destruction – shear stress, pressure, loads, changing operating conditions, especially temperature changes. The types of lubricating greases degradation are presented, as well as methods and techniques of aging processes evaluation. During operation, the grease fulfilling its basic functions in the lubrication system is primarily exposed to high temperatures. The predominant aging process which directly affects the service life of the grease is oxidation. The oxidation process is discussed, with the specification of its four stages: initiation, propagation, chain branching and termination. One of the methods of preventing the oxidation process is the selection of appropriate improvers. Thermal oxidation stability of greases can be modified by introducing appropriate antioxidants, the selection of which depends on the type of grease thickener and the operating temperature of the grease. The published literature review from over the last ten years shows how diverse are the ways of modifying thermal oxidation stability of greases and the methods of assessing this property.

Key words: lubricating grease, antioxidant, oxidation process, degradation, resistance to oxidation, thermal oxidation stability.

Proces utleniania

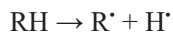
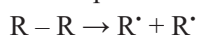
Proces utleniania można przedstawić za pomocą 4-etapowego schematu reakcji rodnikowo-łańcuchowych (Cobb et al.,

2006). Mechanizm ten zwany jest procesem samoutleniania, gdyż główne przemiany struktur związków olejowych są wynikiem przebiegających reakcji, które katalizowane są produktami kolejnych przemian.

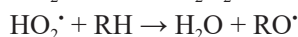
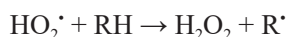
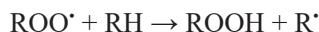
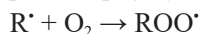
Autor do korespondencji: A. Skibińska, e-mail: agnieszka.skibinska@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 11.01.2021 r. Zatwierdzono do druku: 14.06.2021 r.

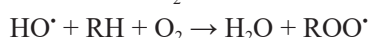
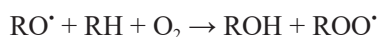
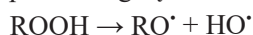
- Etap I: Inicjacja – zapoczątkowanie łańcucha reakcji, w którym pod wpływem takich czynników jak temperatura, światło, tlen i katalityczne oddziaływanie metali powstają wolne rodniki przez rozerwanie wiązań C–C i C–H



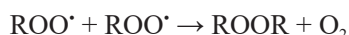
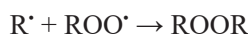
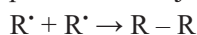
- Etap II: Propagacja (rozszerzanie) łańcucha reakcji



- Etap III: Rozgałęzienie łańcucha reakcji



- Etap IV: Terminacja – zakończenie reakcji łańcuchowych

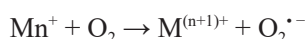
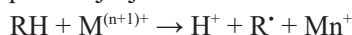


Inicjacja reakcji utleniania jest wynikiem dostarczenia energii do cząsteczki węglowodoru, m.in. w formie ciepła, naprężeń ścinających i światła UV. Proces może być katalizowany przez jony metali. W temperaturze pokojowej szybkość reakcji jest bardzo mała, ale zdecydowanie wzrasta powyżej temperatury 100°C. Łatwość tworzenia się rodników zależy od siły wiązań C–H, C–C i stabilności powstających rodników. W fazie propagacji rodniki alkilowe reagują nieodwracalnie z rozpuszczonym w oleju tlenem i tworzą nadtlennokowe rodniki alkilowe. Kolejną reakcją tworzenia wodoronadtlenków i innych rodników alkilowych jest usunięcie atomu wodoru z cząsteczki węglowodoru. Następstwem tego jest rozgałęzienie łańcucha. Wodoronadtlenki rozszczepiają się na rodniki alkoksylowe i hydroksylowe. Energia aktywacji tych reakcji jest wysoka i dlatego reakcje te zachodzą w temperaturze powyżej 150°C. Rodniki reagują z węglowodorami, tworząc wodę, alkohole i coraz więcej rodników alkoksylowych. Drugo- i trzeciorzędowe rodniki alkoksylowe tworzą aldehydy i ketony, które łączą się w reakcji kondensacji aldolowej katalizowanej kwasami. Produkty kondensacji mogą polimerizować, co prowadzi do dalszej degradacji i tworzenia szlamów i laków. Połączenie rodników powoduje zakończenie tych reakcji (Oleksiak i Żółty, 2012).

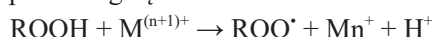
Dwa rodniki alkilowe mogą utworzyć cząsteczkę węglowodoru; rodnik alkilowy może wiązać się z nadtlennokowym rodnikiem alkilowym, dając nadtlennok, natomiast dwa nadtlennokowe rodniki alkilowe, wiążąc się ze sobą, dają nadtlennok i tlen.

W przypadku obecności metali, takich jak żelazo i miedź, inicjacja reakcji może nastąpić w znacznie niższej temperaturze. Jony metali mogą również katalizować reakcję rozgałęziania. Obie reakcje pokazano poniżej (Beran, 2008):

- Etap I: Inicjacja



- Etap II: Rozgałęzianie



Istnieje szereg czynników, które przyspieszają procesy utleniania. Należą do nich woda, metale (takie jak żelazo i miedź), substancje zanieczyszczające i zwiększona aeracja. Prawdopodobnie najbardziej krytycznym czynnikiem jest jednak temperatura. Jak wiele reakcji chemicznych również szybkość utleniania wzrasta wraz ze wzrostem temperatury. Zgodnie z regułą van 't Hoffa, wzrost temperatury o 10 K powoduje 2- do 4-krotny wzrost szybkości reakcji. Reguła ta jest spełniona w przypadku reakcji homogenicznych, w temperaturze do 500°C (Fitch i Gebarin, 2006).

W ocenie termooksydacyjnej degradacji środków smarowych stosowane są metody, które umożliwiają analizę zmian budowy chemicznej związków olejowych przed i po utlenianiu. Znalazły tu zastosowanie metody analizy spektralnej w zakresie podczerwieni (IR) i ultrafioletu (UV), chromatografii żelowej, chromatografii gazowej połączonej ze spektroskopią masową (GC/MS) oraz metody magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR 13C). Dzięki ich wykorzystaniu można zidentyfikować różnorodne produkty utleniania węglowodorów, między innymi:

- alkilowodoronadtlenki ROOH;
- dialkilonadtlenki ROOR;
- alkohole ROH;
- aldehydy RCHO;
- ketony R(R₁)C = O;
- diketony RCO(CH₂)_xCOR₁;
- ketoaldehydy RCO(CH₂)_xCHO;
- hydroksyketony RCH(OH)–(CH₂)_xCOR₁.

Inhibitory utleniania (antyutleniacze)

Zbyt mała stabilność termooksydacyjna środków smarowych wymaga wprowadzania dodatków hamujących procesy utleniania. Efektywność działania inhibitorów utleniania zależy zarówno od chemicznego charakteru bazy olejowej i warunków eksploatacji smaru, jak też od rodzaju inhibitorów i mechanizmów ich działania. Antyutleniacze to rozpuszczalne w oleju organiczne i metaloorganiczne związki różnych typów (Rudnick, 2008):

- związki siarkowe;
- związki siarki i azotu;
- związki fosforowe;
- związki siarki i fosforu;

- związki amin aromatycznych;
- związki fenolowe z zawadą przestrzenną;
- organiczne związki miedzi;
- związki boru;
- inne związki metaloorganiczne.

Inhibitory utleniania ze względu na mechanizm ich działania można podzielić na dwa typy:

- antyutleniacze pierwszorzędowe, do których należą związki fenolowe i aminowe; blokują one reakcję łańcuchową poprzez dostarczenie atomu wodoru pochodzącego z grupy hydroksylowej do rodnika nadtlenkowego, który pojawia się podczas wzrostu łańcucha reakcji utleniania, aby zamienić wolny rodnik w nieszkodliwy rodnik, który jest następnie stabilizowany rezonansem, a reagując z grupą nadtlenkową tworzy związek chemiczny i w ten sposób reakcja zostaje zahamowana;
- antyutleniacze drugorzędowe, do których należą fosforyny, fosforany, etery, tioetery i tioestry; mechanizm ich działania polega na rozkładzie nadtlenków (Taguchi i Mikami, 2010).

Smary plastyczne

Smary plastyczne stanowią układy koloidalne, w których zagęszczacz tworzy elastyczną przestrzenną sieć, utrzymując fazę ciekłą (fazę olejową). Właściwa struktura smaru jest utrzymywana dzięki istnieniu sił przyciągania powierzchniowego, sił kapilarnych oraz zjawiska adsorpcji powierzchniowej między zagęszczaczem i fazą ciekłą (TOTAL poradnik, 2003). Olej (lub mieszanina olejów) jest podstawowym składnikiem smaru plastycznego. W większości smarów stanowi on 70–90% (*m/m*). Wybór bazy olejowej decyduje między innymi o:

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

Jako faza ciekła smarów plastycznych najczęściej są stosowane następujące oleje bazowe:

- 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 polifenylowe;
- chlorofluorowęglowodory (TOTAL poradnik, 2003).

Zagęszczacz, który stanowi około 7–25% (*m/m*), w istotny sposób wpływa na parametry eksploatacyjne smaru plastycznego. Smary najczęściej klasyfikowane są ze względu na rodzaj zagęszczacza, który w znaczący sposób determinuje ich właściwości eksploatacyjne (Czarny, 2004). W zależności od rodzaju zagęszczacza smary dzielone są w następujący sposób:

- mydlane:
 - z mydlami prostymi (wapniowe, sodowe, litowe, glinowe),
 - z mydlami kompleksowymi (wapniowe, litowe, glinowe, barowe),
 - zawierające zagęszczacze mieszane, np. litowo-wapniowe, glinowo-wapniowe, sodowo-bentonitowe (Podniało, 2002);
- węglowodorowe, zawierające głównie mikrokrystaliczne woski naftowe lub asfalt (Czarny, 2004);
- z zagęszczaczami nieorganicznymi (żel krzemionkowy, zmodyfikowany bentonit oraz tlenek glinu, tlenek cynku, azotek boru, dwusiarczek molibdenu);
- z zagęszczaczami organicznymi:
 - mocznikowe:
 - ✓ na bazie dimocznika: z mocznikiem aromatycznym, alifatycznym lub alicyklicznym (Classification and Characteristics of Grease),
 - ✓ na bazie trimocznika,
 - ✓ polimocznikowe, na bazie tetramocznika (Smary specjalne),
 - politetrafluoroetylenowe (zagęszczane PTFE),
 - oraz polietylen, poliamid i grafit;
- z zagęszczaczami polimerowymi (Rembiesa-Śmiszek i Skibińska, 2012).

W celu nadania odpowiednich cech użytkowych do smaru wprowadza się różnego rodzaju substancje modyfikujące jego strukturę i właściwości. W skład smarów plastycznych mogą wchodzić także różnego rodzaju dodatki uszlachetniające:

- modyfikatory struktury;
 - stabilizatory;
 - inhibitory korozji;
 - inhibitory utleniania;
 - dodatki smarnościowe AW (ang. *anti-wear*) i EP (ang. *extreme pressure*);
 - dodatki adhezyjne (zwiększające przyczepność smaru do metali);
 - barwniki i środki zapachowe (TOTAL poradnik, 2003).
- Wśród wszystkich rodzajów smarów za charakteryzujące się dobrą odpornością na utlenianie uważa się:
- smary sodowe – ze względu na zasadowy charakter zagęszczacza;
 - smary polimocznikowe – dzięki bardzo dobrej odporności zagęszczacza na utlenianie;

- smary krzemionkowe – ze względu na charakter zagęszczacza – niezwykle odporną siatkę ditlenku krzemu – termicznie (temperatura topnienia około 1700°C), chemicznie (najwyższy stopień utlenienia Si w SiO₂) i mechanicznie (Czarny, 2004),
- smary na bazie olejów syntetycznych – które charakteryzują się dużą stabilnością termiczną i przeciwutleniającą: diestrów, poliestrów, polialfaolefin, silikonów, polialkilenoglikoli, perfluoroalkilooleatów, olejów polifenyloeterowych (Beran, 2008).

Degradacja smarów, metody oceny

W warunkach eksploatacji smar podlega działaniu szeregu czynników, które powodują jego niszczenie – naprężeniom ścinającym, ciśnieniu, obciążeniom, zmiennym warunkom pracy, szczególnie zmianom temperatury. Degradację smaru można podzielić na:

- degradację fizyczną, która obejmuje wszystkie fizyczne zmiany smaru podczas użytkowania. Jest ona procesem nieodwracalnym związanym z trwałymi zmianami struktury smaru. Zaliczyć do niej można procesy mechaniczne powodujące łamanie struktury zagęszczacza, zwiększenie separacji oleju bazowego, odparowywanie oleju bazowego, a także zanieczyszczenie smaru. Degradacja mechaniczna jest najbardziej dominującym procesem degradacji w niskich i średnich temperaturach roboczych (pomiędzy 40°C a 70°C);
- degradację chemiczną, która obejmuje wszystkie reakcje chemiczne zachodzące wewnątrz smaru: utlenianie oleju bazowego, utlenianie zagęszczacza, wyczerpywanie dodatków.

Degradacja fizyczna jest bardziej wrażliwa na działanie sił (naprężenie ścinające) i prędkości (szybkość ścinania), natomiast degradacja chemiczna jest bardziej wrażliwa na temperaturę roboczą (Rezasoltani i Khonsari, 2016).

Do monitorowania i oceny degradacji fizycznej smaru można wykorzystać następujące metody:

- obraz zagęszczacza (wydzielonego ze smaru metodą dializy rozpuszczalnikiem) uzyskany elektronowym mikroskopem skaningowym (SEM) – porównanie struktury smaru przed i po degradacji;
- penetracji stożkiem – pomiar przed i po degradacji określili zmianę konsystencji smaru;
- penetracji reometrem (Rezasoltani i Khonsari, 2014) – jako parametr monitorowania degradacji mechanicznej;
- pomiar właściwości reologicznych – zmiana naprężeń ścinających w funkcji czasu przy stałej szybkości ścinania ujawnia, jak zmiekcza się smar.

Do monitorowania i oceny degradacji chemicznej smaru można wykorzystać następujące metody:

- skaningową kalorymetrę różnicową DSC i DCS/TG (z analizą termogravimetryczną);
- spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR);
- pomiary liczby kwasowej / całkowitej liczby kwasowej (TAN);
- RULER – voltametryczną metodę pozwalającą, poprzez pomiar poziomu zawartości antyutleniaczy (w oleju wydzielonym ze smaru poprzez ekstrakcję rozpuszczalnikiem), ocenić możliwość dalszego stosowania środka smarowego;
- promieniowanie rentgenowskie.

Dominującym procesem starzenia, bezpośrednio wpływającym na okres użytkowania środka smarowego, jest utlenianie. Salomonsson et al. (2007) opisali w swoim artykule zmiany zaobserwowane w smarze litowym po procesie utleniania w powietrzu (w otwartych pojemnikach, 7 dni w temperaturze 120°C): zwiększoną agregację włókien zagęszczacza, których znaczna część uległa pęknięciu i skróceniu długości, średnio od 1 mm do 0,1–0,5 mm, przy jednoczesnym wzroście średniej średnicy od około 30 nm do około 50 nm. Autorzy ci stwierdzili, że zmiany te mogą wiązać się z adsorpcją produktów utlenienia oleju na powierzchni włókien lub zmianą struktury włókien spowodowaną utlenianiem i hydrolizą mydła.

Do badania stabilności termooksydacyjnej smarów wykorzystuje się metodę klasycznego utleniania w naczyniu ciśnieniowym (tzw. bombie) w określonych warunkach temperatury przez zadany czas (najczęściej w temperaturze 99°C lub 100°C przez 100 godzin), jako wynik badania podaje się wartość spadku ciśnienia tlenu. Znormalizowane metody testowe oceny odporności na utlenianie smarów przedstawiono w wielu normach krajowych (BS 2000-142, IP 142, ASTM D 942, DIN 51808, PN-C-04143, FTM 791.3453). W najbliższym czasie pojawi się nowa polska norma PN-C-96030, będąca tłumaczeniem DIN 51808.

Po raz pierwszy w 2018 r. pojawiła się dla smarów nowa metoda znormalizowana, tzw. szybki test utleniania w małej skali (ASTM D 8206), w którym jako wynik podaje się czas do osiągnięcia okresu indukcyjnego (spadku ciśnienia tlenu o 10%).

Modyfikacja stabilności termooksydacyjnej smarów

Podczas eksploatacji środek smarowy, spełniając w układzie smarowania swoje podstawowe funkcje, narażony jest przede wszystkim na działanie wysokiej temperatury. Jedną z metod zapobiegania procesowi utleniania zarówno olejów bazowych, jak i środków smarowych jest dobór odpowiednich dodatków uszlachetniających. Stabilność termooksydacyjna smarów plastycznych może być modyfikowana poprzez

wprowadzenie odpowiednich przeciwutleniaczy, których dobór zależy od rodzaju zagęszczacza smaru plastycznego oraz temperatury pracy smaru. W INiG – PIB od kilku lat prowadzone są prace dotyczące wpływu antyutleniaczy na stabilność termooksydacyjną smarów plastycznych litowych i polimocznikowych, wytworzonych na olejach bazowych o różnym charakterze chemicznym: parafinowym (Trzaska et al., 2016) oraz naftenowym (Trzaska et al., 2017), a także smarów kompleksowych litowych (Skibińska i Żółty, 2018). Prowadzono również badania porównawcze metod oznaczania stabilności termooksydacyjnej smarów plastycznych (Krasodomski et al., 2018), metodą klasycznego utleniania (PN-C-04143) oraz metodą przyspieszoną (ASTM D 8206).

Zadaniem inhibitorów utleniania (antyutleniaczy, przeciwutleniaczy) jest spowolnienie procesu utleniania oleju bazowego poprzez rozkład wodoronadtlenków, utworzonych w reakcji tlenu z węglowodorami, albo wolnych rodników nadtlennokowych. Smar plastyczny w czasie pracy jest w kontakcie z tlenem z powietrza, a wysoka temperatura i katalityczne właściwości metalu powierzchni tarcia stwarzają bardzo dobre warunki do utleniania oleju bazowego. Zachodzą w nim złożone reakcje autokatalitycznego utleniania, w wyniku których powstają nowe substancje, takie jak: nadtlennki, alkohole, aldehydy, ketony, woda oraz kwasy. Produkty utleniania zwiększają lepkość oleju, powstają kwaśne zanieczyszczenia o właściwościach korozyjnych oraz osady typu żywice i laki (Khamidullina et al., 2016).

Antyutleniacze stosowane są w prawie wszystkich smarach plastycznych, ponieważ w większości przypadków okres trwałości smaru jest ograniczony przez utlenianie się oleju bazowego. Najbardziej skutecznymi antyutleniaczami, działającymi jako akceptory wolnych rodników i stosowanymi w wielu dziedzinach, są mono-, di- i policykliczne pochodne fenolu, które zwykle podstawione są podstawnikami alkilowymi w pozycjach 2 i 6 (Nugumanova et al., 2010). Przykładowo 3-(3,5-di-tert-butylo-4-hydroksyfenylo)propionian metylu jest jednym z najważniejszych estrów kwasu hydroksyfenylokarboksylowego, który jest nie tylko skutecznym inhibitorem utleniania, ale także kluczowym materiałem (Li et al., 2014).

W środkach smarowych powszechnie stosowanymi antyutleniaczami są: w olejach smarowych – dialkilo(arylo)ditiofosforany cynku, natomiast w smarach plastycznych – dialkilditiokarbaminiany cynku (Celichowski et al., 2005). Chao et al. (2015) przedstawili wyniki prac nad zastosowaniem w kompleksowych smarach litowych estru 2-(3,5-dwutert-butylo-4-hydroksyfenylo)-propionowego (BHMT) jako dodatku wielofunkcyjnego AO/EP/AW. Na podstawie wyników analizy termicznej stwierdzono, że BHMT jest nie tylko lepszym inhibitorem utleniania niż ZnDTP (dialkilditiofosforan cynku), ale

również charakteryzuje się lepszymi właściwościami przeciwzużyciowymi i zmniejszającymi tarcie.

Związki chemiczne zawierające azot i ich pochodne, takie jak pochodne benzotriazolu, pochodne 1,3,4-tiadiazolu, pochodne tiazolu, oksazolina, tiazolina i imidazolina są znane jako bezpopiołowe wielofunkcyjne dodatki smarne. Fikry et al. (2013) przedstawili wyniki badań nad zastosowaniem azoli i pochodnych hydrazyny jako inhibitorów utleniania smarów, wykorzystując związki: α -(2-amino-3-cyano-6-pirydylo)-o-hydroksylohydrazyd cynamonowy, pochodną etoksymetylocelaminy oraz 3-amino-5-hydroksylo-4-fenyloazo-1H-pirazol. Skuteczność tych związków jako antyutleniaczy w stężeniu 0,1% (*m/m*), w smarach litowych, oceniano na podstawie spadku ciśnienia tlenu podczas procesu utleniania smarów w czynniku ciśnieniowym (ASTM D 942) oraz oznaczając całkowitą liczbę kwasową utlenionych próbek. Omówiono korelację między strukturą chemiczną tych związków a ich skutecznością jako inhibitorów utleniania.

W innej pracy (Khamidullina et al., 2016) przedstawiono nowy typ dodatku przeciwutleniającego „Calix [n] arenes ($n = 4,6,8$)”, składający się z czterech, sześciu lub ośmiu fragmentów fenolowych połączonych ze sobą mostkiem alkilowym w pozycjach 2 i 6 w ich strukturze. Przeprowadzono badania odporności na utlenianie (GOST 5734) handlowego smaru litowego Litol-24, wzbogaconego badanymi antyutleniaczami w ilości 3%, oceniając stabilność oksydacyjną próbek poprzez zawartość produktów kwaśnych (GOST 6707). Stwierdzono, że odporność na utlenianie badanych smarów nie zależy od obecności podstawnika alkilowego, a dodatki o podstawnikach w pozycjach 4 i 8 są skuteczniejszymi inhibitorami utleniania niż dodatki o podstawnikach w pozycji 6.

Prace dotyczące modyfikacji stabilności termooksydacyjnej smarów litowych prowadzone w INiG – PIB (Trzaska et al., 2016, 2017) pozwoliły na stwierdzenie, że w przypadku smarów litowych (wytworzonych na olejach bazowych zarówno o charakterze parafinowym, jak i naftenowym) najskuteczniejsze inhibitory utleniania (z przebadanych) to dodatki fenolowe, natomiast najsłabszy jest inhibitor typu karbaminian. Dodatek typu ZnDTP (ditiofosforan cynku) bardzo słabo poprawia odporność na utlenianie smarów litowych, wytworzonych na bazie oleju o charakterze naftenowym. Natomiast w przypadku smarów kompleksowych litowych sytuacja wygląda nieco inaczej. Na podstawie wyników odporności na utlenianie (PN-C-04143) stwierdzono, że dla smarów wytworzonych na oleju bazowym o charakterze parafinowym najskuteczniejszym inhibitorem utleniania (spośród przebadanych) okazał się inhibitor fenolowy, natomiast dla smarów wytworzonych na oleju polialfaolefinowym – zarówno inhibitor fenolowy, jak i aminowy. Żaden z przebadanych inhibitorów utleniania nie poprawił stabilności termooksydacyjnej kompleksowego

smaru litowego na bazie oleju o charakterze naftenowym. Na podstawie wyników odporności na utlenianie według zmodyfikowanej metody Petrooxy (PN-EN 16091) stwierdzono, że dla smarów kompleksowych litowych wytworzonych na olejach bazowych o charakterze parafinowym oraz polialfaolefinowym najskuteczniejszy w początkowej fazie utleniania (do osiągnięcia okresu indukcyjnego) okazał się inhibitor typu ZnDTP, natomiast dla smarów wytworzonych na oleju naftenowym – inhibitor fenolowy (Skibińska i Żółty, 2018).

Badano mechanizm starzenia termicznego (w temperaturze 120°C w czasie 1200 h) dwóch rodzajów smarów: litowego i polimocznikowego, wytworzonych na bazie oleju polialfaolefinowego PAO8 (Huang et al., 2016). Podczas testu okresowo pobierano próbki smarów do badań i oznaczano lepkość smaru, lepkość oleju wydzielonego metodą dializy, widmo IR, wygląd zagęszczacza (SEM), współczynnik tarcia, trwałość filmu smarowego. Po 300 godzinach testu, dla smaru litowego, zaobserwowano degradację oleju bazowego, pojawiła się duża ilość produktów utlenienia (ketonów, laktonów i aldehydów), odparowały lżejsze frakcje oleju, co przełożyło się na pogorszenie właściwości smarnych. Po 720 godzinach testu zaobserwowano: degradację zagęszczacza litowego, skrócenie włókien i mniej spletaną ich strukturę, pojawienie się produktów rozkładu zagęszczacza (kwas octowy i inne ketony), wydzielanie oleju ze smaru, zmniejszenie lepkości pozornej smaru. Smar polimocznikowy wykazywał silne działanie antyutleniające podczas testu. Zaobserwowano aglomerację zagęszczacza, co spowodowało niewielkie zmniejszenie pozornej lepkości starzejącego się smaru. Po 1200 godzinach testu tylko niewielka część oleju bazowego uległa rozkładowi, rozpoczął się proces formowania laktonów i aldehydów. Właściwości smarne smaru polimocznikowego poprawiały się podczas jego starzenia – najprawdopodobniej ze względu na zwiększenie wydzielania oleju ze smaru. Zjawisko to przedstawiono również w innych badaniach (Huang et al., 2014a, 2014b).

W kolejnych publikacjach (Gonçalves et al., 2015a, 2015b, 2016) opisano zmiany zachodzące podczas starzenia smarów polimerowych i litowych, odwzorowując warunki pracy smarów w łożyskach toczyń. Próbki smarów w postaci cienkiej warstwy o grubości 1 mm nałożono na tarcze stalowe i umieszczono na 5 dni w piecu o temperaturze 120°C. Proces monitorowano poprzez pomiar szybkości wydzielania oleju ze smarów, jego ilość i zmianę lepkości (w stosunku do oleju świeżego), zmianę właściwości reologicznych smarów, a także widm FTIR (ang. *Fourier-transform infrared spectroscopy*). Zaobserwowano różnice we właściwościach reologicznych różnych smarów: smar litowy uległ utwardzeniu, natomiast parametry reologiczne smarów polimerowych zmalały, odzwierciedlając jego zmiękczenie i utratę konsystencji. Zawartość zagęszczacza polimerowego nie miała wpływu na

lepkość wydzielonego oleju. Im wyższa była zawartość zagęszczacza, tym smar wydzielił mniej oleju.

Stwierdzono również, że poprzez dodatek elastomeru można kontrolować proces smarowania w warunkach dynamicznych, zwiększając czas życia smaru. Lepkość olejów wydzielonych ze smarów zawierających dodatek elastomeru różniła się od lepkości olejów bazowych wykorzystanych do produkcji tych smarów. Proces utleniania zachodzący podczas starzenia smarów powodował wydzielenie oleju o większej lepkości (niż olej bazowy) z powodu pojawienia się w nim produktów utleniania (ketonów, estrów i związków karbonylowych obserwowanych w analizie FTIR) – co poprawiło właściwości reologiczne, poprzez smarowanie warstwą oleju. W niektórych próbkach nastąpiło zmniejszenie lepkości wydzielonego oleju – silna degradacja cząsteczek elastomeru przeważała nad powstaniem produktów utleniających.

Drabik i Trzos (2012) analizowały próbki dwóch rodzajów smarów: litowych (stearynowych i 12-hydroksystearynowych, o różnym stężeniu zagęszczacza) na bazie oleju mineralnego oraz krzemionkowych na bazie oleju syntetycznego. Smary te zawierały dodatek polimeru PTFE w ilościach 5% i 10% (*m/m*). Oporność na utlenianie oceniano metodą TG/DSC (ang. *thermogravimetric/differential scanning calorimetry*) na podstawie temperatury, przy której zaczyna się utlenianie podczas ogrzewania próbki w obecności tlenu. Stwierdzono, że ilość zagęszczacza litowego praktycznie nie wpływa na odporność na utlenianie, jednak zwiększenie jego ilości poprawia stabilność struktury smaru. Procentowe stężenie analizowanych dodatków w smarach na bazie olejów syntetycznych istotnie wpływało na odporność na utlenianie tych smarów.

W innej pracy badawczej realizowanej w ITEE (Drabik i Trzos, 2013) analizowano stabilność termooksydacyjną smarów z zagęszczaczem nieorganicznym, wytworzonych na bazie olejów silikonowych (metylosilikonowego i fluorosilikonowego) modyfikowanych dodatkami: polimerowym, nanostrukturami węglowymi zawierającymi fullereny oraz grafitem. Zaobserwowano, że spośród przebadanych próbek smarów najlepszą odpornością na utlenianie oznaczoną metodą Petrooxy charakteryzował się smar na bazie oleju fluorosilikonowego zawierający 1% (*m/m*) grafitu. Natomiast najlepszą odpornością na utlenianie w metodzie DSC (skaningowej kalorymetrii różnicowej) z przebadanych próbek smarów cechował się smar na bazie oleju fluorosilikonowego zawierający 0,5% (*m/m*) nanostruktur węglowych.

W kolejnej pracy prowadzonej w ITEE (Drabik, 2014) analizowano smar opracowany na bazie atestowanego białego oleju mineralnego z zagęszczaczem mydlanym (stearyniam litu) modyfikowany dodatkiem polimerowym i nanostrukturami węglowymi. Stabilność oksydacyjną smarów plastycznych określono za pomocą testu przyspieszonego utleniania

metodą Petrooxy, wyznaczając na podstawie uzyskanych wykresów spadku ciśnienia w funkcji czasu utleniania czas indukcji utleniania, świadczący o odporności na proces utleniania badanych smarów. Stwierdzono, że dodatek polimeru (5% *m/m*) do smaru plastycznego nie wpływa na zmianę stabilności oksydacyjnej wyznaczonej w warunkach testu Petrooxy. Natomiast jednoczesne wprowadzenie dodatku polimerowego i nanostruktur węglowych do gotowego smaru plastycznego daje bardzo dobry efekt spowalniania procesu utleniania. Zaobserwowano, że niewielka ilość nanostruktur węglowych – 0,5% (*m/m*) – w połączeniu z dodatkiem polimeru PTFE 4,5% (*m/m*) korzystnie wpływa na wydłużenie czasu utleniania badanego smaru plastycznego, co skutkuje aż 3-krotnym wzrostem stabilności oksydacyjnej, wyznaczonej w warunkach izotermicznych w temperaturze 120°C w stosunku do smaru bez dodatków.

Skuteczność działania dwóch naturalnych inhibitorów utleniania: kurkuminy (kurkumy), organicznego związku polifenolowego otrzymanego poprzez ekstrakcję kłączy ostrzyżu długiego, oraz kwercetyny, organicznego wielopierścieniowego związku aromatycznego z grupy flawonoli otrzymanego z cebuli, przedstawiono w pracy Taguchiego i Mikamiego (2010). Wytworzone na bazie oleju estrowego próbki smarów litowych inhibitowane wyżej wymienionymi dodatkami w ilościach 2% (*m/m*) poddano badaniu trwałości smarów w łożyskach toczyń (ASTM D 3336) w temperaturze 150°C, pod obciążeniem 67 N, przy prędkości 10 000 min⁻¹. Stwierdzono, że zastosowanie wyżej wymienionych naturalnych antyutleniaczy wydłuża 10-krotnie czas życia smaru, a w porównaniu do smaru inhibitowanego popularnym antyutleniaczem aminowym – przeszło 3-krotnie.

Zsyntezowano i przebadano trzy nowe inhibitory utleniania, pochodne 4-hydroxychinoliny: 3-(5-(2,4-dichlorophenylo)-4,5-dihydro-1H-pyrazol-3-yl)-4-hydroxy-1-methyl-quinolin(1H)-one, 5-((4-hydroxy-8-methyl-2-oxo-1,2-dihydroquinolin-3-yl)methylene)-1-phenyl-2-hioxodihydro-pyrimidine-4,6(1H,5H)-dione oraz 1-butyl-4-hydroxy-3-(5-steryl-4,5-dihydro-1H-pyrazol-3yl)-quinolin-2(1H)-one (Hussein et al., 2016). Skuteczność działania tych antyutleniaczy (w stężeniu 0,3% (*m/m*)) w smarze litowym oceniono na podstawie wyników spadku ciśnienia tlenu w temperaturze 99°C po 96 godzinach (ASTM D 942) oraz całkowitej liczby kwasowej po 72 godzinach utleniania (ASTM D 664). Najskuteczniejszym inhibitorem utleniania okazał się trzeci z wytworzonych związków. Stwierdzono, że wprowadzenie grupy hydroksylowej do grupy butylowej w chinolinonach prowadzi do zwiększenia skuteczności hamowania reakcji łańcuchów utleniających.

Trudności w stosowaniu smarów plastycznych na bazie olejów roślinnych związane są z małą odpornością olejów roślinnych na proces utleniania. W początkowym etapie

utleniania powstające związki polarne mogą tworzyć na powierzchni metalicznej ochronną warstwę zapobiegającą stykaniu się powierzchni współpracujących, jednak w dalszym procesie powstające produkty utleniania obniżają właściwości dyspergująco-myjące, a nagromadzenie osadów prowadzi najczęściej do zatarcia współpracujących elementów. W artykule Drabik (2012) przedstawiono możliwości poprawy stabilności termooksydacyjnej smarów wytworzonych na oleju roślinnym, wprowadzając sylimarynę – dodatek uzyskany z bielma ostropestu, w ilości 1% (*m/m*). Odporność na utlenianie w temperaturze 120°C wyznaczono w testach przyspieszonego utleniania, wykorzystując aparat Petrooxy; zastosowany dodatek 2,5-krotnie wydłużył czas indukcji utlenienia w stosunku do smaru nieinhibitowanego. Metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej DSC, prowadząc pomiary w warunkach dynamicznych przy liniowym wzroście temperatury, oceniono odporność na utlenianie – wyznaczono temperaturę początku utleniania, o 11°C wyższą niż dla smaru nieinhibitowanego.

Selby et al. (2014) oraz Azad i Evans (2015) przedstawili korzyści z łączenia wyników dwóch metod badawczych: utleniania metodą ASTM D 942 oraz analizy FTIR przy ocenie stabilności termooksydacyjnej smarów. Analizując próbki smarów litowych i litowych kompleksowych, wskazali na trudności w porównywaniu ze sobą różnych smarów na podstawie wyników badań uzyskanych metodą ASTM D 942. Autorzy zaprezentowali również, w jaki sposób można uzyskać precyzyjniejsze informacje o odporności smarów na utlenianie – wykonując analizę FTIR próbek zmodyfikowanym testem ASTM D 942 z wykorzystaniem mniejszych ilości próbek.

Do modyfikacji smaru plastycznego wytworzonego na bazie roślinnej i zagęszczonego stearynianem litu zastosowano montmorylonit, przedstawiciela krzemianów warstwowych. Badanie utleniania kompozycji smarnych przeprowadzone aparatem Petrooxy w temperaturze 120°C polegało na określeniu wpływu ilości dodatku modyfikującego wprowadzonego do smarów na wyniki pomiarów. Zauważono, że indukcyjne czasy utleniania badanych kompozycji smarnych różniły się istotnie od siebie. Nie stwierdzono liniowej zależności pomiędzy rosnącą zawartością dodatku modyfikującego w smarze a czasem indukcji utleniania. Zmodyfikowane kompozycje smarne z 1–3% montmorylonitu charakteryzowały się znacznie krótszym okresem indukcji utleniania niż kompozycja bazowa bez dodatku modyfikującego, natomiast smary modyfikowane 5-procentowym dodatkiem wydłużały czas indukcji o około 7%. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują zatem, że zastosowanie dodatku modyfikującego w ilości 1–3% zmniejszyło stabilność oksydacyjną, a wprowadzenie 5% modyfikatora do badanych kompozycji smarnych spowodowało wzrost stabilności oksydacyjnej (Kozdrach, 2020).

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Ocena stabilności oksydacyjnej smarów plastycznych z wykorzystaniem najnowszych technik badawczych – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW*; nr zlecenia: 0022/TE/TO/TA/2020, nr archiwalny: DK-4100/0010/2020.

Literatura

- Azad S., Evans J., 2015. An Advanced Technique for Grease Oxidation Measurement. *NLGI Spokesman*, 78(6): 30–40.
- Beran E., 2008. Wpływ budowy chemicznej bazowych olejów smarowych na ich biodegradowalność i wybrane właściwości eksploatacyjne. *Prace Naukowe Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej*: 11–160.
- Celichowski W., Margielewski L., Płaza S., 2005. Wstęp do tribologii i tribochemia. *Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego*, Łódź. ISBN 83-7171-909-4.
- Chao M., Li W., Chen L., Wang X., 2015. Hindered Phenol Derivative as a Multifunctional Additive in Lithium Complex Grease. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 54(26): 6605–6610. DOI: 10.1021/acs.iecr.5b00374.
- Classification and Characteristics of Grease. <<http://www.kyodoyushi.co.jp/english/knowledge/grease/category>> (dostęp: 11.03.2020).
- Cobb T.W., Gatto V.J., Moehle W.E., Schneller E.R., 2006. Oxidation Fundamentals and its Application to Turbine Oil Testing. *Journal of ASTM International*: 327–336. DOI: 10.1520/JAI13498.
- Czarny R., 2004. Smary plastyczne. *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*, Warszawa.
- Drabik J., 2012. Wymuszenia cieplne w testach tribologicznych a skuteczność działania nietoksycznych smarów plastycznych. *Tribologia*, 4: 49–58.
- Drabik J., 2014. Trwałość użytkowa i stabilność oksydacyjna modyfikowanych smarów plastycznych. *Tribologia*, 4: 33–41.
- Drabik J., Trzos M., 2012. Modelling relation between oxidation resistance and tribological properties of non-toxic lubricants with the use of artificial neural networks. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 109: 521–527. DOI: 10.1007/s10973-011-2176-3.
- Drabik J., Trzos M., 2013. Improvement of the resistance to oxidation of ecological greases by the additives. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 113: 357–363. DOI: 10.1007/s10973-013-3090-7.
- Fikry R., El-Adly R., Ismail N., El-Tabei A., Al-Aidy H., 2013. Some Azine and Azole Derivatives as Antioxidant Additives for Lithium Lubricating Grease. *Egyptian Journal of Petroleum*, 22(1): 61–71. DOI: 10.1016/j.ejpe.2012.07.003.
- Fitch J.C., Gebarin S., 2006. Sludge and Varnish in Turbine Systems. *Practicing Oil Analysis*.
- Gonçalves D., Graça B., Campos A.V., Seabra J., 2016. Film thickness and friction behaviour of thermally aged lubricating greases. *Tribology International*, 100: 231–241. DOI: 10.1016/j.triboint.2016.01.044.
- Gonçalves D., Graça B., Campos A.V., Seabra J., Leckner J., Westbroek J., 2015a. Formulation, rheology and thermal ageing of polymer greases – Part I: Influence of the thickener content. *Tribology International*, 87: 160–170. DOI: 10.1016/j.triboint.2015.02.018.
- Gonçalves D., Marques R., Graça B., Campos A.V., Seabra J., Leckner J., Westbroek J., 2015b. Formulation, rheology and thermal ageing of polymer greases – Part II: Influence of the co-thickener content. *Tribology International*, 87: 171–177. DOI: 10.1016/j.triboint.2015.01.012.
- Huang L., Guo D., Cann P., Wan G., Wen S., 2016. Thermal Oxidation Mechanism of Polyalphaolefin Greases with Lithium Soap and di-urea Thickeners. Effects of the Thickener. *Tribology Transactions*, 59(5): 801–809. DOI: 10.1080/10402004.2015.1106632.
- Huang L., Guo D., Wen S., 2014a. Film Thickness Decay and Replenishment in Point Contact Lubricated with Different Greases: A Study into Oil Bleeding and the Evolution of Lubricant Reservoir. *Tribology International*, 93: 620–627. DOI: 10.1016/j.triboint.2014.11.005.
- Huang L., Guo D., Wen S., 2014b. Starvation and Reflow of Point Contact Lubricated with Greases of Different Chemical Formulation. *Tribology Letters*, 55: 483–492. DOI: 10.1007/s11249-014-0376-2.
- Hussein M.F., Ismail M.A., El-Adly R.A., 2016. Synthesis and Evaluation of 4-Hydroxy Quinolinone Derivatives as Antioxidants of Lubricating Grease. *International Journal of Organic Chemistry*, 6(4): 207–219. DOI: 10.4236/ijoc.2016.64021.
- Khamidullina L., Gussak A., Ivanova E., Trofimova O., Prokhorova P., Morzherin Yu., 2016. Effect of Calix[n]Arene Derivatives on Oxidation Resistance of Plastic Lubricants. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 52(5): 495–498. DOI: 10.1007/s10553-016-0735-9.
- Kozdrach R., 2020. The influence of montmorillonite content on change the physicochemical properties of lubricating greases produced from vegetable base oil. *Nafta-Gaz*, 4: 270–278. DOI: 10.18668/NG.2020.04.06.
- Krasodomski M., Krasodomski W., Skibińska A., Żółty M., 2018. Badania porównawcze metod oznaczania stabilności termooksydacyjnej smarów plastycznych. *Przemysł Chemiczny*, 9(3): 370–376. DOI: 10.15199/62.2018.3.6.
- Li X., Wang Z.-G., Chen H.-H., Liu S.-G., 2014. The antioxidant methyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate. *Acta Crystallographica*, C70: 1050–1053. DOI: 10.1107/s2053229614021445.
- Nugumanova G.N., Barsukova T.A., Bukharov S.V., 2010. Synthesis, structure and antioxidant activity of sulfur-containing tetrakisphenol. *Zhurnal Obshchei Khimii*, 80(7): 1175–1178.
- Oleksiak S., Żółty M., 2012. Wybrane metody badań do monitoringu środków smarowych. *Nafta-Gaz*, 58: 834–841.
- Podniało A., 2002. Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji. *WNT*.
- Rembieska-Śmiszek A., Skibińska A., 2012. Smary sulfonianowe do trudnych zastosowań. *Nafta-Gaz*, 12: 1140–1146.
- Rezasoltani A., Khonsari M., 2014. On the correlation between mechanical degradation of lubricating grease and entropy. *Tribology Letters*, 56: 197–204. DOI: 10.1007/s11249-014-0399-8.
- Rezasoltani A., Khonsari M., 2016. On monitoring Physical and Chemical Degradation and Life Estimation Models for Lubricating Greases. *Lubricants*, 4(34): 1–24. DOI: 10.3390/lubricants4030034.
- Rudnick L., 2008. Lubricant Additives Chemistry and Applications, Second Edition. *CRC Press*.
- Salomonsson L., Stang G., Zhmud B., 2007. Oil/Thickener Interactions and Rheology of Lubricating Greases. *Tribology Transactions*, 50(3): 302–309. DOI: 10.1080/10402000701413471.
- Selby T., Evans J., Azad S., VanBergen W., 2014. A Comparative Study of Grease Oxidation Using an Advanced Bench Test Technique. <<https://www.savantgroup.com/media/2014-Paper-Savant-Quantum-grease-D942-TAE.pdf>> (dostęp: 13.03.2020).
- Skibińska A., Żółty M., 2018. Badanie stabilności termooksydacyjnej smarów plastycznych. Część 3 – Kompleksowe smary litowe. *Nafta-Gaz*, 1(6): 1–66. DOI: 10.18668/NG.2018.01.07.
- Smary specjalne. <<http://www.smarspecjalne.pl/pl/teoria.html>> (dostęp: 11.03.2020).
- Taguchi Y., Mikami H., 2010. Long Life Grease Added Naturally Derived Antioxidants. *NTN Technical Review*, 78: 91–97.
- TOTAL – poradnik, 2003. Smary plastyczne, rozdział XIX. <[478](http://</p>
</div>
<div data-bbox=)

www.total.com.pl/pro/B2B-produkty-dla-przemyslu/li-materialy-informacyjne/li-poradnik.html (dostęp: 07.09.2018).

Trzaska E., Żółty M., Skibińska A., 2016. Badanie stabilności termooksydacyjnej smarów plastycznych. Część 1 – smary na oleju o charakterze parafinowym. *Nafta-Gaz*, 11: 31–38. DOI: 10.18668/NG.2016.11.13.

Trzaska E., Żółty M., Skibińska A., 2017. Badanie stabilności termooksydacyjnej smarów plastycznych. Część 2 – smary na oleju o charakterze naftenowym. *Nafta-Gaz*, 1: 49–53. DOI: 10.18668/NG.2017.01.06.

Akty prawne i dokumenty normatywne

ASTM D 3336-17 Standard Test Method for Life of Lubricating Greases in Ball Bearings at Elevated Temperatures.

ASTM D 664-18 Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration.

ASTM D 8206-18 Standard Test Method for Oxidation Stability of Lubricating Greases – Rapid Small-Scale Oxidation Test (RSSOT).

ASTM D 942-15 Standard Test Method for Oxidation Stability of Lubricating Greases by the Oxygen Pressure Vessel Method.

BS 2000-142:1993 Methods of test for petroleum and its products. Determination of oxidation stability of lubricating grease. Oxygen bomb method.

DIN 51808:2018-02 Testing of lubricants – Determination of oxidation stability of greases – Oxygen method.

FTM 791.3453 Oxidation Stability of Lubricating Grease by the Oxygen Bomb Method.

IP 142:2015 Determination of oxidation stability of lubricating grease – Oxygen pressure vessel method.

PN-C-04143:1956 Przetwory naftowe – Smary stałe – Badanie odporności na utlenianie.

PN-C-96030 Środki smarowe – Oznaczenie odporności na utlenianie środków smarowych – Metoda tlenowa (w przygotowaniu).

PN-EN 16091:2011 Ciekłe przetwory naftowe – Paliwa i mieszaniny ze średnich destylatów naftowych i estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME) – Oznaczenie stabilności oksydacyjnej metodą szybkiego utleniania w małej skali.



Mgr inż. Agnieszka SKIBIŃSKA

Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Olejów, Środków Smarowych i Asfaltów

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A

31-503 Kraków

E-mail: agnieszka.skibinska@inig.pl

OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU OCENY WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH

- oceny właściwości fizykochemicznych oraz użytkowo-eksploatacyjnych wg najnowszych procedur badawczych, zarówno europejskich, jak i amerykańskich:
 - » paliw ciekłych, biopaliw i biokomponentów,
 - » środków smarnych, w tym: olejów silnikowych, przekładniowych i przemysłowych, zarówno świeżych, jak i przetworzonych;
- oceny kompatybilności dodatków do paliw i olejów smarowych, usługi eksperckie w zakresie rozwiązywania problemów związanych z niekompatybilnością wymienionych produktów w eksploatacji;
- szeroki zakres ocen stanowiskowych właściwości trybologicznych paliw, środków smarowych oraz cieczy hydraulicznych;
- oznaczanie liczb oktanowych i cetanowych w testach silnikowych wg procedur europejskich i amerykańskich;
- jedyne w kraju oceny właściwości użytkowo-eksploatacyjnych paliw silnikowych, prowadzone na silnikowych stanowiskach badawczych, wg ogólnoeuropejskich procedur CEC, wymagane między innymi przez Światową Kartę Paliw;
- pełny zakres usług w zakresie nowoczesnego planowania, monitorowania i oceny zmian właściwości olejów smarowych w eksploatacji, doradztwo i ekspertyzy w zakresie problemów powstałych podczas eksploatacji olejów smarowych;
- usługi eksperckie w zakresie wpływu jakości paliw na możliwość powstania dysfunkcji i uszkodzeń silnikowych układów wtrysku paliwa.



Kierownik: dr inż. hob. Zbigniew Stępień, prof. INiG – PIB Adres: ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków
Telefon: 12 617 75 78 Faks: 12 617 75 22 E-mail: zbigniew.stepien@inig.pl



INSTYTUT NAFTY I GAZU
– Państwowy Instytut Badawczy