

ANDRZEJ KULCZYCKI¹

Wpływ jakości olejów silnikowych na zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego składnikami spalin emitowanymi przez pojazdy samochodowe

Streszczenie

Artykuł porusza zagadnienia wpływu oleju silnikowego na wielkość emisji CO₂ przez pojazdy samochodowe. Przedstawiono związki między smarowaniem silników, a zużyciem paliwa i emisją CO₂. Skupiono się na analizie wpływu własności reologicznych oleju silnikowego w szerokim zakresie temperatury i ciśnienia na opory tarcia elementów silnika. Przedstawiono możliwość zastosowania opracowanej wcześniej dla tarcia granicznego zależności do ilościowego opisu zmian lepkości oleju na skutek zmian temperatury i ciśnienia. Wskazano, że zastosowanie tej zależności umożliwi lepsze sterowanie własnościami reologicznymi olejów silnikowych, tak aby uzyskać w możliwie szerokim zakresie warunków pracy silników najmniejsze straty energii na pokonywanie oporów tarcia elementów silnika, a w konsekwencji zredukować zużycie paliwa i idącą za tym emisję CO₂ do powietrza atmosferycznego.

Słowa kluczowe: olej silnikowy, bazy syntetyczne, lepkość oleju, emisja CO₂

¹ Wydział Filozofii Chrześcijańskiej Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, Instytut Ekologii i Bioetyki, ul. Wóycickiego 1/3, 01-938 Warszawa, a.kulczycki@uksw.edu.pl

Wstęp

Problemy zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego przez składniki spalin ze środków transportu są związane głównie z konstrukcją silników spalinowych i jakością paliw silnikowych. Należy jednak zauważyć trzeci element, którym jest olej silnikowy, smarujący elementy silnika. Zwykle jakość oleju silnikowego wiązana jest z trwałością i niezawodnością silnika, rzadko natomiast z wpływem na zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego. Sprawność silników spalinowych wynosi od 20 do 30%, co oznacza, że tylko tyle energii zgromadzonej w paliwie wykorzystane jest na ruch pojazdu. 70 do 80% tej energii jest tracone. Część z tej energii oddawana jest do otoczenia na sposób ciepła. Jest to konieczne, aby silnik mógł wykonać pracę poruszania pojazdu – wynika to z termodynamiki: cykl Carnota. Część energii niewykorzystanej na pracę silnika, około 1/3, wykorzystana jest na pokonanie oporów tarcia silnika (Merkisz 1998). Im większe są opory tarcia, tym więcej energii ze spalania paliwa trzeba poświęcić na ich pokonanie, a więc tym więcej paliwa trzeba spalić. Ilość spalonego w silniku paliwa wprost przekłada się na wielkość emisji CO₂ oraz innych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego.

Niewielka ilość oleju silnikowego przedostaje się do komory spalania silnika, gdzie staje się dodatkowym źródłem emisji niespalonych węglowodorów, cząstek stałych i CO. Ponadto część dodatków uszlachetniających, jakie zawiera olej silnikowy, dociera do układów katalitycznego oczyszczania spalin, obniżając ich trwałość. Obniżona skuteczność działania katalizatorów prowadzi do znaczącego pogorszenia składu spalin.

W niniejszym artykule omówione zostaną zagadnienia wpływu składu chemicznego olejów silnikowych na opory tarcia silnika i wynikającą z nich dodatkową emisję CO₂.

1. Tarcie i smarowanie elementów silnika

Tarcie jest pojęciem fizycznym i określa całość zjawisk fizycznych, towarzyszących przemieszczaniu się względem siebie dwóch ciał

fizycznych (tarcie zewnętrzne) lub elementów tego samego ciała (tarcie wewnętrzne) i powodujących rozpraszanie energii podczas ruchu. Tarcie jest skutkiem wzajemnych oddziaływań powierzchni przemieszczających się ciał lub elementów tego samego ciała, które przeciwstawiają się sile wywołującej przemieszczanie. Miarą tarcia jest siła tarcia F_t , proporcjonalna do nacisku N . Współczynnik proporcjonalności μ jest współczynnikiem tarcia.

$$F_t = \mu N \quad (1)$$

Wartość współczynnika tarcia jest zwykle duża dla tarcia zewnętrznego, które w odniesieniu do maszyn i urządzeń nazywane jest tarcie suche lub technicznie suchym. Wprowadzenie między powierzchnie przemieszczających się elementów substancji oddzielającej od siebie powierzchnie tych elementów nazywane jest smarowaniem. Tarcie zewnętrzne zamienione zostaje na tarcie wewnętrzne – przemieszczają się względem siebie warstwy środka smarującego. Współczynnik tarcia wewnętrznego jest znacznie mniejszy, niż tarcia zewnętrznego. Jego wartość przede wszystkim zależy od nacisku N , prędkości przemieszczania się powierzchni v i własności środka smarującego. W niniejszym artykule omówione zostaną własności środka smarującego – oleju silnikowego, które mają wpływ na wielkość oporów tarcia i w konsekwencji na zużycie paliwa i emisję CO_2 .

W określonych warunkach, tj. w określonym zakresie wartości nacisku N i prędkości v , olej silnikowy całkowicie oddziela od siebie powierzchnie przemieszczających się elementów silnika. W tych warunkach ma miejsce tzw. smarowanie płynne, a olej silnikowy tworzy tzw. film smarny. Wzrost nacisku N lub zmniejszenie prędkości v może doprowadzić do przerwania filmu smarnego i zmianę tarcia wewnętrznego na zewnętrzne z wszelkimi tego konsekwencjami, tj. zużyciem przemieszczających się elementów, a nawet zatarciem (zniszczeniem). Oleje silnikowe zawierają w swym składzie dodatki smarnościowe, substancje, które w warunkach sprzyjających przerwaniu filmu smarnego wspomagają utworzenie tzw. warstwy granicznej

(Płaza 2005). Pozwala to skutecznie chronić powierzchnie przemieszczających się elementów przed zużyciem lub zatarciem w zakresie wartości N i v , w jakich elementy silnika mogą pracować, powoduje jednak znaczący wzrost oporów tarcia. Dlatego też wytwórcy olejów silnikowych dążą do utrzymania trwałości filmu smarnego w możliwie szerokim zakresie warunków pracy silników.

2. Charakterystyka fizykochemiczna olejów silnikowych

Zdolność oleju silnikowego do smarowania wszystkich elementów silnika zależna jest od jego własności fizykochemicznych, a te są ściśle związane z jego składem chemicznym. Olej silnikowy składa się z dwóch zasadniczych grup składników: bazy olejowej i dodatków uszlachetniających. Dodatki uszlachetniające, które stanowią kilka do kilkunastu procent składu oleju, zapewniają szereg istotnych jego własności, takich jak własności przeciwutleniające, myjące, dyspergujące, przeciwkorozyjne i w końcu smarnościowe. Ilościowo dominującym składnikiem oleju jest baza olejowa. Przez dziesiątki lat bazę olejów silnikowych stanowiły produkty przerobu ropy naftowej, otrzymywane przy użyciu różnych technologii. Podstawową, wymaganą własnością bazy olejowej była jej charakterystyka lepkościowo-temperaturowa. Lepkość oleju w określonym zakresie wartości nacisku N i prędkości przemieszczania v decyduje o trwałości/grubości filmu smarnego. Im wyższa jest lepkość oleju tym film smarny jest trwały w szerszym zakresie wartości N i v , co pozwala na smarowanie płynne elementów silnika i uzyskanie niskiej wartości współczynnika tarcia (mniejsze zużycie paliwa = mniejsza emisja CO_2). Jednocześnie uruchomienie zimnego silnika wymaga stosunkowo niskiej lepkości przy niskiej temperaturze.

Współczesne silniki pracują przy dużych obciążeniach, jednocześnie wysoka temperatura silnika powoduje obniżenie lepkości oleju. Stąd charakterystyka lepkościowo – temperaturowa oleju stała się problemem utrudniającym właściwy dobór mineralnej bazy olejowej. Stosowanie dodatków lepkościowych (wiskozatorów) ma ograniczone zastosowanie. Problemy te zainicjowały poszukiwanie innych niż

mineralne baz olejowych. Są to tzw. bazy syntetyczne: mieszaniny związków o odpowiednio dobranej strukturze chemicznej. Są to najczęściej bazy estrowe i PAO (polialfaolefiny). Dobór struktury chemicznej baz syntetycznych, w tym kompozycji baz o różnej budowie chemicznej wymaga głębszej wiedzy nt. lepkości olejów w różnych zakresach temperatury i ciśnienia.

3. Wpływ budowy chemicznej baz olejowych na charakterystyki lepkościowo-temperaturowo-ciśnieniowe; nowy model lepkości

Lepkość oleju jest miarą oddziaływań międzycząsteczkowych, które objawiają się przy jego laminarnym przepływie. W opisie makroskopowym lepkości przyjmuje się, że cząsteczki cieczy, np. oleju silnikowego podlegają siłom spójności (kohezji). Przy wymuszonym przepływie laminarnym cieczy przyjmuje się, że cząsteczki układają się w równoległe warstwy, które poruszają się względem ścianek przewodu z różną prędkością. Siły spójności utrudniają to przemieszczanie. Miarą tego jest naprężenie styczne t :

$$\tau = \eta dv/dy \text{ oraz } F = \eta S dv/dy. \quad (2)$$

Współczynnik proporcjonalności h jest dynamiczną lepkością cieczy newtonowskich. Makroskopowy opis przepływającej cieczy nie pozwala jednak wyjaśnić wpływu temperatury, ciśnienia, a zwłaszcza budowy chemicznej związków wchodzących w skład oleju na jego lepkość. Analiza wpływu struktury chemicznej bazy olejowej na jej własności reologiczne wymaga zastosowania molekularnego opisu procesu przepływu. W opisie tym przyjmuje się zrywanie wiązań międzycząsteczkowych jako reakcję chemiczną, której szybkość zależna jest od stałej szybkości, opisanej równaniem Arrheniusa, przy czym stałą szybkości reakcji utożsamiono z lepkością kinematyczną ν (Esteban *et al.* 2012):

$$\nu = A \exp (E_a/RT) \quad (3)$$

gdzie E_a – energia aktywacji reakcji zrywania wiązań międzycząsteczkowych, R – stała gazowa, T – temperatura przepływającej, lepkiej cieczy, A – wartość stała. Zależność ta pozwala na przewidywanie wpływu temperatury oleju na jego lepkość, o ile znana jest wartość energii aktywacji, lub uznana ona może być za niezmienną w całym zakresie wartości temperatury pracy silnika. Trudno jest jednak wykorzystać powyższą zależność do opisu zmiany lepkości na skutek zmiany ciśnienia.

Traktując lepkość jako reakcje chemiczne rozrywania i tworzenia wiązań międzycząsteczkowych przeprowadzono próbę zastosowania zależności opracowanej i zastosowanej do opisu tworzenia warstwy granicznej przez oleje zawierające dodatki smarnościowe (Kajdas *et al.* 2017).

$$\alpha_i = (E_s - E_{s0})/A \exp[-E_{as}/(RT/t + \varepsilon/t)] [(e_0 \cos(bE_s + d))] \quad (4)$$

gdzie: E_s i E_{s0} – strumienie energii doprowadzonej odpowiednio do układu reakcyjnego badanego i układu reakcyjnego odniesienia, E_{as} – strumień energii aktywacji reakcji, R – stała gazowa, T – średnia temperatura w układzie reakcyjnym, t – czas reakcji, ε – dodatkowy strumień energii doprowadzanej do reagentów, A , b , d i e_0 – wielkości stałe. Analiza tej zależności doprowadziła do niżej przedstawionego wniosku.

Wpływ ciśnienia na wartość energii aktywacji zrywania wiązań międzycząsteczkowych wyjaśnić można na dwa sposoby:

- zgodnie z klasyczną teorią lepkość jest miarą ilości energii, jak jest potrzebna do zerwania wiązań międzycząsteczkowych między pojedynczymi cząsteczkami umieszczonymi w przemieszczających się względem siebie warstwach; im większe jest wywierane na ciecz ciśnienie, tym mniejsze są odległości między cząsteczkami/warstwami cząsteczek i tym większa jest energia potrzebna do zerwania tych wiązań; w obliczeniach dokonywanych według zależności (3) musi to prowadzić do wzrostu wartości energii aktywacji.

$$\ln v = \ln A + E_a/RT \quad (5)$$

- przyjmując założenie, że energia aktywacji zrywania wiązań międzycząsteczkowych jest wielkością charakterystyczną dla określonej struktury chemicznej bazy olejowej i jest niezależna od warunków, w jakich ten proces zachodzi, wpływ ciśnienia musi znaleźć odbicie w innej niż energia aktywacji wielkości; przyjmując, że do lepkości można odnieść zmodyfikowane równanie Arrheniusa (4), wpływ ciśnienia może być obserwowany poprzez zmianę wartości czynnika $\cos \gamma$.

$$\ln v = \ln A + E_a/RT + \ln(\cos \gamma) \quad (6)$$

Efekt zmiany wartości funkcji $\cos \gamma$ przez wywierane na ciecz ciśnienie może być wytłumaczony na gruncie teorii klastrów molekularnych (Gatchell, Zettergren 2016): jeśli cząsteczki przepływającej cieczy tworzą klastry i ich struktura decyduje o przepływie uprzywilejowanymi w klastrach ścieżkami energii przez ciecz – energii potrzebnej do przemieszczania się względem siebie klastrów cząsteczek, to zwiększanie ciśnienia prowadzi do deformacji klastrów i zmiany uprzywilejowanego kąta γ .

Wnioski

Przedstawiona nowa koncepcja opisu wpływu temperatury i ciśnienia na lepkość oleju silnikowego stwarza nowe możliwości badania nad doborem składników baz syntetycznych olejów silnikowych. Weryfikacja przydatności tej zależności umożliwi lepsze sterowanie własnościami reologicznymi olejów silnikowych, tak aby uzyskać w możliwie szerokim zakresie warunków pracy silników najmniejsze straty energii na pokonywanie oporów tarcia elementów silnika, a w konsekwencji zredukować zużycie paliwa i idącą za tym emisję CO₂ do powietrza atmosferycznego.

Bibliografia

- Gatchell M., Zettergren H., 2016, *Knockout driven reactions in complex molecules and their clusters*, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, 49, 16, 1-36.
- Esteban B., Riba J.R., Baquero G., Rius A., Puig R., 2012, *Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils*, Biomass and Bioenergy, 42, 164-171
- Kajdas C., Kulczycki A., Ozimina D., 2017, *A new concept of the mechanism of tribocatalytic reactions induced by mechanical forces*, Tribology International 107, 144–151.
- Merkisz J., 1998, *Ekologiczne problemy silników spalinowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- Płaza S., Margielewski L., Celichowski G., 2005, *Wstęp do tribologii i tribochemia*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

The effects of quality of engine oil on the CO₂ emissions by motor vehicles

Summary

This paper discusses the effects of engine oil on the CO₂ emissions by motor vehicles. The relationship between engine lubrication and fuel consumption and CO₂ emission is presented. The paper focused on the analysis of the influence of rheological properties of engine oil over a wide range of temperature and pressure on the frictional resistance of engine components. It is possible to apply the previously developed for boundary lubrication relationship to the quantitative description of changes in oil viscosity due to temperature and pressure changes. It is indicated that the use of this dependence will allow better control of the rheological properties of engine oils so as to achieve the smallest possible energy loss in terms of engine operating conditions, to overcome the frictional resistance of engine parts and consequently reduce fuel consumption and subsequent CO₂ emission to atmospheric air.

Key words: engine oil, synthetic bases, oils viscosity, CO₂ emission